UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
"ANÁLISIS MATEMÁTICO DE AISLAMIENTO APLICADO A AISLADORES DE PORCELANA, POLÍMERO Y VIDRIO, A NIVEL DE 13.8KV"

AUTORES:
EDUARDO JAVIER GARCÉS GUTIERREZ
DAVID ALFREDO RODRIGUEZ MORANTE

DIRECTOR DE TESIS:
ING. ROY SANTANA

MAYO 2015
GUAYAQUIL-ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Por medio del presente proyecto certifico que el presente trabajo fue desarrollado y elaborado por EDUARDO JAVIER GARCÉS GUTIERREZ y DAVID ALFREDO RODRIGUEZ MORANTE bajo mi supervisión.

Ing. Roy Santana

DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL

RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS

Nosotros Eduardo Javier Garcés Gutiérrez y David Alfredo Rodriguez Morante autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

"La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente a los Autores."

EDUARDO JAVIER GARCÉS GUTIERREZ
C.I. 0928584069

DAVID ALFREDO RODRIGUEZ MORANTE.
C.I 0922388616

AGRADECIMIENTOS

Al concluir satisfactoriamente nuestra etapa universitaria con nuestro proyecto de titulación, queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a:

- A DIOS en primer lugar, por habernos brindado salud, sabiduría y fortaleza para poder culminar con gran satisfacción esta etapa de nuestras vidas.
- A nuestras familias Garcés Gutiérrez y Rodríguez Morante, por habernos brindado el apoyo en las etapas más difíciles de nuestra carrera.
- A todos los docentes que tuvimos en esta etapa, por brindarnos sus conocimientos y forjarnos para nuestras vidas profesionales.
- A nuestros tutores, los ingenieros Ervin Solano y Roy Santana, por habernos aportado sus conocimientos para la realización de nuestro proyecto.
- A cada una de las personas que se hicieron presentes en esta etapa y que de alguna manera brindaron su ayuda.

EDUARDO GARCÉS

DAVID RODRIGUEZ

TRIBUNAL DEL CONSEJO DE CARRERA

---------- **----------**

Presidente del tribunal **Director tesis**

Vocal del tribunal

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL vi

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES xi

ÍNDICE DE TABLAS xviii

ÍNDICE DE ECUACIONES xxiv

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 2

1.1. PROBLEMA 2

1.2. JUSTIFICACIÓN 2

1.3. OBJETIVOS 2

1.3.1 OBJETIVO GENERAL 2

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 3

1.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO 3

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEORICOS 4

2.1 AISLADORES 4

2.1.1. MATERIALES PARA AISLADORES 4

2.1.2. TIPOS DE AISLADORES SEGÚN SU DISEÑO. 9

2.1.2.1. AISLADORES DE SOPORTE. 9

2.1.2.2. AISLADORES DE SUSPENSIÓN. 10

2.1.2.3. AISLADORES TIPO ESPIGA, PALILLO O PIN (PIN TYPE) 11

2.1.3. FUNCIÓN DE UN AISLADOR 13

2.1.4. EXIGENCIAS ELÉCTRICAS 13

2.1.5. GRADO DE AISLAMIENTO 13

2.1.6. EXIGENCIAS MECÁNICAS 15

2.1.7. POLUCIÓN 15

2.1.8. PERTURBACIONES DE ALTA FRECUENCIA 16

2.2 NORMAS DE FABRICACIÓN 17
2.2.1 INTRODUCCIÓN 17
2.2.2 AISLADOR TIPO PIN DE PORCELANA (56-1) 17
2.2.2.1 NORMA A UTILIZAR: 17
2.2.2.2 MATERIAL 17
2.2.2.3 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS 18
2.2.3 AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA (52-3) 19
2.2.3.1 NORMA A UTILIZAR 19
2.2.3.2 MATERIAL 20
2.2.3.3 DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS. 20
2.2.4 AISLADOR TIPO PIN DE POLÍMERO (51-2F) 21
2.2.4.1 NORMA A UTILIZAR: 21
2.2.4.2 DIMENSIONES Y CARÁCTERISTICAS 21
2.2.5 AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO (DS-28) 24
2.2.5.1 NORMA A UTILIZAR: 24
2.2.5.2 CARACTERISTICAS 24

2.3 EFECTO CORONA 25

2.4 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO 25

2.5 EQUIVALENTE ELECTRICO DEL AISLADOR 26

2.6 GENERADORES DE IMPULSO DE ALTA TENSIÓN 27
2.6.1 GENERADOR DE IMPULSOS DE MARX 27

2.7 LEYES DE KIRCHHOFF 28
2.7.1 LEY DE CORRIENTES 28
2.7.2 LEY DE TENSIONES 29

2.8 MODELO MATEMÁTICO. 29

2.9 MODELOS FÍSICOS. 31

2.10 VALIDACIÓN DEL MODELO. 32

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE PRÁCTICA Y MODELAMIENTO MATEMÁTICO 33

3.1 PLANTEAMIENTO DE ECUACIONES. 33
3.1.1 PRUEBA DE VOLTAJE NOMINAL Y VOLTAJE MAXIMO. 33
3.1.2 PRUEBA DE VOLTAJE DE IMPULSO. 37

3.2 METODOLOGÍA DE PRÁCTICA. 45
3.2.1 ELEMENTOS DE PRUEBA. 46
3.2.2 PRUEBA DE GENERACIÓN DE VOLTAJE AC. 59
3.2.3 PRUEBA DE VOLTAJE DE IMPULSO. 60

CAPÍTULO IV DESARROLLO PRÁCTICO Y SIMULACIÓN 62

4.1 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES 62
4.1.1 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE PORCELANA 64
4.1.2 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE POLÍMERO 66
4.1.3 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE VIDRIO 68

4.2 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO 71
4.2.1 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE PORCELANA TIPO PIN 72
4.2.2 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE PORCELANA TIPO RETENCIÓN 77
4.2.3 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE POLÍMERO TIPO PIN 80
4.2.4 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE POLÍMERO TIPO RETENCIÓN 85
4.2.5 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE VIDRIO TIPO PIN 89
4.2.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE VIDRIO TIPO RETENCIÓN 95

4.3 PRUEBAS DE GENERACIÓN DE VOLTAJE AC 100

4.3.1 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE PORCELANA 100
4.3.2 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA... 108
4.3.3 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE POLÍMERO 113
4.3.4 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO 119
4.3.5 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE VIDRIO 124
4.3.6 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO..... 130

4.4 PRUEBAS DE VOLTAJE DE IMPULSO 135
4.4.1 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA 136
4.4.2 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA 140
4.4.3 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO 145
4.4.4 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO . 150
4.4.5 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO 155
4.4.6 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO 160

4.5 SIMULACIÓN EN SOFTWARE MATLAB® 165
4.5.1 SIMULACIÓN DE VOLTAJES MÁXIMOS Y NOMINALES. 165
4.5.1.1 INTERFAZ GRÁFICA..... 165
4.5.2 SIMULACIÓN DE PRUEBA DE IMPULSO 167
4.5.2.1 INTERFAZ GRÁFICA..... 167

CAPÍTULO V ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS 169

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBA DE VOLTAJES NOMINAL Y MÁXIMO. 169
5.1.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA 170
5.1.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO 172
5.1.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO 174
5.1.4 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO PIN 177
5.1.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA 178

5.1.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO 180
5.1.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO 182
5.1.8 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN 184

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBA DE IMPULSO 184
5.2.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA 185
5.2.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO 186
5.2.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO 188
5.2.4 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO PIN 189
5.2.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA 189
5.2.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO 191
5.2.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO 192
5.2.8 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN 194

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES 195

BIBLIOGRAFÍA 197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aisladores de Porcelana 5
Figura 2: Aislador de Polímero 6
Figura 3: Aislador de Vidrio 8
Figura 4: Aisladores de soporte 9
Figura 5: Aisladores de suspensión 11
Figura 6: Aislador tipo pin 12
Figura 7.Características y Dimensiones del aislador tipo Pin 18
Figura 8: Aislador de porcelana tipo retención 20
Figura 9: Aislador de Polímero tipo Pin 22
Figura 10: Equivalente eléctrico de un aislador 26
Figura 11: Generador de impulso de 4 etapas 28
Figura 12: Representación de la Ley de corrientes de Kirchhoff 28
Figura 13: Representación de la Ley de voltajes de Kirchhoff 29
Figura 14: Diagrama esquemático de conexión. 33
Figura 15: Circuito eléctrico voltaje nominal y máximo 34
Figura 16: Simplificación de capacitores en circuito voltaje nominal y máximo. 34
Figura 17: Circuito equivalente voltaje nominal y máximo. 34
Figura 18: Análisis de Ley de voltaje de Kirchoff en malla 1 35
Figura 19: Análisis de Ley de voltaje de Kirchoff en malla 2 36
Figura 20: Diagrama de conexión del circuito voltaje de Impulso. 37
Figura 21: Circuito eléctrico voltaje de Impulso. 38
Figura 22: Simplificación de capacitores en circuito voltaje de Impulso. 38
Figura 23: Circuito equivalente voltaje de Impulso. 38
Figura 24: Resolución del circuito aplicando ley de corrientes de Kirchoff. 39
Figura 25: Despeje de ecuación, para calcular la corriente por el aislador. 40
Figura 26: Despeje de ecuación para calcular la corriente de fuga. 44
Figura 27: Panel de control (HV9103). 46
Figura 28: Transformador de prueba (HV9105). 47
Figura 29: Barra conductora (HV9108). 48
Figura 30: Copa de conexión (HV9109). 49
Figura 31: Capacitor de medida (HV9141). 49
Figura 32: Base para medición (HV9133). 50
Figura 33: Electrodos para la base de medición. 51
Figura 34: Capacitor de filtrado (HV9112). 51
Figura 35: Capacitor de carga (HV9120). 52
Figura 36: Diodo rectificador (HV9111). 53
Figura 37: Resistencia de medida (HV9113). 53
Figura 38: Resistencia de carga (HV9121). 54
Figura 39: Resistencia de frente de onda (HV9122). 54
Figura 40: Resistencia de cola de onda (HV9123). 55
Figura 41: Explosor esférico (HV9125). 55
Figura 42: Unidad de esfera explosora (HV9126). 56
Figura 43: Base (HV9110). 57
Figura 44: Base de tierra (HV9119). 57
Figura 45: Electrodo (HV9138). 58
Figura 46: Seccionador eléctrico de tierra (HV9114). 58
Figura 47: Barra de descarga (HV9107). 59
Figura 48: Montaje de circuito de voltaje nominal y máximo. 60

Figura 49: Montaje de circuito eléctrico voltaje de impulso..... 61
Figura 50: Equipo Megger Delta 4010..... 63
Figura 51: Equipo Megger Delta 4010..... 63
Figura 52: Equipo Metrel MI3201 63
Figura 53: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana 64
Figura 54: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana a 1 KV 64
Figura 55: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana a 10 KV .. 65
Figura 56: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana 65
Figura 57: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana a 1 KV 65
Figura 58: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana a 10 KV 66
Figura 59: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de polímero..... 66
Figura 60: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de polímero a 1KV. 67
Figura 61: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de polímero a 10KV 67
Figura 62: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de polímero 68
Figura 63: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de polímero..... 68
Figura 64: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio 69
Figura 65: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio a 1KV 69
Figura 66: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio a 10KV 69
Figura 67: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de vidrio 70
Figura 68: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de vidrio 70
Figura 69: Equipo Metrel MI 3201 71
Figura 70: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales 72
Figura 71: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales 73
Figura 72: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación con polvo. 73
Figura 73: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación con polvo..... 73
Figura 74: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de polvo con humedad..... 74
Figura 75: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de polvo con humedad 74
Figura 76: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad..... 75
Figura 77: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad. 75
Figura 78: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad con humedad. 76
Figura 79: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad con humedad. 76
Figura 80: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales..... 77
Figura 81: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales..... 77
Figura 82: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 78
Figura 83: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 78

Figura 84: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo y humedad. 78
Figura 85: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo y humedad. 79
Figura 86: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad. 79
Figura 87: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad. 79
Figura 88: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad y humedad. 80
Figura 89: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad. 80
Figura 90: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales. 81
Figura 91: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales. 81
Figura 92: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 82
Figura 93: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 82
Figura 94: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo y humedad. 83
Figura 95: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo y humedad. 83
Figura 96: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 84
Figura 97: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 84
Figura 98: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad y humedad. 85
Figura 99: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad y humedad. 85
Figura 100: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales. 86
Figura 101: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales. 86
Figura 102: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 87
Figura 103: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 87
Figura 104: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 87
Figura 105: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 88
Figura 106: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 88
Figura 107: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 88
Figura 108: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 89

Figura 109: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 89
Figura 110: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales. 90
Figura 111: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones normales. 90
Figura 112: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 91
Figura 113: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 91
Figura 114: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 92
Figura 115: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 92
Figura 116: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 93
Figura 117: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 93
Figura 118: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 94
Figura 119: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 94
Figura 120: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales. 95
Figura 121: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales. 95
Figura 122: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 96
Figura 123: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 96
Figura 124: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 96
Figura 125: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 97
Figura 126: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 97
Figura 127: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 97
Figura 128: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 98
Figura 129: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 98
Figura 130: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales. 100
Figura 131: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 102
Figura 132: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad 104
Figura 133: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad. 106

Figura 134: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 107
Figura 135: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales..... 108
Figura 136: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 109
Figura 137: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad..... 110
Figura 138: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad..... 111
Figura 139: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 112
Figura 140: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales..... 114
Figura 141: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 115
Figura 142: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad..... 116
Figura 143: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad..... 117
Figura 144: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 118
Figura 145: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales..... 119
Figura 146: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 120
Figura 147: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad..... 121
Figura 148: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad..... 122
Figura 149: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 123
Figura 150: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales..... 124
Figura 151: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 125
Figura 152: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad..... 127
Figura 153: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad..... 128
Figura 154: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 129
Figura 155: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales..... 130
Figura 156: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 131
Figura 157: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad..... 132
Figura 158: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad..... 133

Figura 159: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 134
Figura 160: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales. 136
Figura 161: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación con polvo. 136
Figura 162: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 137
Figura 163: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 138
Figura 164: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 139
Figura 165: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales. 140
Figura 166: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación con polvo. 141
Figura 167: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 142
Figura 168: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 143
Figura 169: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 144
Figura 170: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales. 145
Figura 171: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo. 146
Figura 172: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 147
Figura 173: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 148
Figura 174: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 149
Figura 175: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales. 150
Figura 176: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación con polvo. 151
Figura 177: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 152
Figura 178: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 153
Figura 179: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 154
Figura 180: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales. 155
Figura 181: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo. 156
Figura 182: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 157
Figura 183: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 158

Figura 184: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 159
Figura 185: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales. 160
Figura 186: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación con polvo. 161
Figura 187: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 162
Figura 188: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 163
Figura 189: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 164
Figura 190: Diagrama de bloques en herramienta SIMULINK para las ecuaciones de voltaje máximo y nominal. 165
Figura 191: Interfaz gráfica de prueba de voltajes nominal y máximo en aisladores. 166
Figura 192: Interfaz gráfica de prueba de voltajes nominal y máximo en aisladores, con grafica de simulación generada. 166
Figura 193: Interfaz gráfica de prueba de voltaje de impulso 167
Figura 194: Interfaz gráfica de prueba de voltaje de impulso, con una corriente de fuga calculada 168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencia entre los aisladores de vidrio y porcelana 8
Tabla 2. Clase y Normas de fabricación de los aisladores 17
Tabla 3. Especificaciones técnicas del aislador de Porcelana. 19
Tabla 4. Especificaciones técnicas aislador de Porcelana tipo Retención. 21
Tabla 5: Especificaciones técnicas aislador de Polímero tipo Pin. 23
Tabla 6: Datos técnicos del panel de control (HV9103). 47
Tabla 7: Datos técnicos transformador (HV9105) 48
Tabla 8: Datos técnicos barra conductora (HV9108). 49
Tabla 9: Datos técnicos copa de conexión (HV9109). 49
Tabla 10: Datos técnicos capacitor de medida (HV9141). 50
Tabla 11: Datos técnicos base para la medición (HV9133). 50
Tabla 12: Datos técnicos capacitor de filtrado (HV9112). 52
Tabla 13: Datos técnicos capacitor de carga (HV9120). 52
Tabla 14: Datos técnicos diodo rectificador (HV9111). 53
Tabla 15: Datos técnicos resistencia de medida (HV9113). 53
Tabla 16: Datos técnicos resistencia de carga (HV9121). 54
Tabla 17: Datos técnicos resistencia de frente de onda (HV9122). 55
Tabla 18: Datos técnicos resistencia de cola de onda (HV9123). 55
Tabla 19: Datos técnicos explosor esférico (HV9125). 56
Tabla 20: Datos técnicos unidad esfera explosora (HV9126). 56
Tabla 21: Datos técnicos base (HV9110). 57
Tabla 22: Datos técnicos base de tierra (HV9119). 57
Tabla 23: Datos técnicos electrodo (HV9138). 58
Tabla 24: Datos técnicos seccionador eléctrico de tierra (HV9114). 58
Tabla 25: Datos técnicos barra de descarga (HV9107). 59
Tabla 26: Valores de Capacitancias en aisladores 71
Tabla 27: Valores de resistencia de aislamiento. 99
Tabla 28: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales 101
Tabla 29: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 103
Tabla 30: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 105
Tabla 31: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad. 106
Tabla 32: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 107
Tabla 33: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales. 109
Tabla 34: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 110
Tabla 35: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 111
Tabla 36: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad. 112
Tabla 37: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 113

Tabla 38: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales. 114
Tabla 39: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación con polvo. 115
Tabla 40: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de polvo con humedad. 116
Tabla 41: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de salinidad. 117
Tabla 42: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de salinidad con humedad. 118
Tabla 43: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales. 119
Tabla 44: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo. 120
Tabla 45: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 121
Tabla 46: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 122
Tabla 47: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 123
Tabla 48: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales. 125
Tabla 49: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 126
Tabla 50: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 127
Tabla 51: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 128
Tabla 52: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 129
Tabla 53: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales. 131
Tabla 54: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo. 132
Tabla 55: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 133
Tabla 56: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 134
Tabla 57: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 135
Tabla 58: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales. 136
Tabla 59: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo. 136
Tabla 60: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 137
Tabla 61: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 138

Tabla 62: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 139
Tabla 63 : Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales 140
Tabla 64: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo. 141
Tabla 65: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de con humedad. 142
Tabla 66: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de salinidad. 143
Tabla 67: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de salinidad con humedad. 144
Tabla 68: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales. 145
Tabla 69: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo. 146
Tabla 70: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 147
Tabla 71: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 148
Tabla 72: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 149
Tabla 73: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales. 150
Tabla 74: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación con polvo. 151
Tabla 75: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 152
Tabla 76: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 153
Tabla 77: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 154
Tabla 78: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales. 155
Tabla 79: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo. 156
Tabla 80: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 157
Tabla 81: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 158
Tabla 82: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 159
Tabla 83: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales. 160
Tabla 84: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación con polvo. 161
Tabla 85: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 162
Tabla 86: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 163

Tabla 87: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 164
Tabla 88: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales. 170
Tabla 89: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo. 170
Tabla 90: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 170
Tabla 91: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 170
Tabla 92: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 171
Tabla 93: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales. 172
Tabla 94: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo 172
Tabla 95: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 173
Tabla 96: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 173
Tabla 97: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 173
Tabla 98: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales. 174
Tabla 99: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo. 175
Tabla 100: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 175
Tabla 101: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 175
Tabla 102: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 175
Tabla 103: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales 178
Tabla 104: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación con polvo. 178
Tabla 105: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 178
Tabla 106: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 178
Tabla 107: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 179
Tabla 108: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales. 180
Tabla 109: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo. 180
Tabla 110: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 180
Tabla 111: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 181

Tabla 112: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 181
Tabla 113: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales. 182
Tabla 114: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo. 182
Tabla 115: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 182
Tabla 116: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad. 183
Tabla 117: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 183
Tabla 118: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales. 185
Tabla 119: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo. 185
Tabla 120: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 185
Tabla 121: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 185
Tabla 122: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad. 186
Tabla 123: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales. 186
Tabla 124: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo. 186
Tabla 125: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 187
Tabla 126: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad. 187
Tabla 127: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 187
Tabla 128: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales. 188
Tabla 129: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de polvo. 188
Tabla 130: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de polvo con humedad. 188
Tabla 131: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de salinidad. 188
Tabla 132: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de salinidad con humedad. 189
Tabla 133: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales. 189
Tabla 134: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo. 190
Tabla 135: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 190
Tabla 136: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad. 190

Tabla 137: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 190
Tabla 138: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales. 191
Tabla 139: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo..... 191
Tabla 140: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. . 191
Tabla 141: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad. 192
Tabla 142: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad. 192
Tabla 143: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales. 192
Tabla 144: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo. 193
Tabla 145: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad. 193
Tabla 146: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad. 193
Tabla 147: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.. 193

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Característica Tensión-Tiempo 27
Ecuación 2: Ecuación correspondiente a la malla 1..... 35
Ecuación 3: Ecuación correspondiente a la malla 2..... 36
Ecuación 4: Ecuación 1, de forma diferencial. 36
Ecuación 5: Ecuación 2, de forma diferencial. 37
Ecuación 6: Ecuación correspondiente a la malla 1..... 39
Ecuación 7: Ecuación correspondiente a la malla 2..... 39
Ecuación 8: Ecuación correspondiente al análisis de corrientes de Kirchoff. 39
Ecuación 9: Ecuación correspondiente a la corriente del aislador..... 40
Ecuación 10: Igualación de ecuaciones 7 y 5..... 40
Ecuación 11: Igualacion de ecuaciones 8 y 9..... 40
Ecuación 12: Corriente de la resistencia R2 41
Ecuación 13: Ecuación correspondiente al voltaje del aislador..... 43
Ecuación 14: Raíz 1, de la ecuación#13..... 43
Ecuación 15 Raíz 2, de la ecuación#13..... 44
Ecuación 17. Voltaje del capacitor en función del tiempo..... 44
Ecuación 18: Corriente de fuga..... 45

RESUMEN

Tema: **“**ANÁLISIS MATEMÁTICO DE AISLAMIENTO APLICADO A AISLADORES DE PORCELANA, POLÍMERO Y VIDRIO A NIVEL DE 13.8KV”

Autores: Eduardo Garcés Gutiérrez, David Rodríguez Morante.
Director de Tesis: Ing. Roy Santana.

Palabras Claves: MATLAB®, Simulink, aisladores, porcelana, polímero, vidrio, voltaje, nominal, máximo, impulso, corriente, fuga.

Los aisladores, que tienen la función de aislar las líneas de distribución, están expuestos a distintos tipos de elementos contaminantes como polvo, humedad y salinidad, los cuales disminuyen la resistencia del mismo. Para conocer el efecto de estos contaminantes sobre los aisladores de porcelana, polímero y vidrio, se realizó un modelamiento matemático el cual se contrasto con los datos obtenidos a través de ensayos realizados en el laboratorio de Alta Tensión de la universidad Politécnica Salesiana en Guayaquil. El modelamiento matemático de las ecuaciones se realizó a través la herramienta Simulink del software MATLAB®. Las pruebas experimentales aplicadas fueron: pruebas de voltaje nominal-máximo, pruebas de impulso. Como resultado, el aislador polimérico fue menos afectado por la contaminación circundante. Sin embargo, en los tres aisladores evaluados, la capacitancia permanece constante mientras que la resistencia disminuye por la contaminación.

ABSTRACT

Topic: "MATHEMATICAL ANALYSIS APPLIED TO ISOLATION OF PORCELAIN, POLYMER AND GLASS INSULATORS AT 13.8KV LEVEL "

Authors: Eduardo Garcés Gutiérrez, David Rodriguez Morante.

Thesis Director: Ing. Roy Santana.

Keywords: MATLAB®, Simulink, insulators, porcelain, polymer, glass, voltage, nominal, maximum pulse current leakage.

Insulators, which have the function of isolating the distribution lines that are exposed to various types of pollutants, like dust, humidity and salinity, which reduce the resistance of themselves. To determine the effect of these pollutants on porcelain, polymer and glass insulators, a mathematical modeling was contrasted with the data obtained through tests performed in the laboratory of High Voltage of the Universidad Politécnica Salesiana headquarters Guayaquil was performed. The mathematical modeling equations were performed using the software MATLAB®'s Simulink tool. The experimental tests applied were: nominal-maximum voltage and impulse voltage tests. As a result, the polymer insulator was less affected by the surrounding pollution. However, in the three insulators evaluated, the capacitance remains constant while the resistance pollution decreases.

INTRODUCCIÓN

Dentro del presente documento se analizarán los distintos tipos de aisladores (porcelana, polímero y vidrio), ya sea en condiciones normales, como en condiciones de contaminación previamente establecidas, tanto en la parte matemática como en lo práctico.

Para poder entender mejor los conceptos y fundamentos se revisaron textos guías para reforzar conocimientos en definiciones eléctricas, y conocimientos matemáticos, como Leyes de Kirchhoff, derivadas, integrales, ecuaciones diferenciales, entre otras.

Durante el desarrollo del tema se realizaron prácticas, de las cuales se obtuvieron datos que fueron comparados con los obtenidos en el modelo matemático utilizando el software MATLAB®.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 PROBLEMA

Actualmente los aisladores que componen las redes de distribución local a nivel de media tensión, experimentan varios tipos de contaminación (polvo, lluvia, salinidad), las cuales pueden dar origen a fallas como descargas a tierras o flameo en los mismos; por lo que se pretende experimentar el comportamiento de otros materiales de aisladores tales como el vidrio y el polímero, los mismos que no son usados en el medio.

Por medio de este estudio, se pretende comprobar el buen funcionamiento de los distintos tipos de materiales de aisladores para así brindar otra opción de uso dentro de las redes de distribución local.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Mediante el análisis matemático a realizarse en los distintos tipos de aisladores se quiere determinar el funcionamiento y diferencias existente entre ellos, simulando escenarios ambientales críticos y normales con pruebas en el laboratorio de Alta Tensión.

Poder demostrar matemáticamente y mediante prácticas en el laboratorio de Alta Tensión de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Guayaquil el comportamiento de los aisladores según su tipo y según el medio en que trabajan, teniendo como referencia la contaminación ambiental.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Verificar mediante pruebas a realizarse dentro del laboratorio de alta tensión, las diferencias existentes entre los distintos tipos de aisladores, ya sea por su material o función, y compararlas con los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones diferenciales de los mismos; utilizando el software MATLAB®.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar pruebas de aislamiento en aisladores de porcelana, polímero y vidrio a nivel de 13.8 KV.
- Realizar el modelo matemático equivalente a las pruebas de aislamiento.
- Resolver mediante el uso del software MATLAB® las ecuaciones diferenciales equivalentes a las pruebas de aislamiento.
- Comparar los resultados obtenidos en las pruebas prácticas con los obtenidos en la simulación de MATLAB®.

1.4 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para el desarrollo del estudio en mención, se utilizara el método de investigación experimental, el cual permite la comparación de resultados obtenidos de manera práctica con los datos calculados de manera matemática, obteniendo así una conclusión final.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 AISLADORES

Los aisladores en las líneas de transmisión sirven fundamentalmente para sujetar a los conductores, de manera que estos no se muevan en sentido longitudinal o transversal. Como su nombre lo indica, deben evitar la derivación de la corriente de la línea hacia tierra, ya que un aislamiento defectuoso acarrea pérdidas de energía y en consecuencia un aumento del gasto de explotación comercial del sistema.

Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente los conductores a las estructuras que los soportan, asegurando el aislamiento eléctrico entre estos dos elementos.

Así pues, por algunas décadas, las cualidades eléctricas y mecánicas de los aisladores no deberán ser destruidas, por ninguno de los esfuerzos de todo tipo a los que estarán sometidos. Además, deberán facilitar todo trabajo que pudiera efectuarse en la línea, aun mantenida la tensión eléctrica, sin perjudicar la recepción de las señales electromagnéticas, radio, televisión y otros, ni la estética si fuera posible. Los aisladores se pueden clasificar desde diferentes puntos de vista, según el material elegido para su manufactura: aisladores de vidrio, porcelana o de plástico. Según su uso se tiene aisladores de intemperie y aisladores de recintos cubiertos, aislador de suspensión o aisladores de amarre, así como también aisladores de apoyo. También se diferencia entre aisladores de corriente continua y de corriente alterna. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 7)

2.1.1. MATERIALES PARA AISLADORES

Las pioneras líneas de transmisión aéreas de distribución de electricidad de alta tensión de corriente continua en 1882 y luego de alterna en 1885, fueron construidas con aisladores de vidrio recocido rígidamente ligados al soporte, a los cuales estaban sujetos los conductores por medio de una ligadura.

La porcelana se probó sin gran éxito entre 1890 y 1893, para cuando se desarrolló el procedimiento de fabricación por vía húmeda, que permitió obtener un material no poroso, de características mecánicas superiores a las del vidrio recocido. La cerámica por su parte se desarrolló y en 1903 se realizaron los primeros aisladores con este material. A partir de 1935, se utilizó el templado para los dieléctricos de vidrio, obteniéndose piezas con gran resistencias mecánica. Esencialmente los imperativos mecánicos son los que han presidido la evolución de los aislantes utilizados, para las líneas de transporte de energía. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 8)

Figura 1: Aisladores de Porcelana

Fuente: (Csanyi, 2012)

Hasta ahora, solo los vidrios y las cerámicas, productos minerales frágiles, han recibido la sanción favorable de la experiencia. A medida que los niveles de tensión eléctrica han aumentado en los sistemas de transmisión las formas y los materiales de construcción de los aislantes han sido especialmente estudiados, debido a los grandes esfuerzos eléctricos a que se ven sometido, siendo necesario conocer los niveles de aislamientos eléctricos.

El material que hasta el presente parece haber dado mejores resultados para uso a la interperie es la porcelana. Con tal finalidad se usa exclusivamente la porcelana dura vidriada, la cual consiste de mezcla de feldespato, cuarzo y caolín, pues es la mejor que satisface las condiciones requeridos por un buen aislante.

Aunque la porcelana, es hoy por hoy uno de los materiales de mayor uso; posee algunas desventajas. Es importante que el vidrio de la capa vitrificada que recubre la porcelana posee el mismo coeficiente de expansión térmica que la porcelana, pues de lo contrario surgen tensiones internas, que transcurrido cierto tiempo, se manifiestan en forma de pequeñas grietas; acortando la vida del aislador. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 10)

Figura 2: Aislador de Polímero

Fuente: (LAAP INSULATORS)

Por su parte los aislantes de vidrio fueron desarrollados principalmente en Francia, han logrado después de algunos fracasos iniciales, imponiéndose como aisladores de soporte de sistemas de hasta 20 KV primero y hasta 380 KV. El aislador de vidrio se obtiene fundiendo diferentes materiales de granulometría; tales como arena, carbonato de sodio, dolomita, carbonato de barrio, carbonato de potasio, sulfato de barrio y piedra caliza, al material acabado permiten modificar o variar las características eléctricas, térmicas y mecánicas.

Otras ventajas del vidrio en comparación con la porcelana son: su constante dieléctrica de 7.3 (la de la porcelana es 6) y su elevado coeficiente de expansión térmica mayor a la del vidrio.

El aislador de vidrio en consecuencia, soporta los cambios bruscos de temperatura. Denota, además una elevada resistencia a los impactos, así sean provocados por

proyectiles. La aparición de cualquier fisura provoca la inmediata destrucción de la falda, quedando, sin embargo, las piezas metálicas unidas entre sí, en vista de lo cual no hay caída del conductor. Para proteger a los aisladores de vidrio contra disparos accidentales o voluntarios algunos fabricantes han diseñados aisladores de vidrio, lisos en su interior y con superficies curvas para desviar fácilmente los proyectiles.
Los aisladores de plástico se han venido encontrando una aplicación cada vez mayor de las instalaciones de alta tensión bajo techo, debido fundamentalmente a las ventajas que se presentan frente a los aisladores de cerámica y vidrio entre los cuales resaltan:

- Mayor libertad y facilidad en el acabado final del aislador, permitiendo además el vaciado simultaneo de piezas metálicas
- Mejor comportamiento elástico y mayor resistencia contra impactos mecánicos.
- Peso reducido y elevada resistencia dieléctrica.
-

En las instalaciones a la interperie se aprecia también una fuerte tendencia en la aplicación creciente de aisladores de plástico, si bien los estudios e investigaciones no pueden contemplarse como finalizados.

El material más indicado para la fabricación de los aisladores plásticos parece ser la resina sintética. Los experimentos de tensión mecánica a muy baja temperatura (-20°C) han demostrado, sin embargo que no todas las resinas sintéticas hasta ahora aplicadas en la electrotecnia pueden soportar los severos desafíos de la práctica, quedando casi descartadas las resinas del tipo ciclo alifático, mientras que los elastómeros de la silicón parecen arrojar mejores resultados en un margen de temperatura comprendido entre 60°C y +180°C. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 10)

Figura 3: Aislador de Vidrio

Fuente: (Csanyi, 2012)

Con la finalidad de mejorar el comportamiento eléctrico y mecánico de los aisladores plásticos se están empleando actualmente una gran cantidad de aditivos, cuya discusión excedería apreciablemente el margen del presente escrito. Cabe señalar, únicamente, que los aisladores de plásticos están encontrando una creciente aplicación en los sistemas de transmisión de energía, encontrándose desde hace algunos años en operación aisladores diseñados con tensiones de 110KV. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 10)

Tabla 1. Diferencia entre los aisladores de vidrio y porcelana

Vidrio	Porcelana
• Se hace fácil la detección de defectos internos (el vidrio es transparente).	• No se pueden detectar defectos internos.
• Sufren un recalentamiento menor debido a los rayos solares, ya que la mayoría pasan a través del aislador y no son absorbidos.	• Se calientan fácilmente por la acción de los rayos solares.
• Son más vistosos por lo que son presa fácil para cazadores y actos vandálicos.	• No son vistosos.
• Facil inspección desde el suelo o helicóptero, se observa su estado sin ningún error.	• Su inspección debe ser detalla.
• No se perforan a los cambios de tensión.	• Se perforan más fácilmente.

Fuente: (Gonzalez-Longatt, 2007)

2.1.2. TIPOS DE AISLADORES SEGÚN SU DISEÑO.

Los aisladores pueden ser clasificados según el diseño que se coloque, distinguiéndose en los siguientes grupos:

- Aisladores rígidos o de soporte (Post Type).
- Aisladores de suspensión.
- Aisladores de tipo espiga, palillo o pin (Pin Type). (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 12)

2.1.2.1. AISLADORES DE SOPORTE.

Se emplean generalmente en sistemas de hasta 69KV, constan o bien de una sola pieza de porcelana, o de varias piezas cementadas entre sí. La superficie del núcleo, sigue, en lo posible, la dirección de las líneas de fuerza y las campanas viene a ser perpendiculares a las mismas, con lo cual se evitan, por una parte, los espacios huecos con intenso flujo de campo electrostático, y por otra, se consigue que la distribución del campo sea aproximadamente la misma en estado seco que en estado húmedo. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 12)

Figura 4: Aisladores de soporte

Fuente: (Csanyi, 2012)

En Norteamérica, se han desarrollado un tipo que además de ser rígido tiene en un extremo un soporte con el cual se puede anclarse al poste mediante tornillos, y en el otro extremo una mordaza de suspensión. Las ventajas de este tipo conocido como

Line-Post son que se evita la construcción de los brazos; se ahorra espacio, lo que permite su utilización en zonas urbanas sin que presente mucha interferencia, y luego su disposición horizontal lo hace recomendable en zonas donde haya salitre pues se lava fácilmente sin que se produzca cortoneos, o bien sea con lluvia o lavado a presión. La principal desventaja es la limitación de tipo mecánico pues al ocupar la posición de un brazo debe soportar los esfuerzos que le transmite el conductor sin posibilidad de moverse. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 13)

2.1.2.2. AISLADORES DE SUSPENSIÓN.

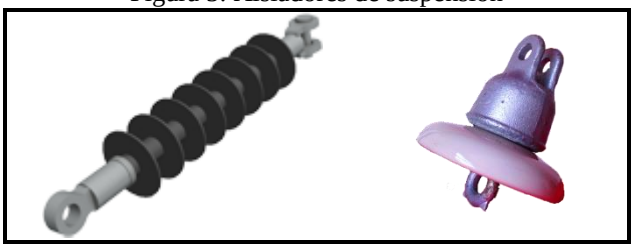
Este tipo de aislador también es denominado plato, en este el material aislante (porcelana, vidrio, etc.) tiene adherido con cemento lado y lado, elementos metálicos que se pueden encajar uno dentro de otro, permitiendo la formación de cadenas flexibles, también se encajan accesorios de conductor o herrajes, además de las estructuras, con lo cual se completan su fijación.

El aislador de suspensión de tipo campana y espárrago (cap and pin) domina hoy día el margen de tensiones comerciales comprendidos a partir de 70KV. Para tales tensiones el aislador de apoyo resulta antieconómico, siendo además apreciable la longitud que tendrían que denotar los mismos para vencer tensiones más altas. Los aisladores a base de campana y espárrago (también denominados rotula y horquilla) denotan la peculiaridad de poder suspender hasta cierto límite a un elemento del otro, formando una especie de cadena, hasta vencer la tensión deseada.

Uno de los grandes problemas que ofreció en su comienzo este tipo de aislador fue la fijación de la capurucha o caperuza, ya que en el cemento empleado se dilataba en el curso de los años, aumentando así de volumen hasta estallar. La absorción de humedad contribuía también al incremento, de volumen, en especial en la parte inferior del elemento, haciendo trabajar a la porcelana a la tracción. Estas dificultades pudieron ser vencidas utilizando mezclas de cemento perfeccionadas, o bien interponiendo capas elásticas, así como también tratando térmicamente al cemento durante su fraguado, o mejorando la calidad superficial de compuesto, para impedir así la penetración del aire o la humedad.

Los aisladores suspendidos consisten de una cadena de aisladores de revolución, ensamblados los unos a los otros, a las torres y a los cables, por sistemas metálicos de rotula o de horquilla que solo permiten la transmisión, excepto el rozamiento, de esfuerzos mecánicos paralelos a su eje. De estas cadenas verticales se suspenden los conductores a las torres de alineación; de otras cadenas horizontales o más bien inclinadas respecto a la alineación de los cables, se tensan los conductores en las torres de anclaje o amarre. Estas cadenas pueden ser dobles o múltiples para aumentar la resistencia mecánica, su longitud dependerá del nivel de aislamiento requerido.

Figura 5: Aisladores de suspensión



Fuente: (Renovable, 2011)

Los americanos por su parte, y por otra la Comisión Electrotecnia Internacional (ANSI Standard C29-2-71, Publicación IEC 305) han estandarizado cierto número de tipos de aisladores y elementos de cadena, comprendiendo la formas. Igualmente se han determinado las dimensiones de los sistemas de suspensión, particularmente en la publicación 120 de la IEC, editada en 1960. Actualmente los sistemas de rotula, “ball and socket” son recomendados por la IEC que han provisto de cuatro dimensiones (11, 16,20 y 24 mm). También los estándares americanos (ANSI) definen dimensiones de las ensambladuras de horquilla y espiga, para resistencias mecánicas de 10000, 15000, 25000,36000 y 50000 libras. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 16)

2.1.2.3. AISLADORES TIPO ESPIGA, PALILLO O PIN (PIN TYPE)

Este tipo de aislantes se caracteriza porque la fijación que hacen del conductor es rígida. Hay variedades en cuanto al tamaño y forma de sujetar al conductor, en su gran mayoría requieren de ligaduras, o sea de hilos del mismo material del conductor que amarren este del aislador, gracias a sus formas exteriores; también los hay que

tienen una pinza o mordaza en el tope estos aisladores tienen una rosca interna que aloja la espiga y a ella se ajusta gracias a una caperuza de plomo que se deforman para asentarse a la cruceta, y sobresale a partir de ella roscada, en una longitud que varía si se trata de cruceta de hierro o madera. No se recomienda ponerlos en ángulos verticales mayores de 4°, ni por supuesto como terminales, amarres o anclajes. (Gonzalez-Longatt, 2007)

Figura 6: Aislador tipo pin

Fuente: (Renovable, 2011)

El dieléctrico es de vidrio templado, porcelana y hasta plástico en tiempos recientes. El material de conexión es un mortero de cemento aluminoso o Portland. La forma de la cabeza está diseñada de tal modo, que los esfuerzos de tracción aplicados al aislador se transforman, tanto como sea posible, en compresión en los dieléctricos, ciertas tensiones de cizalladura. La forma socavada interior de la cabeza, necesaria para la fijación del sellado de la espiga, se obtiene sea por el paso de un tornillo que retira después del prensado del dieléctrico, sea por medio de una deformación o elaboración posterior a la formación de dicha cabeza. En el caso del aislador de porcelana esta socavación puede evitarse aplicando, antes de la cocción partículas de pastas precocidas, las cuales después de la cocción formaran cuerpo con la pieza, permitiendo la fijación del mortero. Este procedimiento es conocido con el nombre de “sandage”, se utiliza corrientemente aun. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 17)

2.1.3. FUNCIÓN DE UN AISLADOR

Los aisladores dentro de las líneas de transmisión realizan dos funciones básicas:

-Función eléctrica: Aislar el conductor de la tierra.

-Función mecánica: Soportar al conductor.

Es necesario en el diseño de los aisladores de una línea de transmisión aérea, tomar en cuenta dis factores importante:

-Exigencias eléctricas de explotación.

-Exigencias mecánicas de explotación. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 20)

2.1.4. EXIGENCIAS ELÉCTRICAS

Un aislador o una cadena de aisladores están sometidos, permanentemente, a la tensión entre fase y tierra del sistema, o a la tensión compuesta, o sea entre fases, en el caso de incidente monofásico que sobreviene en una línea de neutro aislado. Es necesario vigilar que estas tensiones puedan ser soportadas permanentemente por los aislantes, aun en el estado más desfavorables (contaminación) determinado en cada caso, por las condiciones atmosféricas y el medio ambiente local (proximidad de la costa, de las zonas industriales, etc.).

En fin se debe tomar en cuenta la frecuencia de las tormentas, ya que los rayos que alcanzan líneas, torres o conductores, someten estos aislantes a ondas de sobretensiones de elevaciones bastantes rápidas, como para ocasionar la perforación de algunos aisladores, y de amplitud suficiente como para provocar un salto. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 21)

2.1.5. GRADO DE AISLAMIENTO

Un valor de tensión eléctrica (diferencia de potencial) de una magnitud muy elevada puede provocar:

- Un salto en el aislador, o sea una excitación en el aire circundante entre las dos piezas conductoras en terminales. Solo la energía térmica desprendida por el arco puede deteriorar el aislamiento.

- La perforación del aislador, por una excitación a través del dieléctrico del material que constituye el aislante.

La duración de la aplicación de una tensión constante, necesaria para la excitación, varia con la amplitud de esta tensión. La ley de estas variaciones es diferente según se trate de un salto o una perforación.

Las perforaciones son muchas veces, solo una consecuencia de las grietas producidos por las tensiones mecánicas. El riesgo de perforación queda descartado, si se realiza una selección apropiado de los aislantes desde el punto de vista mecánico, además de una inspección especial en el montaje. La amplitud mínima de la tensión que provoca un salto exterior en un aislamiento, variara en función de:

- La naturaleza de la tensión eléctrica aplicada (constante, alternativas, transitorias, etc.)
- Las condiciones atmosféricas y climáticas (temperatura, densidad del aire, estado de ionización del aire).
- El estado de la superficie del aislante (humedad, polución, etc.)

Para simular los diferentes tipos de tensiones eléctricas a las cuales son sometidos los aisladores en explotación, se han definido una serie de tensiones y ensayos por parte de la IEC, publicación 60, ANSI C68-1-1968, UTE 41-100.

La contaminación es un fenómeno que ayuda al salto eléctrico superficial del aislador, ha sido calificada en dos tipos:

- Fuertes contaminaciones: áreas industriales cerca de las costas y desiertos (áreas mixtas). Depositándose polvo de carbón, petróleo, cenizas, sal, arenas, etc.
- Ligeras contaminaciones: áreas costeras, desérticas, agrícolas. Depositando nieblas, fertilizantes, excremento de aves, etc.

Para establecer la especificación de los aisladores se suele utilizar el grado de aislamiento. El grado de aislamiento se define como la relación entre la longitud del camino de fuga de un aislador (o una cadena total), y la tensión de fase. Siendo la

longitud de fuga, la distancia que se mide sobre la superficie del aislador, de menor camino para la corriente de fuga. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 22)

2.1.6. EXIGENCIAS MECÁNICAS

Las tensiones mecánicas aplicadas a los aisladores, se deben esencialmente a los conductores. Estas tensiones varían continuamente, pues dependen de las características del viento, de la cantidad de depósito soportado por los cables (nieve, escarcha, hielo, etc.) y aun en los casos de ángulos y sobre todo de anclajes, de la tensión de los conductores, luego de su temperatura. En la selección de los aisladores por esfuerzos mecánicos, priva en esencia una serie de factores, como el peso del conductor, número de conductores por fase, peso de la cadena de aisladores, y hasta el peso de los herrajes, incluyendo los amortiguadores y separadores. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 22)

2.1.7. POLUCIÓN

La polución al depositarse en los aisladores, puede disminuir sus cualidades eléctricas, hasta el punto de no poder soportar la tensión de servicio, sin frecuentes limpiezas o mantenimiento.

Desde hace mucho tiempo, los técnicos buscan métodos para disminuir la nocividad de esta polución, sea dando a los aisladores formas más apropiadas, sea aplicando en su superficie productos tales como grasas que absorben los depósitos, sea organizando campañas de limpieza bajo tensión, o sea aplicando en su superficie un material semiconductor, para evitar la formación de esos pequeños arcos parciales que son uno de los procesos de las excitaciones. Todavía no ha sido encontrada una solución perfecta. Cuando los aislamientos acostumbrados no permiten una explotación satisfactoria de las líneas de transmisión, aisladores de formas más apropiadas bastan a veces para obtener el mejoramiento necesario; sin aumentar la longitud de las cadenas, luego el costo de las torres, o limitando razonablemente su aumento.

La elección de la forma óptima requiere el conocimiento de la naturaleza de la polución, y de las condiciones atmosféricas y climáticas que conducirán los

constituyentes a la superficie de los aisladores, pero que igualmente podrán limpiarla por lavado o sopladura. Así la forma simple de las aletas de un aislador pueden facilitar su limpieza por el viento, mientras que ragueras excavadas en las aletas helicoidales del aislador son proyectadas para que la lluvia arrastre la polución que allí se deposite, regenerando parte de la pérdida de aislamiento. Los medios que se utilizan para luchar contra la polución, se eligen en cada caso, a fin de comparar sus costos con las pérdidas que evitan. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 22)

2.1.8. PERTURBACIONES DE ALTA FRECUENCIA

Corrientes parasitas cuya frecuencia se extiende en un amplio espectro de frecuencias, recorren los conductores. La mayoría de las veces son resultado de la ionización del aire, sometido a campos eléctricos elevados en la vecindad de los conductores y de los accesorios de la línea. Estas corrientes pueden perjudicar la claridad de la recepción de los mensajes, transmitidos en alta frecuencia por la línea, y de la de los emitidos por las estaciones de radio o de televisión captados en las cercanías. La amplitud de las corrientes perturbadoras causadas por los aislamientos, es habitualmente inferior a la de aquella generada por los cables.

Como la nocividad de estas corrientes no es aditiva, la función de los aisladores resulta despreciable.

Sin embargo ciertas imperfecciones afectan a los aisladores; contactos defectuosos entre las armaduras o los accesorios de las cadenas, pueden ser la causa de las corrientes de alta frecuencia de amplitud nociva, las ligaduras de anclaje de los cables en los aisladores rígidos pueden presentar los mismos inconvenientes, si se aplican imperfecciones en la garganta del dieléctrico. El estándar americano ANSI C63-21963 y la publicación 1 de la CISPR, definen las características que deben poseer los aparatos de medición de perturbaciones. El estándar americano NEMA 107-1961 y la publicación IEC proponen circuitos y métodos para medir las perturbaciones emitidas por los aisladores. (Gonzalez-Longatt, 2007, pág. 23)

2.2 NORMAS DE FABRICACIÓN

2.2.1 INTRODUCCIÓN

Los aisladores deberán cumplir en todos los aspectos a los requisitos presentes en las normas. El texto y las figuras se complementan y se consideran parte de las normas presentes.

Los planos del fabricante necesariamente deberán detallar el contorno de los aisladores, junto con todas las dimensiones pertinentes. Cualquier cambio de medidas, de acuerdo a las tolerancias establecidas deberá ser indicado.
A continuación se detalla una tabla donde se puede visualizar las clases y normas de fabricación de los aisladores a utilizar.

Tabla 2. Clase y Normas de fabricación de los aisladores

RESUMEN DE LAS NORMAS ANSI PARA AISLADORES					
Material	Tipo	Clase	Vmax	Norma de fabricación	Fuente
Porcelana	Pin	56-1	25KV	ANSI C29.6	NEMA
	Retención	52-3	25KV	ANSI C29.2A	NEMA
Vidrio	Pin	-	25KV	-	NEMA
	Retención	52-3	25KV	ANSI C29.2A	NEMA
Polímero	Pin	51-2F	25KV	ANSI C29.18	NEMA
	Retención	DS-28	25KV	ANSI C29.13	NEMA

Fuente: Los autores

2.2.2 AISLADOR TIPO PIN DE PORCELANA (56-1)

2.2.2.1 NORMA A UTILIZAR:

ANSI C29.6: Wet Process Porcelain Insulators (High Voltage Pin type).

2.2.2.2 MATERIAL

Los aisladores deberán ser de buena calidad comercial de proceso húmedo porcelana. Toda la superficie del aislador deberá ser esmaltada, con la excepción de una superficie de cocción. Toda la superficie debe estar relativamente libre de

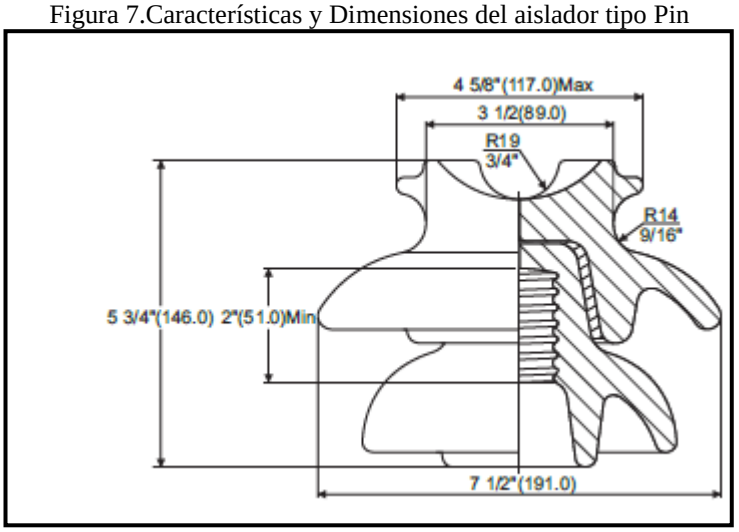
imperfecciones. El color no es una parte de esta norma. Si se requiere gris, que se realizará de conformidad con la norma ANSI Z55.1-1967 (R1973), y conforme a la notación Munsell 5BG 7.0 / 0.4 con las siguientes tolerancias: (National Electrical Manufacturers Association)

1) Matiz: ± 12 (3G a 7B) (Tonalidad de color, de acuerdo a codificación RGB)
2) Valor: ± 0,5
3) Intensidad de color: -0,2 a 0,6

2.2.2.3 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS

Todas las dimensiones y otros valores numéricos se dan en unidades inglesas habituales, cualquier equivalencia en unidades métricas podra ser usada. (National Electrical Manufacturers Association)

Figura 7.Características y Dimensiones del aislador tipo Pin



Fuente: (National Electrical Manufacturers Association)

Tabla 3. Especificaciones técnicas del aislador de Porcelana.

	Rating	See American National Standard C29.1-1988 (R2012)
Dimensions		
Leakage distance, inches	17	2.5.2
Dry-arcing distance, inches	8-1/4	2.5.3
Minimum pin height, inches	7	-
Mechanical Values		
Cantilever strength, pounds (kilonewtons)	3000(13)	5.1.1
Electrical Values		
Low-frequency dry flashover, kilovolts	110	4.2
Low-frequency wet flashover, kilovolts	70	4.3
Critical impulse flashover, positive, kilovolts	175	4.7
Critical impulse flashover, negative, kilovolts	225	4.7
Low-frequency puncture voltage, kilovolts	145	4.11
Radio-Influence Voltage Data		
Low-frequency test voltage, rms to ground, kilovolts	22	4.9
Maximum RIV at 1000KHz		
Radio Freed, microvolts	100	4.9
Plain, microvolts	12000	4.9

Fuente: (National Electrical Manufacturers Association)

2.2.3 AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA (52-3)

2.2.3.1 NORMA A UTILIZAR

ANSI C29.2A: Wet Process Porcelain and Toughened Glass-Distribution Suspension Type.

2.2.3.2 MATERIAL

CARCAZA DEL AISLADOR.

Las carcasas de aisladores serán de porcelana de proceso húmedo o vidrio templado. Los depósitos deben estar en buen estado y libres de defectos que puedan afectar negativamente a los aisladores. (National Electrical Manufacturers Association)

Superficie de la Carcaza.

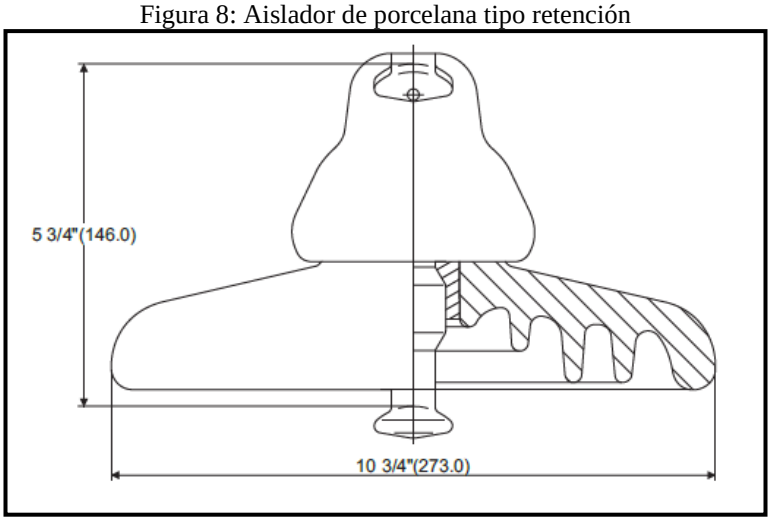
La superficie de las carcasas expuestas después del ensamblaje deberán ser de esmaltadas, para los aisladores de porcelana.

1) Matiz: ±12 (3G to 7B) (Tonalidad de color, de acuerdo a codificación RGB)
2) Valor: ±0.5
3) Intensidad de color: -0.2 to +0.6 (National Electrical Manufacturers Association)

2.2.3.3 DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS.

Todas las dimensiones y otros valores numéricos se dan en unidades inglesas habituales. Salvo que se estipule lo contrario, equivalentes métricos podrán ser utilizados. (National Electrical Manufacturers Association)

Figura 8: Aislador de porcelana tipo retención



Fuente: NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

Tabla 4. Especificaciones técnicas aislador de Porcelana tipo Retención.

DETALLE	CLASE 52-3
A. Tipo de acoplamiento	B & S Tipo J
B. Dimensiones	
Diámetro	254 mm (10 ”)
Largo	127 mm (5”)
Distancia de fuga	292 mm(11 1/2”)
C. Características mecánicas:	
Carga electromecánica de rotura	67 kN (15.000 lb)
Resistencia al impacto mecánico	6 N-m (55 pulg-lb)
Tension de prueba	33,4 KN (7.500 lb)
D. Características eléctricas:	
Tensión de contorneo en seco a baja frecuencia	80 kV
Tensión de contorneo en húmedo a baja frecuencia	50 kV
Tensión de contorneo al impulso crítico positivo	125 kV
Tensión de contorneo al impulso critico negativo	130 kV
Tensión de perforación a baja frecuencia	110 kV
E. Tensión de radio interferencia	
Tensión de prueba a baja frecuencia, rms a tierra	10 kV
Máximo RIV a 1000 kHz	50 mV

Fuente: NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

2.2.4 AISLADOR TIPO PIN DE POLÍMERO (51-2F)

2.2.4.1 NORMA A UTILIZAR:

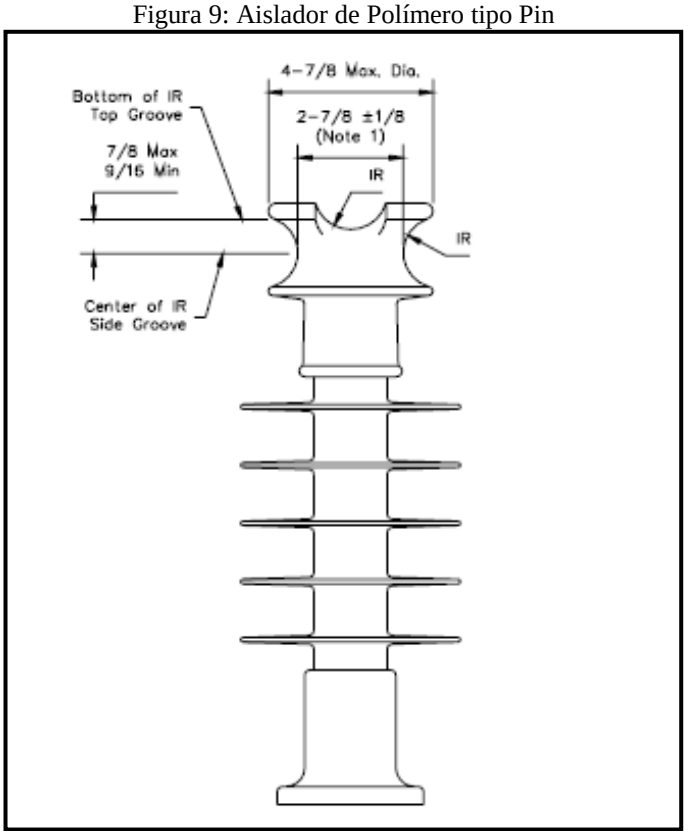
ANSI C29.18: For Composite Insulators-Distribution Line Post Type

2.2.4.2 DIMENSIONES Y CARÁCTERISTICAS

Las dimensiones y características de los aisladores deben estar de acuerdo con los planos del fabricante.

Las formas de las campanas meteorológicas y el espaciamiento entre ellos no son una parte de esta norma. Las tolerancias permitidas para todas las dimensiones para las que las tolerancias especiales no aplican se de conformidad con la sección 5 de la norma ANSI C29.11. (National Electrical Manufacturers Association)

Figura 9: Aislador de Polímero tipo Pin



Fuente: (National Electrical Manufacturers Association)

Tabla 5: Especificaciones técnicas aislador de Polímero tipo Pin.

SPECIFICATION		UNIT	CATALOG NUMBER						
			KL15S_	KL28S_	KL35S_	KL46S_	KL69S_P	KL69S_	KL69S_P1
Voltage Class		kV	15	28	35	46	69	69	69
CSA Class		-	LP15	-	LP28M	LP46	LP46M	LP46M	LP69M
ANSI Class		-	51-1C 51-1F 51-1I 51-21 51-31	51-2C 51-2F 51-12 51-22 51-32	51-3C 51-3F 51-13 51-23 51-33	51-4C 51-4F 51-14 51-24 51-34	51-15 51-25 51-35	51-15 51-25 51-35	51-16 51-26 51-36
Section Length (L)		mm (in)	297 (11.7)	348 (13.7)	424 (1.7)	500 (19.7)	571 (22.5)	619 (24.4)	694 (27.3)
Dry Arcing Distance		mm (in)	138 (5.4)	184 (7.2)	264 (10.4)	339 (13.3)	445 (17.5)	478 (18.8)	551 (21.7)
Leakage Distance		mm (in)	275 (10.8)	420 (16.5)	657 (25.9)	860 (33.9)	1171 (46.1)	1121 (44.1)	1511 (59.5)
Positive Critical Impulse Flashover		kV	130	160	195	240	300	310	360
Low-Frequency Flashover	Dry	kV	75	95	120	145	190	205	235
	Wet		42	65	85	115	150	160	190
Radio Influence Voltage (RIV) at 1000 Hz	Test	kV	10	15	22	30	30	30	45
	Max	µV	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	6
Specified Tensite Load (STL)		kN (lb)	22 (5000)	22 (5000)	22 (5000)	22 (5000)	22 (5000)	22 (5000)	22 (5000)
Specified Cantliever Load (SCL)		kN (lb)	12.5 (2800)	12.5 (2800)	12.5 (2800)	12.5 (2800)	11.0(2475)	14.0(3150)	11.0(2475)
Max. Design Cantliever Load (MDCL)		kN (lb)	6 (1350)	6 (1350)	6 (1350)	6 (1350)	5.5 (1240)	7.0 (1575)	5.5 (1240)
Number of Sheds		-	2	3	5	6	10	10	13
Approx. Weight		kg (lb)	4.1 (9.0)	4.3(9.5)	4.8(10.5)	5.8(12.8)	7.0(15.4)	10.1(22.2)	8.4(18.4)
Standard Packaging		-	3	3	3	3	3	2	2

Fuente: El fabricante

2.2.5 AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO (DS-28)

2.2.5.1 NORMA A UTILIZAR:

ANSI C29.13: For Insulators-Composite-Distribution Dead-end Type.

2.2.5.2 CARACTERISTICAS

Tabla 6: Características aislador tipo retención de polímero

ÍTEM	CONCEPTO	UNIDAD	PEDIDO
1	Características Generales		
	Norma de ensayos	---	ANSI C29.13
	Designación		DS-28
	Tipo de aislador	---	Retención
	Material	---	Polimérico
2	Características Eléctricas	---	
	Frecuencia nominal		50/60
	Tensión máxima de operación	kV	25
	Tensión de contorneo a frecuencia industrial en seco	kV	130
	Tensión de contorneo a frecuencia industrial en bajo lluvia	kV	100
	Tensión crítica tipo impulso - positiva	kV	190
	Low frequency test voltage (rms to ground)	kV	20
	Maximum RIV at 1000 khz	µV	10
3	Características Mecánicas		
	Carga mecánica nominal (SML)	kN	44,5
	Torsión	N-m	47,5
4	Características Dimensionales		
	Distancia de fuga	mm.	560
	Largo L	mm.	430±25

Fuente: El fabricante

2.3 EFECTO CORONA

Este es quizás uno de los efectos más llamativos de los fenómenos eléctricos. Consiste en que algunos electrones adquieren la suficiente energía para abandonar el conductor por donde circulan y son capaces de saltar hacia el aire circundante, que teóricamente no es conductor. Esto provoca que se forme un haz luminoso en torno a los conductores, que de noche es visible a grandes distancias. (Rosas, 2000, pág. 110)

El proceso es algo más complicado de explicar. Los electrones siempre viajan a través de materiales metálicos, el aire es un material aislante y por tanto no apto para el paso de los electrones. Pero bajo ciertas condiciones, como pueden ser, un valor de tensión más elevado de lo normal en una línea (debido a un fallo o mal funcionamiento de la misma), unido a unas condiciones medioambientales del aire favorables a la conducción (ambiente húmedo o contaminado), pueden llegar a producir este efecto. (Rosas, 2000, pág. 110)

Todo ocurre como si el aire se volviera conductor (o como mínimo menos aislante), unido a unas condiciones de funcionamiento de la línea anormales (exceso de tensión), que permitieran a algunos electrones dejar su vía normal para saltar el aire. (Rosas, 2000, pág. 111)

2.4 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Esta prueba puede llevarse a cabo aplicando voltajes de 100 hasta 15000 voltios DC. El instrumento utilizado es el megóhmetro, de cualquier tipo, ya sea de manivela de mano, accionado por motor o electrónico. La calidad de aislamiento es variable, depende de la temperatura, humedad, y otros factores ambientales. Por lo tanto, todas las lecturas deben ser corregidas a la temperatura estándar para la clase del equipo que será probado. (Gill, 2009, pág. 141)

El valor en mega ohmios de resistencia de aislamiento es inversamente proporcional al volumen del aislamiento total medido. (Gill, 2009, pág. 141)

Los valores de resistencia de aislamiento por sí mismo no indican la debilidad de aislamiento ni la capacidad dieléctrica total. Sin embargo, puede indicar la contaminación del aislamiento y problemas a futuro dentro del sistema de aislamiento si los valores de resistencia de aislamiento continúan con tendencia a bajar. (Gill, 2009, pág. 141)

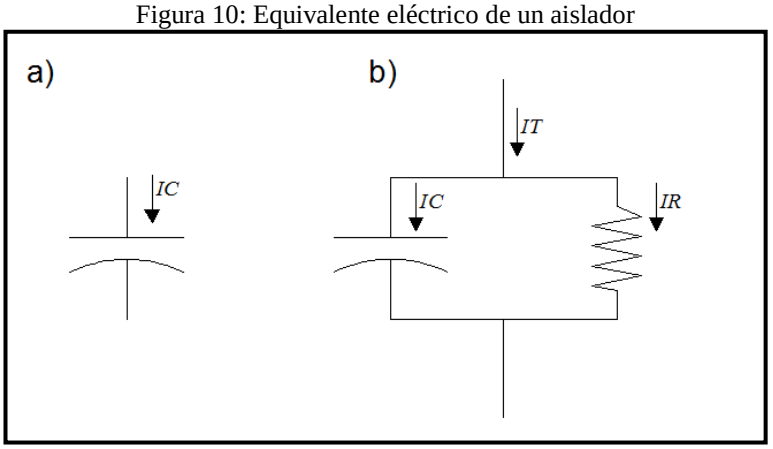
2.5 EQUIVALENTE ELECTRICO DEL AISLADOR

El capacitor es un elemento constituido de forma simple mediante dos placas conductoras paralelas separadas mediante un material aislante.

La capacitancia es una medida de habilidad del capacitor para almacenar carga sobre sus placas-en otras palabras, su capacidad de almacenamiento. (Boylestad, 2004)

Un aislador perfecto puede ser representado por un capacitor ideal como se muestra en la figura 10 parte a. Sin embargo, todo aislamiento de equipos eléctricos tiene perdidas por lo tanto un aislador no es un capacitor puro. Asi, el circuito eléctrico de un aislador practico puede ser representado por un capacitor con una resistencia en paralelo, como se muestra en la figura 10 parte b. (Gill, 2009, pág. 37)

Figura 10: Equivalente eléctrico de un aislador



Fuente: Los autores

2.6 GENERADORES DE IMPULSO DE ALTA TENSIÓN

Algunas de las tensiones más elevadas que se utilizan en la actualidad corresponden a los impulsos transitorios producidos por los generadores de impulsos. Se han obtenido impulsos de 10 millones de voltios mediante dos generadores de 5 millones de voltios cargados con polaridades opuestas.

La forma de onda de los impulsos suele tener un crecimiento rápido, seguido de una disminución menos rápida hasta cero, viniendo dada la característica tensión-tiempo por la ecuación siguiente:

Ecuación 1: Característica Tensión-Tiempo

$$v = A(e^{-mt} - e^{-nt})$$

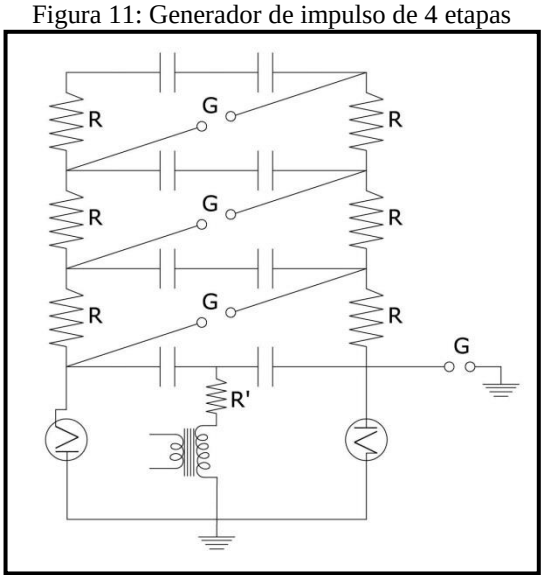
Fuente: Los autores

Las tensiones de impulso se usan para ensayar el comportamiento de los equipos industriales frente a las sobretensiones atmosféricas y de maniobra. (Fink, Beaty, & Carroll, 1984, pág. 28)

2.6.1 GENERADOR DE IMPULSOS DE MARX

El generador de impulsos de Marx multiplica la tensión de la fuente de potencia mediante la carga de condensadores en paralelo y la descarga de los mismos en serie. En el circuito típico del generador de impulsos de Marx se utiliza corriente alterna rectificada mediante válvulas de vacío, hallándose conectados a tierra uno de los objetos sometidos a ensayo y uno de los terminales del transformador. Primeramente, los condensadores se cargan en paralelo a través de la resistencia de carga *R*, conectándose después en serie y descargándose sobre el elemento sometido a prueba mediante la descarga disruptiva simultanea de los descargadores de esfera *G*. (Fink, Beaty, & Carroll, 1984)

Figura 11: Generador de impulso de 4 etapas



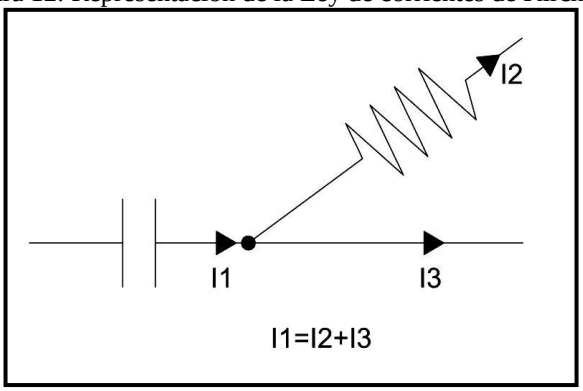
Fuente: Los autores

2.7 LEYES DE KIRCHHOFF

2.7.1 LEY DE CORRIENTES

La suma algebraica de las corrientes de un nodo debe ser igual a cero en cualquier instante de tiempo: Suma de corrientes que entran en el nodo=Suma de corrientes que salen del mismo. (Simón Rodríguez & De la Peña, 2005, pág. 3)

Figura 12: Representación de la Ley de corrientes de Kirchhoff

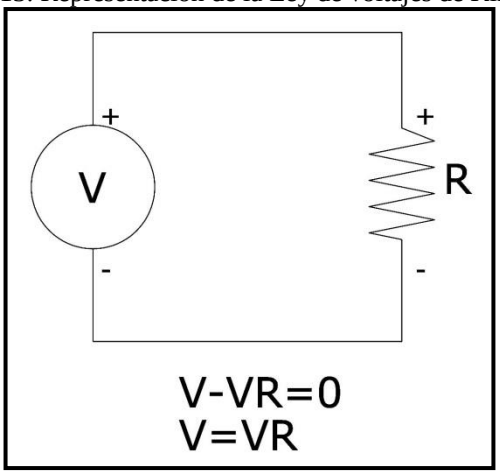


Fuente: Los autores

2.7.2 LEY DE TENSIONES

La suma algebraica de las tensiones en una línea cerrada debe ser igual a cero en todo instante de tiempo: Suma de tensiones en un sentido=suma de tensiones en sentido contrario. (Simón Rodríguez & De la Peña, 2005, pág. 3)

Figura 13: Representación de la Ley de voltajes de Kirchhoff



Fuente: Los autores

2.8 MODELO MATEMÁTICO.

Un modelo es una representación cualitativa y/o cuantitativa de un sistema, en el cual se muestran las relaciones predominantes en sus elementos.

Por esta razón, un modelo no puede incluir todos los aspectos de un sistema real, sino solamente los más importantes. Es decir, los objetivos y procesos físicos y los símbolos y sus relaciones constituyen el modelo, de manera que la representación se hace generalmente, con medios de sustancias distinta a los del sistema original.

Un modelo debe ser bastante detallado si se desea representar válidamente el problema real. (México, s.f., pág. 1)

- Parámetros: En el Modelo son objetivos o símbolos que representan a entidades o atribuciones del sistema que permanecen constantes durante el estudio.
- Variables: Son objetivos o símbolos en el modelo, que representan a entidades o atributos del sistema que cambian en el tiempo durante el estudio.

- Relaciones Funcionales: Son los procesos físicos o las relaciones entre los símbolos de un modelo, que representan a las actividades y a las relaciones entre los elementos de un sistema. Describen la forma en que cambian las variables y como las afectan los parámetros. (México, s.f.)

Es posible diseñar modelos matemáticos para simulación, y en problemas complejos estos pueden ser más económicos y existe una gran variedad de este tipo de modelos orientados a encontrar soluciones óptimas (programación matemática). (México, pág. 2)

En general, los modelos matemáticos de sistemas estáticos (que no varían con el tiempo) consisten de ecuaciones algebraicas, mientras que las representaciones matemáticas de sistemas dinámicos y leyes físicas se integran mediante ecuaciones diferenciales.

La presicion de los modelos matematicos esta intimamente ligada a su costo de explotación, por lo que deben tomarse en cuenta los siguientes factores.

a. **La exactitud de los datos iniciales.** Tomar en cuenta la discontinuidad de los daos y la magnitud de error de los mismos.
b. **Tipo de fenómeno a estudiar.** Dependiendo del fenómeno y su importancia dependerá su precisión.
c. **Exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno.** Las ecuaciones mediante las que se ha formulado el modelo, pueden determinar un límite a la exactitud con que se podrá describir ek fenomeno. Esto puede ser ocasionado por las hipotesis introducidas para simplificar, o bien, por construir ellas mismas una simple aproximación al no considerar ciertas variables.
d. **Forma de aproximar las ecuaciones.** Partiendo de un sistema de ecuaciones con los consiguientes errores de truncamiento, la exactitud puede verse afectada.
e. **Evolución del modelado.** Durante el proceso de calculo, al cambiar el modelo en el espacio y en el tiempo, puede ocurrir que los errores que se

producen se vayan transmitiendo o acumulando, con la presicion obtenida del modelo puede verse limitada.

La secuencia del desarrollo de un modelo matematico consta de sies etapas que acontinuacion se describen: la primera etapa se hace una descripcion del fenómeno, planteandose las variables que intervienen y las hipótesis del comportamiento del mismo. En la segunda etapa se plantean las ecuaciones que describen matematicamente el fenómeno (modelo matematico), las condiciones de frontera y la variabilidad de solucion .La tercera etapa consiste en seleccionar el método de solucion del modelo matematico, es decir la eleccion del algoritmo de calculo. En la cuarta etapa, la programación del algoritmo de calculo para una computadora. La calibracion, verficación y validacion del modelo corresponde a la quinta etapa. Por ultimo. La sexta etapa corresponde a la explotación del modelo, es decir la utilización del mismo con base en datos de campo, de experimentos, en laboratorios o de supuestos para obtener predicciones. (México, pág. 2)

2.9 MODELOS FÍSICOS.

En ocasiones los fenómenos que se desean estudiar son tan complejos, que no basta analizarlos desde el punto de vista matemático; entonces es necesario hacer uso de tecnicas experimentales para obtener soluciones practicas.

Una de las dificultades que presenta la modelación matematica, es la idealización de los fenómenos, en la cual se realizan simplificaciones importantes; esta solo pueden ser valoradas por medio de pruebas experimentales aplicadas a modelos fisicos de escada reudicda (ode tipo analógico).

Las instrucciones apropiadas de los ensayos en los modelos construidos, suelem arrojar optimos resultados en cuanto a funcionalidad, estabilidad y economía, dentro de un rango aceptable de certidumbre. Estos resultados son producto de un programa amplio de investigación experimental sobre odas las variables que intervienen.

Lo anterior se realiza para verificar la validez de las soluciones analíticas, determinar relaciones entre las variables involucradas y con ello optimizar la eficiencia de cada elemento del sistema modelo-prototipo cuando es posible establecer modelos matemático complementarios.

La aplicación de cualquiera de los dos tipos de modelos, físicos o matemáticos, evidentemente tienen sus limitación de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los mas apropiados. (México, pág. 3)

2.10 VALIDACIÓN DEL MODELO.

Validar un modelo es asignar un nivel de certeza adecuada a los resultados del modelo es decir, asegurarse de que contiene todos los parámetros, varaibles y relaciones funcionales necesarios para que de respuesta concretas.

Para validar un modeo se utilizan, por lo general, tres pruebas:

1. Se construye el modelo y se analiza para estar seguro de que tiene apariencia de certeza, es decri, que tiene parecido o describe al sistema orginal.
2. Se efectua una o mas pruebas con el modelo y se pregunta si los resultados parecen razonables.
3. Se busca directamente relacionar o involucrar en el sistema original y se le pide que compare los resultados del modelo con las respuestas actuales del sistema. (México, pág. 4)

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE PRÁCTICA Y MODELAMIENTO MATEMÁTICO

En el siguiente capítulo, se explican las pruebas que se realizaron para el estudio de aislamiento, de igual manera se explican las formas en que se obtuvieron las ecuaciones diferenciales correspondientes a las pruebas de generación de voltaje AC y la prueba de generación de voltajes de impulso.

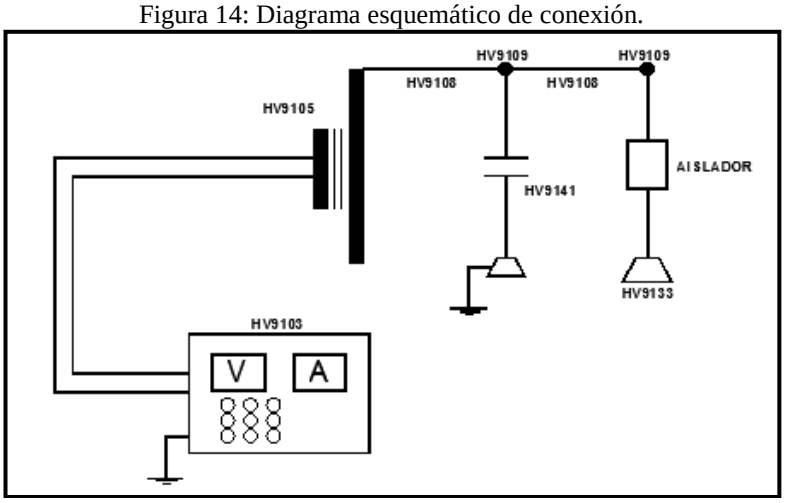
3.1 PLANTEAMIENTO DE ECUACIONES.

Para plantear las ecuaciones correspondientes a las pruebas de generación de voltaje AC y la prueba de generación de voltajes de impulso se empezó a partir de los circuitos eléctricos equivalentes de cada prueba, dichos circuitos y sus componentes, están establecidos por el manual de prácticas del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

3.1.1 PRUEBA DE VOLTAJE NOMINAL Y VOLTAJE MAXIMO.

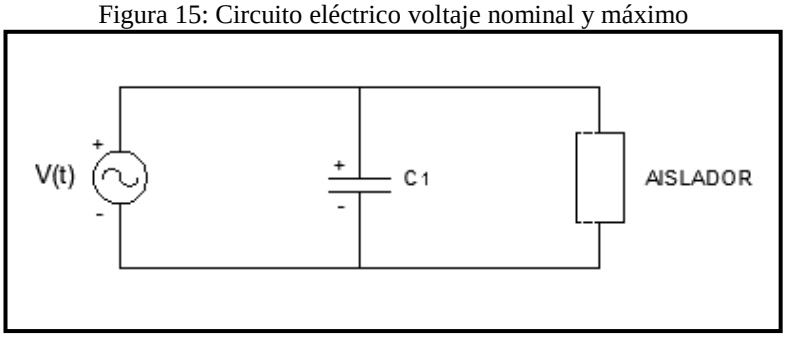
Para empezar el análisis matemático se procede a transformar el diagrama esquemático del circuito real del laboratorio de alta tensión, en circuito eléctrico equivalente. Donde tenemos los siguientes componentes:

Figura 14: Diagrama esquemático de conexión.



Fuente: Los autores

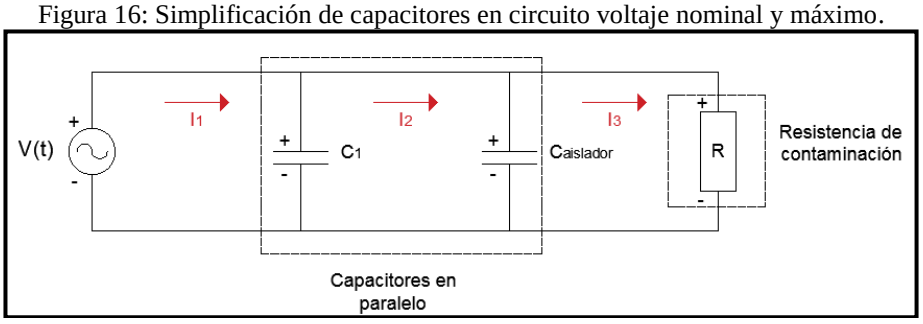
Figura 15: Circuito eléctrico voltaje nominal y máximo



Fuente: Los autores

En este caso vamos a analizar nuestro circuito cuando existe contaminación en el aislador, por lo que este representa una resistencia en paralelo. Una vez completo el circuito, se tiene dos capacitores en paralelo (el capacitor del equipo y del aislador), junto con la resistencia de contaminación.

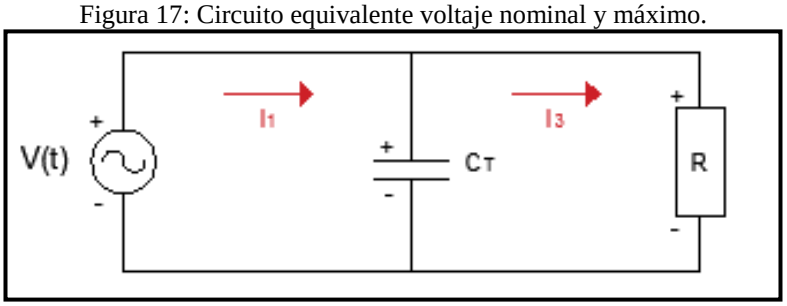
Figura 16: Simplificación de capacitores en circuito voltaje nominal y máximo.



Fuente: Los autores

Por lo cual una vez simplificando el circuito quedará un capacitor total en paralelo con la resistencia de contaminación.

Figura 17: Circuito equivalente voltaje nominal y máximo.

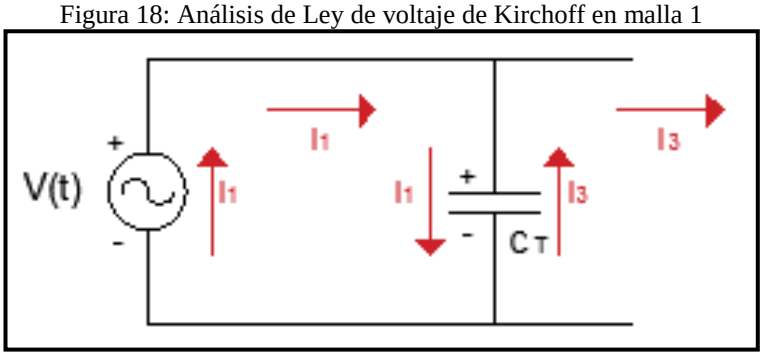


Fuente: Los autores

Una vez obtenido el circuito eléctrico final, se aplica ley de voltaje de Kirchoff en las mallas que se originan; Obteniendo como resultado final dos ecuaciones que permiten encontrar la corriente de fuga (I3).

Para analizar la primera malla se tiene la fuente de voltaje V(t), más un capacitor por el cual circulan dos corrientes en diferente sentidos (I1-I3).

Figura 18: Análisis de Ley de voltaje de Kirchoff en malla 1



Fuente 1: Los autores

-V(t) +

-V (t) + $\frac{1}{C}\int_0^t (I1 - I3)dt$ = 0

-V (t) + $\frac{1}{C}\left(\left(\int_0^t I1(t)dt\right) - \left(\int_0^t I3(t)dt\right)\right)$ = 0

V (t) = $\frac{1}{C}\left(\int_0^t I1(t)dt - \int_0^t I3(t)dt\right)$

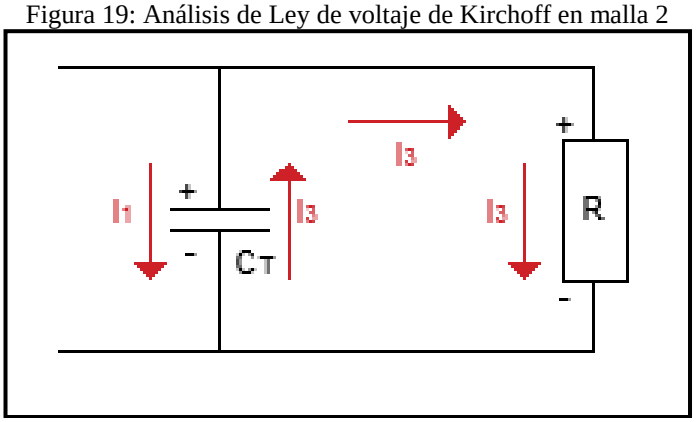
Ecuación 2: Ecuación correspondiente a la malla 1

V (t) = $\frac{1}{C}\int_0^t I1(t)dt - \frac{1}{C}\int_0^t I3(t)dt$

Fuente: Los autores

Para analizar la segunda malla tenemos:

Figura 19: Análisis de Ley de voltaje de Kirchoff en malla 2



Fuente: Los autores

$$-\frac{1}{C}\left(\int_0^t [I3(t) - I1(t)]\right)dt + R(I3) = 0$$

$$-\frac{1}{C}\int_0^t I3(t)dt + \frac{1}{C}\int_0^t I1(t)dt + R(I3)=0$$

Ecuación 3: Ecuación correspondiente a la malla 2.

$$R(I3) = \frac{1}{C}\int_0^t I3(t)dt - \frac{1}{C}\int_0^t I1(t)dt$$

Fuente: Los autores.

Una vez encontradas las ecuaciones se procede con la derivación de las mismas, dejándolas expresadas en forma de ecuaciones diferenciales.

1) $V(t) = \frac{1}{C}\left(\int_0^t I1(t)dt - \int_0^t I3(t)dt\right)$

Ecuación 4: Ecuación 1, de forma diferencial.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{C}(I1 - I3)$$

Fuente: Los autores.

2) $R(I3) = \frac{1}{C}\int_0^t I3(t)dt - \frac{1}{C}\int_0^t I1(t)dt$

$$R\left(\frac{dI3}{dt}\right) = \frac{1}{c}(I3 - I1)$$

Ecuación 5: Ecuación 2, de forma diferencial.

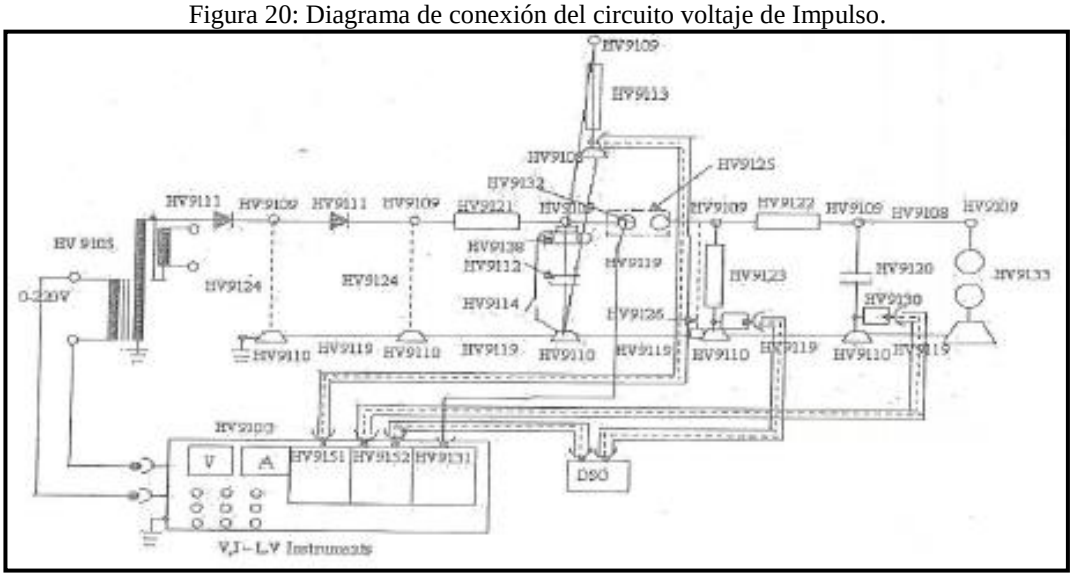
$$\frac{dI3}{dt} = \frac{1}{RC}(I3 - I1)$$

Fuente 2: Los autores.

3.1.2 PRUEBA DE VOLTAJE DE IMPULSO.

Para empezar el análisis matemático se procede a transformar el diagrama esquemático, en circuito eléctrico equivalente. Donde se tienen los siguientes componentes:

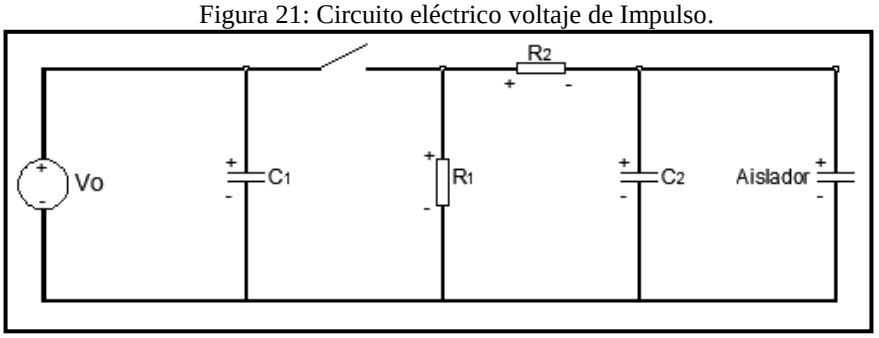
Figura 20: Diagrama de conexión del circuito voltaje de Impulso.



Fuente: TERCO.

Transformando el diagrama de conexión en circuito electrico para la prueba de impulso, obtenemos:

Figura 21: Circuito eléctrico voltaje de Impulso.

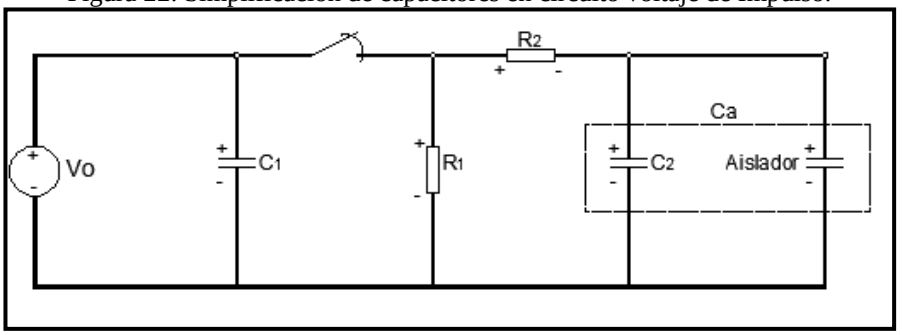


Fuente: Los autores.

Una vez transformado el diagrama de conexión en circuito electrico, se observa un circuito conformado por resistencias, capacitores y en este caso el aislador que electricamente se lo representara con un capacitor.

Al momento de crear el impulso se crea un circuito paralelo entre los capacitores C_2 y $C_{AISLADOR}$.

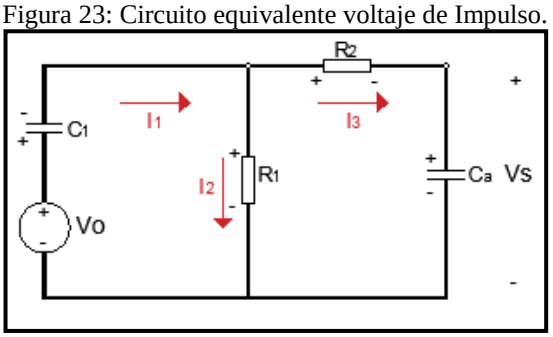
Figura 22: Simplificación de capacitores en circuito voltaje de Impulso.



Fuente 3: Los autores.

Para analizar el circuito y obtener el voltaje de salida en el capacitor Ca aplicaremos la transformada de Laplace. El circuito equivalente en dominio de la frecuencia se muestra a continuación.

Figura 23: Circuito equivalente voltaje de Impulso.



Fuente: Los autores.

Aplicamos la ley de voltajes de Kirchoff y Ley de Ohm se obtiene las siguientes ecuaciones.

$$-\frac{V_o}{S} + \frac{1}{S\,C_S}\big(I_1(S)\big) + R_1\big(I_2(S)\big) = 0$$

Ecuación 6: Ecuación correspondiente a la malla 1

$$\frac{V_o}{S} = \frac{1}{S\,C_S}(I_1(S)) + R_1(I_2(S))$$

Fuente: Los autores.

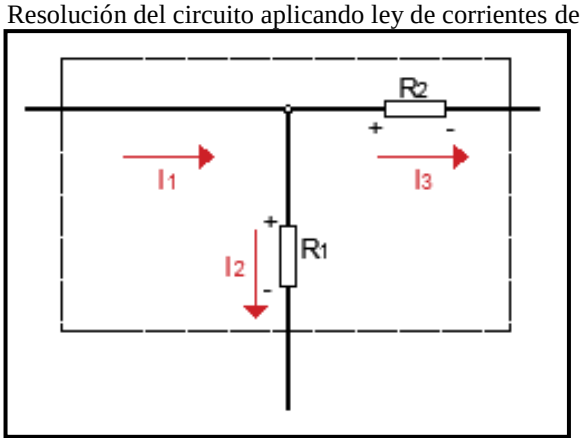
$$-R_1\big(I_2(S)\big) + R_2\big(I_3(S)\big) + V_S = 0$$

Ecuación 7: Ecuación correspondiente a la malla 2.

$$R_1\big(I_2(S)\big) = R_2\big(I_3(S)\big) + V_S$$

Fuente: Los autores.

Figura 24: Resolución del circuito aplicando ley de corrientes de Kirchoff.



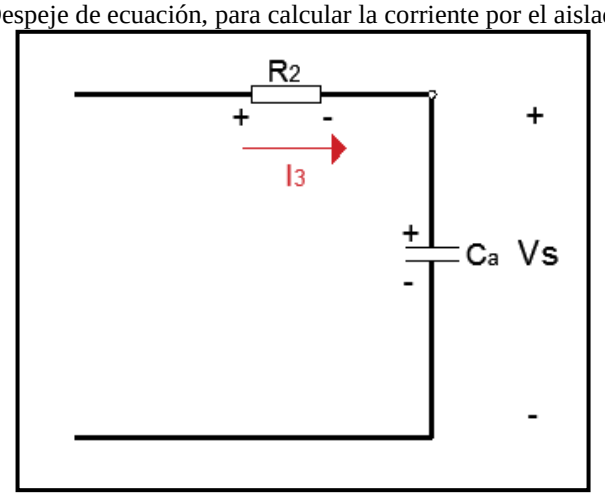
Fuente: Los autores.

Ecuación 8: Ecuación correspondiente al análisis de corrientes de Kirchoff.

$$\boldsymbol{I_1(s) = I_2(s) + I_3(s)}$$

Fuente: Los autores.

Figura 25: Despeje de ecuación, para calcular la corriente por el aislador.



Fuente: Los autores.

$$V_S = I_3(\frac{1}{SC_a})$$

Ecuación 9: Ecuación correspondiente a la corriente del aislador.

$$I_3 = V_S(SC_a)$$

Fuente: Los autores.

Reemplazando la ecuación#7 en la ecuación#5, se obtiene:

$$\frac{V_o}{S} = \frac{1}{S\,C_S}(I_1(S)) + R_1(I_2(S))$$

Ecuación 10: Igualación de ecuaciones 7 y 5.

$$\boldsymbol{\frac{V_o}{S} = \frac{1}{S\,C_S}(I_2(S) + I_3(S)) + R_1(I_2(S))}$$

Fuente: Los autores.

Reemplazando la ecuación#8 en la ecuación#9, se obtiene:

$$\frac{V_o}{S} = \frac{1}{S\,C_S}(I_2(S) + I_3(S)) + R_1(I_2(S))$$

$$\frac{V_o}{S} = \frac{1}{S\,C_S}(I_2(S) + V_S(SC_a)) + R_1(I_2(S))$$

$$\frac{V_o}{S} = \frac{I_2}{S\,C_S} + \frac{V_S(SC_a)}{SC_S} + R_1(I_2(S))$$

$$\frac{V_o}{S} = \frac{I_2}{S\,C_S} + R_1\big(I_2(S)\big) + \frac{V_S(SC_a)}{SC_S}$$

$$\frac{V_o}{S} = I_2\left(\frac{1}{SC_S} + R_1\right) + \frac{V_S(SC_a)}{SC_S}$$

$$I_2\left(\frac{1}{SC_S} + R_1\right) = \frac{V_o}{S} - \frac{V_S(SC_a)}{SC_S}$$

$$I_2 = \frac{\frac{V_O}{S} - \frac{V_S(SC_a)}{SC_S}}{\frac{1}{SC_S} + R_1}$$

$$I_2 = \frac{\frac{V_O(SC_S) - V_S(SC_a)}{SC_S}}{\frac{1 + R_1(SC_S)}{SC_S}}$$

Ecuación 11: Igualacion de ecuaciones 8 y 9

$$I_2 = \frac{V_O(SC_S) - V_S(SC_a)}{1 + R_1(SC_S)}$$

Fuente: Los autores

Reemplazando la ecuación#8 en la ecuación#6, se obtiene:

$$R_1\big(I_2(S)\big) = R_2\big(I_3(S)\big) + V_S$$

$$R_1\big(I_2(S)\big) = R_2(V_S(SC_a) + V_S$$

Despejando la I2.

$$I_2 = \frac{R_2\big(V_S(SC_a)\big) + V_S}{R_1}$$

Ecuación 12: Corriente de la resistencia R2

$$I_2 = \frac{V_S}{R_1}\big(R_2(SC_a)\big) + 1)$$

Fuente: Los autores.

Igualando la ecuacion#11 con la ecuacion#12, se obtiene:

$$\frac{V_S}{R_1}\left(R_2(SC_a)\right)+1) = \frac{V_O(SC_S)-V_S(SC_a)}{1+R_1(SC_S)}$$

$$\frac{V_S(R_2(SC_a))}{R_1}+\frac{V_S}{R_1}=\frac{V_O(SC_S)}{1+R_1(SC_S)}-\frac{V_S}{1+R_1(SC_S)}$$

$$\frac{V_O(SC_S)}{1+R_1(SC_S)}=\frac{V_S(R_2(SC_a))}{R_1}+\frac{V_S}{R_1}+\frac{V_S}{1+R_1(SC_S)}$$

$$\frac{V_O(SC_S)}{1+R_1(SC_S)}=\frac{\left(1+R_1(SC_S)\right)\left(V_S\left(R_2(SC_a)\right)\right)+\left(1+R_1(SC_S)\right)(V_S)+R_1(V_S(SC_a))}{R_1(1+R_1(SC_S))}$$

$$\frac{V_O(SC_S)}{1+R_1(SC_S)}=\frac{V_S(\left(1+R_1(SC_S)\right)\left(R_2(SC_a)\right)+\left(1+R_1(SC_S)\right)+(R_1(SC_a))}{R_1(1+R_1(SC_S))}$$

$$V_S=\frac{V_O(SC_S)(R_1\left(1+R_1(SC_S)\right))}{(1+R_1(SC_S))(\left(1+R_1(SC_S)\right)\left(R_2(SC_a)\right)+\left(1+R_1(SC_S)\right)+(R_1(SC_a)))}$$

$$V_S=\frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{R_2(SC_a)+\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right)+\left(1+R_1(SC_S)\right)+(R_1(SC_a))}$$

$$V_S=\frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right)+(R_2(SC_a))+\left(1+R_1(SC_S)\right)+(R_1(SC_a))}$$

$$V_S=\frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right)+(R_2(SC_a))+(R_1(SC_a))+1+R_1(SC_S)}$$

$$V_S=\frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right)+(R_2(SC_a))+(R_1(SC_a))+1+R_1(SC_S)}$$

$$V_S=\frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right)+S((R_2(C_a))+(R_1(C_a))+(R_1(C_S))+1)}$$

Ecuación 13: Ecuación correspondiente al voltaje del aislador.

$$V_S = \frac{(V_O(SC_S)(R_1))}{\left((R_2)(R_1)\left(S^2(C_aC_b)\right)\right) + S((R_2(C_a)) + (R_1(C_a)) + (R_1(C_S)) + 1)}$$

Fuente: Los autores.

El voltaje de salida sobre el aislador Ca llamado V(s), es expresado en dominio de la frecuencia, ahora se debe aplicar la antitransformada de Laplace, para obtener el resultado en dominio del tiempo, pero antes se deben obtener las raíces de la ecuación cuadrática del denominador.

$$((R_2)(R_1)(C_aC_b)S^2) + ((R_2(C_a)) + (R_1(C_a)) + (R_1(C_S))) + 1$$

Para obtener las raíces se utilizara la ecuación general.

$$\alpha, \beta = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Donde:

$$a = (R_2)(R_1)(C_aC_b)$$
$$b = (R_2(C_a)) + (R_1(C_a)) + (R_1(C_S))$$
$$c = 1$$

Aplicando la ecuación general, se obtiene.

$$\alpha = \frac{-b + \mathrm{b} - 2\sqrt{a}}{2a}$$

$$\alpha = \frac{-\sqrt{a}}{a} = -\frac{1}{\sqrt{a}}$$

Ecuación 14: Raíz 1, de la ecuación#13

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{(R_2)(R_1)(C_aC_b)}}$$

Fuente: Los autores

$$\beta = \frac{-b - \mathrm{b} - 2\sqrt{a}}{2a} = \frac{-2b - 2\sqrt{a}}{2a}$$

$$\beta = \frac{-b - \sqrt{a}}{a} = -\frac{b}{a} - \frac{1}{\sqrt{a}}$$

Ecuación 15 Raíz 2, de la ecuación#13

$$\beta = -\frac{(R_2(C_a)) + (R_1(C_a)) + (R_1(C_S))}{(R_2)(R_1)(C_a C_b)} - \frac{1}{\sqrt{(R_2)(R_1)(C_a C_b)}}$$

Fuente: Los autores.

Aplicando la antitransformada de Laplace en la ecuación#13, se obtiene una ecuación en función del tiempo.

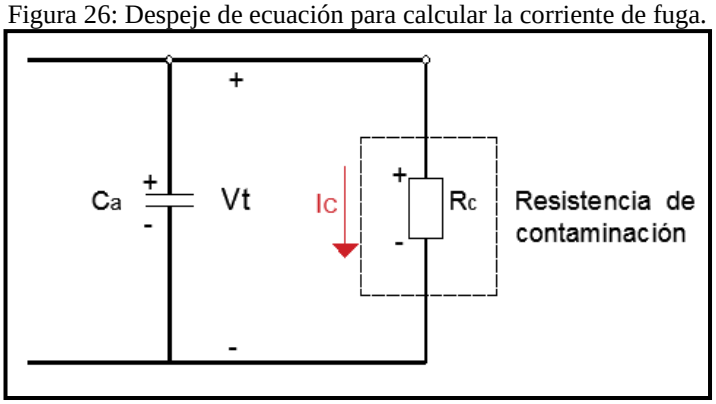
Ecuación 16. Voltaje del capacitor en función del tiempo.

$$V_t = \frac{R_1 C_S V_O}{R_1 C_S C_a R_2 (\beta - \alpha)}$$

Fuente: Los autores.

Una vez dejado expresao el voltaje en funcion del tiempo, se puede encontrar la corriente de fuga (I_C), aplicando ley de ohm.

Figura 26: Despeje de ecuación para calcular la corriente de fuga.



Fuente: Los autores.

Donde:

V_t= Voltaje pico de impulso.

I_C= Corriente de fuga.

R_C= Resistencia de Contaminación.

Despejando la corriente de fuga, se obtiene:

$$I_C = \frac{V_t}{R_C}$$

$$I_C = \frac{\frac{R_1 C_S V_O}{R_1 C_S C_a R_2 (\beta - \alpha)}}{R_C}$$

Ecuación 17: Corriente de fuga

$$I_C = \frac{(R_1)(C_S)(V_O)}{(R_C\big((C_S)(C_a)(R_2)(\beta - \alpha)\big))}$$

Fuente: Los autores.

3.2 METODOLOGÍA DE PRÁCTICA.

A continuación se describe los elementos que serán usados dentro de los circuitos, para la realización de las pruebas correspondientes (Prueba de generacion de voltaje AC y prueba de generación de voltaje de impulso).

3.2.1 ELEMENTOS DE PRUEBA.

- HV9103 = Panel de control.

Figura 27: Panel de control (HV9103).

Fuente: TERCO

El panel de control (HV9103), se utiliza para controlar y operar las pruebas de alto voltaje AC,DC e impulso para los equipos. El panel contiene elementos de operación y señales para los circuitos de control de equipos de pruebas, alerta y seguridad. El panel de control esta hecho para alojar instrumentos de medida (voltajes DC, voltaje de impulso, y voltaje pico) y también los dispositivos de disparo.
El HV9103 esta fabricado de acero y se coloca sobre cuatro ruedas.
la imagen de arriba del panel de control, HV9103, incluye instrumentos de medición HV9150, HV9151, HV9152, así como tambien el dispositivo de disparo HV9131, los cuales serán descrito a continuación. (TERCO, 2011)

Tabla 6: Datos técnicos del panel de control (HV9103).

Datos Técnicos	
Tensón de alimentación	220-230V,50-60Hz, monofásico/ 25A
Regulación de tranformador	5KVA
Regulación de voltaje	0-220V
Salida	5KVA continuos, atravez de un motor 24 VDC
	10KVA (tiempo de funcion corto 2min)
Dimensiones	1220x105x800mm (altura, ancho y longitud)
Peso	275KG

Fuente: TERCO.

- HV9105 = Transformador de prueba.

Figura 28: Transformador de prueba (HV9105).

Fuente: Los autores.

El Transformador de prueba (HV9105) con acoplamiento bobinado por conexión en cascada para producir AC, DC y de voltajes de impulso. Consta de tres

arrollamientos con la capa aislante, y electrodos de blindaje de aluminio libre de corona en la base y en la tapa.

El cilindro de aislamiento está hecho de resina epóxica con refuerzo de fibra de vidrio y recubierto de un barniz anti conductivo, el devanado de excitación se divide en dos grupos concretamente. 100% de tensión cuando se conecta en paralelo y 50% en corriente nominal cuando se conecta la tensión de salida en paralelo y 50% a la corriente nominal cuando se conecta en serie.

La bobina se impregna al vacío y se aísla con aceite para transformadores de alta calidad. El tercer arrollamiento conocido como "devanado acoplador" está previsto para conexión posterior en cascada. (TERCO, 2011)

Tabla 7: Datos técnicos transformador (HV9105)

Datos técnicos	
Radio	2x220V/100KV/220V
Corriente Nominal	2x11,4A/50mA/15,2A
Salida	5KVA,10KVA por 60 min, para salidas en AC
Impedancia de voltaje	4%
Frecuencia	50HZ/60HZ
Nivel de descarga parcial	a 100KVA< 3pC
Altura	770mm
Diámetro	550mm
Peso	215KG

Fuente: TERCO.

- HV9108 = Barra conductora.

La barra conductora (HV9108), es usado como elemento de conexión. (TERCO, 2011)

Figura 29: Barra conductora (HV9108).

Fuente: TERCO.

Tabla 8: Datos técnicos barra conductora (HV9108).

Datos técnicos	
Longitud	665mm
Peso	1KG

Fuente: TERCO.

- HV9109 = Copa de conexión.

La copa de conexión (HV9109), es un elemento conductor, en el cual se pueden conectar las barras o piezas en posición horizontal y en posición vertical. (TERCO, 2011).

Figura 30: Copa de conexión (HV9109).

Fuente: TERCO.

Tabla 9: Datos técnicos copa de conexión (HV9109).

Datos técnicos	
Dimensiones	Φ150 x h 85mm
Peso	2.2KG

Fuente: TERCO.

- HV9141 = Capacitor de medida.

El capacitor de medida (HV9141), es un elemento divisor de alto voltaje, para medición de voltaje en AC. (TERCO, 2011)

Figura 31: Capacitor de medida (HV9141).

Fuente: TERCO.

Tabla 10: Datos técnicos capacitor de medida (HV9141).

Datos técnicos	
Voltaje AC	100KV
Capacitancia	100pF
Longitud/Altura	665mm
Peso	9KG

Fuente: TERCO.

- HV9133 = Base para la medición.

La Base para la medición (HV9133), tiene una medida estandar para la descarga eléctrica, usando varios arreglos de electrodos. Se pueden controlar arreglos vía remoto y manual, gracias a su facil ajuste de separación (TERCO, 2011)

Figura 32: Base para medición (HV9133).

Fuente: TERCO.

Tabla 11: Datos técnicos base para la medición (HV9133).

Datos técnicos	
Voltaje AC	100KV
Voltaje impulso DC	140KV
Fuente de poder	220-240V/50HZ
Altura	Aproximado 800mm
Peso	2.2KG

Fuente: TERCO.

La base para la medición trae distintos tipos de electrodos, en los que constan los siguiente:

- Electrodo tipo esfera.
- Electrodo tipo varilla.
- Electrodo tipo aguja.
- Electrodo tipo plano.

Figura 33: Electrodos para la base de medición.

Fuente: TERCO.

- HV9112 = Capacitor de filtrado.

El capacitor de filtrado (HV9112), es usado como capacitor de impulso para la generación de tensiones de choque. también se puede utilizar como capacitor de filtrado en la generación de voltaje de DC. (TERCO, 2011)

Figura 34: Capacitor de filtrado (HV9112).

Fuente: TERCO.

Tabla 12: Datos técnicos capacitor de filtrado (HV9112).

Datos técnicos	
Voltaje impulso DC	140KV
Capacitancia	25nF
Longitud/Altura	665mm
Peso	20KG

Fuente: TERCO.

- HV9120 = Capacitor de carga

El capacitor de carga (HV9120), es usado como capacitor de carga y capacitor divisor de alta tensión para la medición de tensiones de impulso. (TERCO, 2011)

Figura 35: Capacitor de carga (HV9120).

Fuente. TERCO.

Tabla 13: Datos técnicos capacitor de carga (HV9120).

Datos técnicos	
Voltaje impulso DC	140KV
Capacitancia	1.2nF
Longitud/Altura	665mm
Peso	9KG

Fuente: TERCO.

- HV9111 = Diodo rectificador de silicón

El diodo rectificador de silicón (HV9111), es usado como rectificador para el voltaje de impulso y voltaje de generacion en DC. (TERCO, 2011)

Figura 36: Diodo rectificador (HV9111).

Fuente: TERCO.

Tabla 14: Datos técnicos diodo rectificador (HV9111).

Datos técnicos	
Voltaje pico Inverso	140KV
Corriente nominal	20mA
Resistencia de Protección	100KΩ
Longitud/Altura	665mm
Peso	8KG

Fuente: TERCO.

- HV9113 = Resistencia de medida

La resistencia de medida (HV9113), es usada para la medición de voltajes en DC. (TERCO, 2011)

Figura 37: Resistencia de medida (HV9113).

Fuente: TERCO.

Tabla 15: Datos técnicos resistencia de medida (HV9113).

Datos técnicos	
Voltaje DC	140KV
Resistencia	280MΩ
Corriente nominal DC	0.5mA
Longitud/Altura	665mm
Peso	5KG

Fuente: TERCO.

- HV9121 = Resistencia de carga

La resistencia de carga (HV9121), es usada en los equipos de prueba de tensión de impulso de varias etapas y resistencia limitadora de corriente de carga en la generación de voltaje DC para la medición de voltajes en DC. (TERCO, 2011)

Figura 38: Resistencia de carga (HV9121).

Fuente: TERCO.

Tabla 16: Datos técnicos resistencia de carga (HV9121).

Datos técnicos	
Voltaje de impulso	140KV
Resistencia	10MΩ
Longitud/Altura	665mm
Peso	5KG

Fuente: TERCO.

- HV9122 = Resistencia de frente de onda

La resistencia de frente de onda (HV9122), es usada para la generación de tensión de impulso. Las resistencias determinan el tiempo de subida de la tensión de impulso en el arco y el cambio de generación de tensión de impulso. (TERCO, 2011)

Figura 39: Resistencia de frente de onda (HV9122).

Fuente: TERCO.

Tabla 17: Datos técnicos resistencia de frente de onda (HV9122).

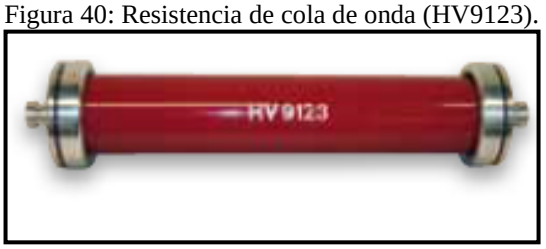
Datos técnicos	
Voltaje de impulso	140KV
Resistencia	350Ω
Longitud/Altura	665mm
Peso	5KG

Fuente: TERCO.

- HV9123 = Resistencia de cola de onda

La resistencia de cola de onda (HV9123), es usada para la generación de tensión de impulso. Las resistencias determinan el tiempo de subida de la tensión de impulso en el arco y el cambio de generación de tensión de impulso. (TERCO, 2011)

Figura 40: Resistencia de cola de onda (HV9123).



Fuente: TERCO.

Tabla 18: Datos técnicos resistencia de cola de onda (HV9123).

Datos técnicos	
Voltaje de impulso	140KV
Resistencia	2400Ω
Longitud/Altura	665mm
Peso	5KG

Fuente: TERCO.

- HV9125 = Explosor esférico

El explosor esférico (HV9125), es usado para la generación de tensión de impulso, para los pre-ajustes de pico de tensión de impulso. (TERCO, 2011)

Figura 41: Explosor esférico (HV9125).

Fuente: TERCO.

Tabla 19: Datos técnicos explosor esférico (HV9125).

Datos técnicos	
Voltaje de impulso	140KV
Diámetro	100mm
Separación de las esferas	80mm
Longitud/Altura	665mm
peso	7KG

Fuente: TERCO.

- HV9126 = Unidad de esfera explosora.

La unidad de esfera explosora (HV9126), es usada como control remoto de separación de explosores, montado debajo de las esferas explosoras y conectado por el eje de accionamiento. (TERCO, 2011)

Figura 42: Unidad de esfera explosora (HV9126).

Fuente: TERCO.

Tabla 20: Datos técnicos unidad esfera explosora (HV9126).

Datos técnicos	
Salida	220KV
Frecuencia	50/60HZ
Dimensiones	200X125X140mm
Peso	5KG

Fuente: TERCO.

- HV9110 = Base.

La base (HV9110), es usada como elemento conductor, se pueden insertar cuatro elementos en posición horizontal y dos en posición vertical. (TERCO, 2011)

Figura 43: Base (HV9110).

Fuente: TERCO.

Tabla 21: Datos técnicos base (HV9110).

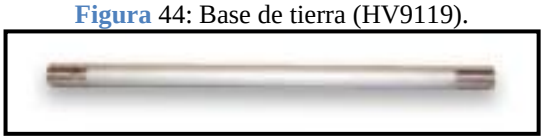
Datos técnicos	
Dimensión	200x200x80mm
Peso	2KG

Fuente: TERCO.

- HV9119 = Barra de tierra.

La barra de tierra (HV9119), es usada como conexión mecánica y eléctrica, se la coloca en a nivel del suelo uniendo cada base del circuito. (TERCO, 2011)

Figura 44: Base de tierra (HV9119).



Fuente: TERCO.

Tabla 22: Datos técnicos base de tierra (HV9119).

Datos técnicos	
Longitud	665mm
Peso	1KG

Fuente: TERCO.

- HV9138 = Electrodo.

El electrodo (HV9138), es usado como terminación en conjunción con el interruptor de conexión a tierra de seguridad. (TERCO, 2011)

Figura 45: Electrodo (HV9138).

Fuente: TERCO.

Tabla 23: Datos técnicos electrodo (HV9138).

Datos técnicos	
Diámetro	300mm
Peso	1KG

Fuente: TERCO.

- HV9114 = Seccionador eléctrico de tierra.

El seccionador eléctrico de tierra (HV9114), es usado como puesta a tierra de seguridad automática, cuando el circuito esta des energizado. (TERCO, 2011)

Figura 46: Seccionador eléctrico de tierra (HV9114).

Fuente: TERCO.

Tabla 24: Datos técnicos seccionador eléctrico de tierra (HV9114).

Datos técnicos	
Voltaje de impulso	140KV
Voltaje DC	140KV
Voltaje de servicio	24V,50/60HZ
Dimensiones	230x115x160mm
Peso	8KG

Fuente: TERCO.

- HV9107 = Barra de descarga.

La barra de descarga (HV9107), es usada para descargar manualmente cada elemento de alta tensión. (TERCO, 2011)

Figura 47: Barra de descarga (HV9107).

Fuente: TERCO.

Tabla 25: Datos técnicos barra de descarga (HV9107).

Datos técnicos	
Resistencia de descarga	100Ω
Longitud	2.5m
Peso	2.5KG

Fuente: TERCO.

3.2.2 PRUEBA DE GENERACIÓN DE VOLTAJE AC.

Para la generación de voltajes AC, se utilizará el transformador de prueba HV9105, que está controlado por el panel de control HV9103.

Para mejor comprensión y análisis del comportamiento de la corriente dependiendo del tipo de aislador a evaluar, se inyectaran voltajes desde 2.45KV hasta 22.1 KV en pasos de 2KV en 2KV; incluyendo los niveles de tensión de cortoneo en seco y lluvia propios de cada tipo de aislador.

Figura 48: Montaje de circuito de voltaje nominal y máximo.

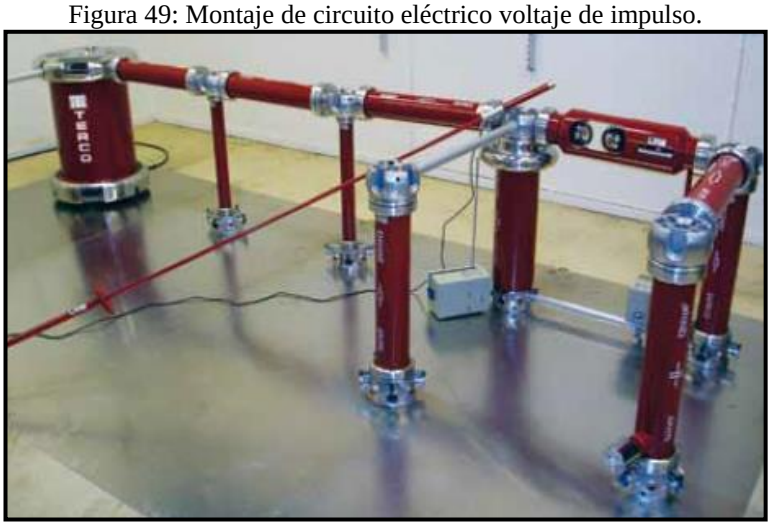
Fuente: TERCO.

1) Transformador de Prueba (HV9105)
2) Barra conductora (HV9108)
3) Copa de conexión (HV9109)
4) Capacitor de medida (HV9141)
5) Base (HV9110)

3.2.3 PRUEBA DE VOLTAJE DE IMPULSO.

Una manera de obtener alta tensión es mediante un arreglo serie paralelo de condensadores y resistencias que forman los conocidos circuitos multiplicadores de tensión. Los condensadores actúan como los acumuladores de carga y en ellos vamos a establecer las tensiones necesarias para la experimentación, en tanto que las resistencias actúan como los elementos atenuadores en la carga y descarga de la tensión acumulada. Los circuitos multiplicadores pueden estar conformados por diferentes etapas dependiendo de la tensión que se desee obtener. El tiempo requerido para la carga y descarga de los condensadores acumuladores depende esencialmente del valor de las resistencias y de la capacidad de los condensadores que en definitiva son los que establecen las constantes de tiempo RC.

Figura 49: Montaje de circuito eléctrico voltaje de impulso.



Fuente: TERCO.

6) Transformador de prueba (HV9105)
7) Diodo rectificador de silicón (HV9111)
8) Capacitor de filtrado (HV9112)
9) Capacitor de carga (HV9120)
10) Resistencia de medida (HV9113)
11) Resistencia de carga (HV9121)
12) Resistencia de frente de onda (HV9122)
13) Resistencia de cola de onda (HV9123)
14) Explosor esférico (HV9125)
15) Unidad de esfera explosora (HV9126)
16) Barra conductora (HV9108)
17) Copa de conexión (HV9109)
18) Base (HV9110)
19) Barra de tierra (HV9119)
20) Electrodo (HV9138)
21) Seccionador eléctrico de tierra (HV9114)
22) Barra de descarga (HV9107)
23) Base para la medición (HV9133)

CAPÍTULO IV
DESARROLLO PRÁCTICO Y SIMULACIÓN

Para la generación de los voltajes nominales y máximos en los aisladores, se utilizará la práctica "Generación y medición de voltaje AC" del manual de prácticas del laboratorio de Alta Tensión. Para la generación de voltaje de impulso, se utilizará la práctica de "Generación de voltaje de impulso"; para las simulaciones de las ecuaciones correspondientes se utilizara el software MATLAB® de la firma Mathworks.

Tanto como para cálculos prácticos como para las simulaciones por medio del software MATLAB® se necesitaran los valores de capacitancia y de resistencia de aislamiento propios de cada aislador; dichos valores serán medidos con los equipos indicados, como son el Megóhmetro (para medir resistencia de aislamiento) y el equipo Delta 4010 de la marca MEGGER® (para medir capacitancia).

4.1 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES

Para la medición de la capacitancia de los aisladores se utilizó el equipo DELTA 4010, de la marca MEGGER; es un equipo totalmente automático de 12 kV para prueba de factor de potencia de aislamiento/ factor de disipación (tangente de delta) diseñado para evaluar el estado del aislamiento eléctrico en aparatos de alta tensión como transformadores, aisladores pasamuros, disyuntores, cables, pararrayos y máquinas eléctricas rotativas. Además de realizar pruebas de factor de potencia de aislamiento, la Serie DELTA4000 se puede utilizar para medir la corriente de excitación de los devanados de transformadores como así también realizar pruebas de tip-up automáticas y pruebas de relación de vueltas de alta tensión (se dispone de un capacitor TTR opcional). El equipo de prueba está diseñado para proveer una prueba diagnóstica exhaustiva de aislamiento de CA. El diseño de frecuencia variable de alta potencia genera su propia señal de prueba independiente de calidad de frecuencia de línea y el diseño del hardware usa la tecnología más moderna de la que se dispone para el filtrado digital de la señal de respuesta. (Megger)

Figura 50: Equipo Megger Delta 4010

Fuente: Los autores

Figura 51: Equipo Megger Delta 4010

Fuente: Los autores

Adicionalmente se utilizó el equipo Metrel MI3201 para la medición de capacitancia.

Figura 52: Equipo Metrel MI3201

Fuente: Los autores

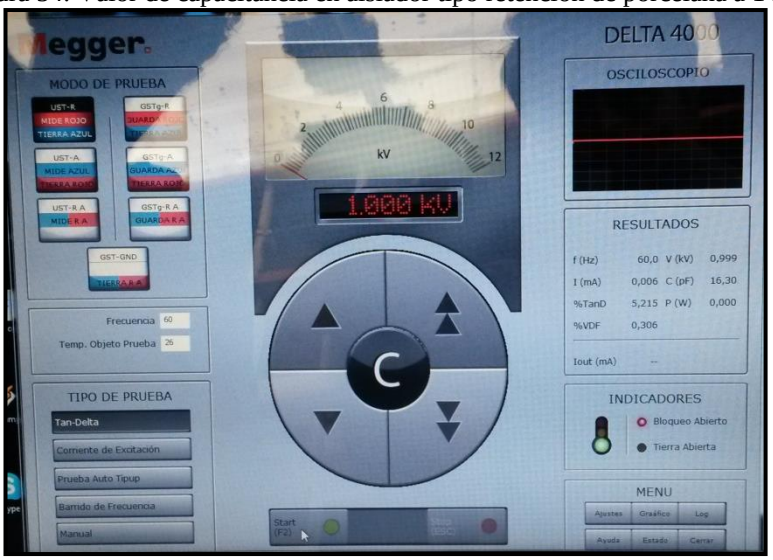
4.1.1 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE PORCELANA

Para la medición de capacitancia en los aisladores de porcelana del tipo pin y retención, se inyectaron dos niveles de tensión, 1KV y 10KV; obteniendo las capacitancias promedio de los aisladores, a continuación se muestran ilustraciones de las mediciones realizadas.

Figura 53: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana

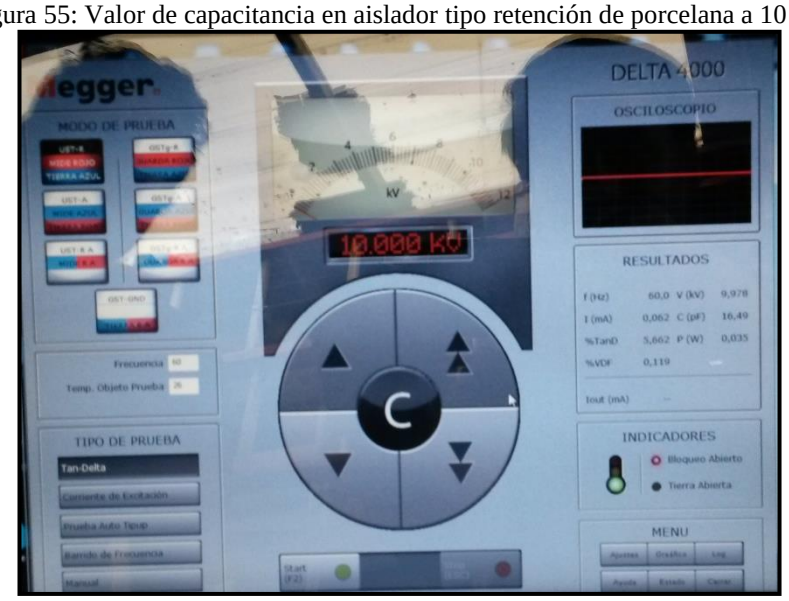
Fuente: Los autores

Figura 54: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana a 1 KV



Fuente: Los autores

Figura 55: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de porcelana a 10 KV

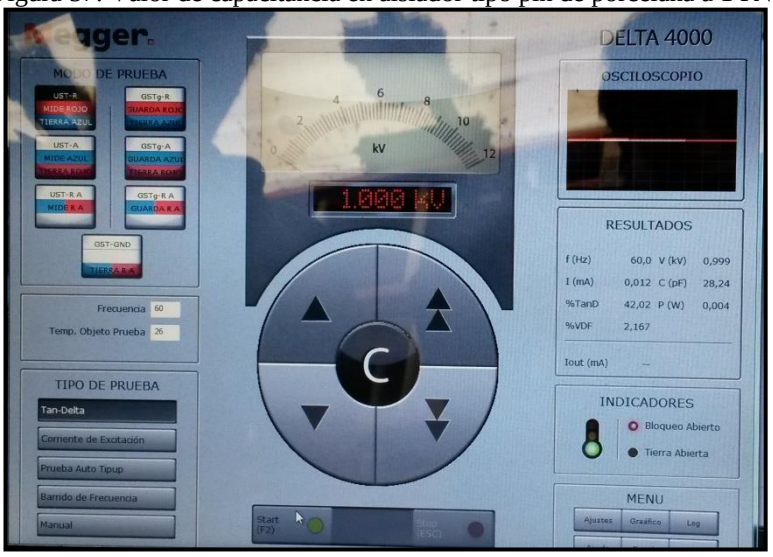


Fuente: Los autores

Figura 56: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana

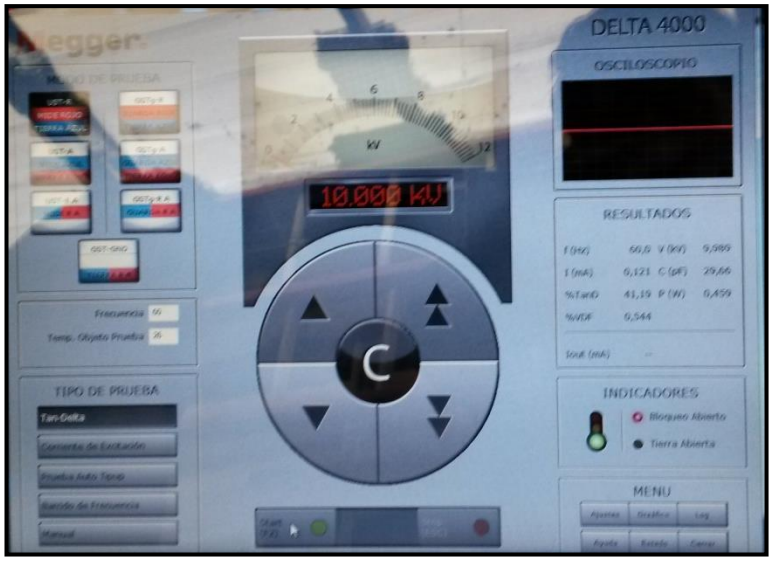
Fuente: Los autores

Figura 57: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana a 1 KV



Fuente: Los autores

Figura 58: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de porcelana a 10 KV



Fuente: Los autores

4.1.2 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE POLÍMERO

Para la medición se capacitancia en los aisladores de polímero, se utilizaron los equipos MEGGER® Delta, para el tipo retención, aplicando niveles de tensión de 1KV y 10KV; para el tipo pin se utilizó el equipo Metrel MI3201, a continuación se muestran ilustraciones de las mediciones realizadas.

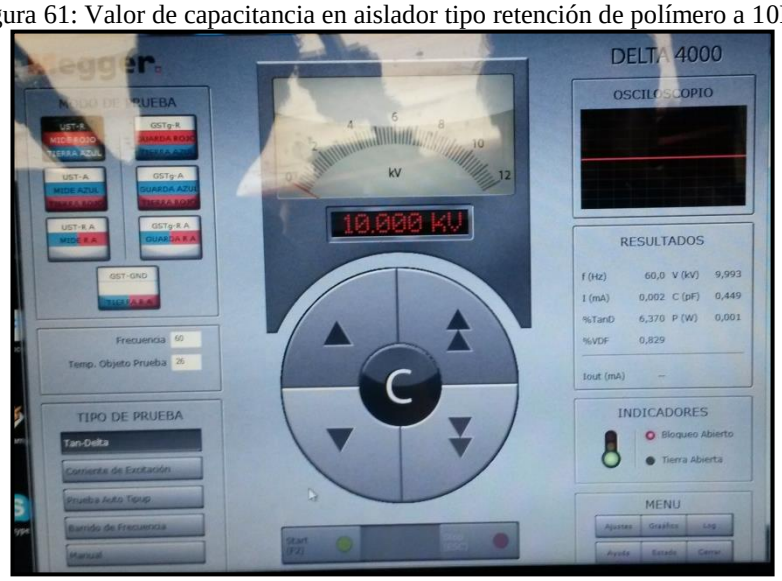
Figura 59: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de polímero.

Fuente: Los autores

Figura 60: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de polímero a 1KV.

Fuente: Los autores

Figura 61: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de polímero a 10KV

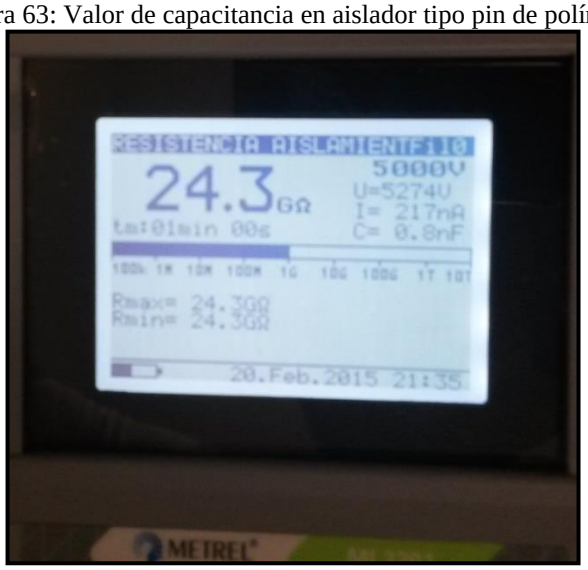


Fuente: Los autores

Figura 62: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de polímero

Fuente: Los autores

Figura 63: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de polímero



Fuente: Los autores

4.1.3 MEDICIÓN DE CAPACITANCIA EN AISLADORES DE VIDRIO

Para la medición se capacitancia en los aisladores de vidrio del se utilizaron los equipos MEGGER® Delta 4010, para el tipo retención, y el equipo Metrel MI3201, para el tipo pin, a continuación se muestran ilustraciones de las mediciones realizadas.

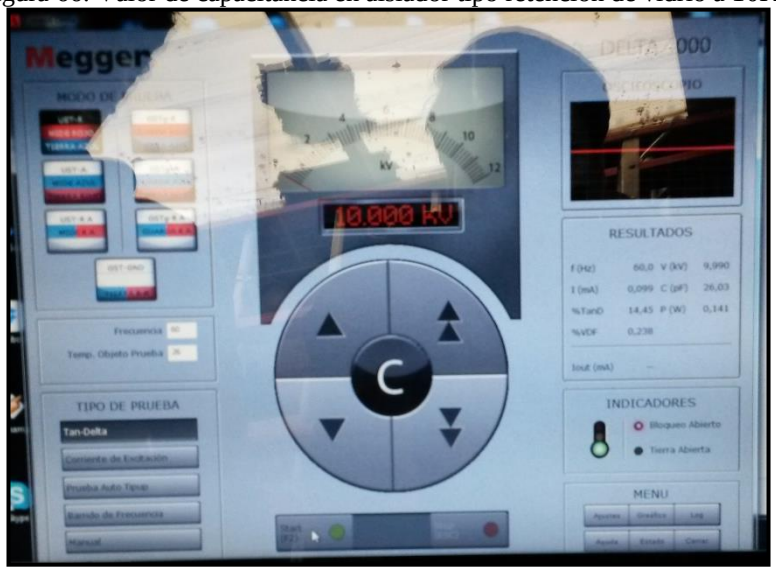
Figura 64: Medición de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio

Fuente: Los autores

Figura 65: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio a 1KV

Fuente: Los autores

Figura 66: Valor de capacitancia en aislador tipo retención de vidrio a 10KV

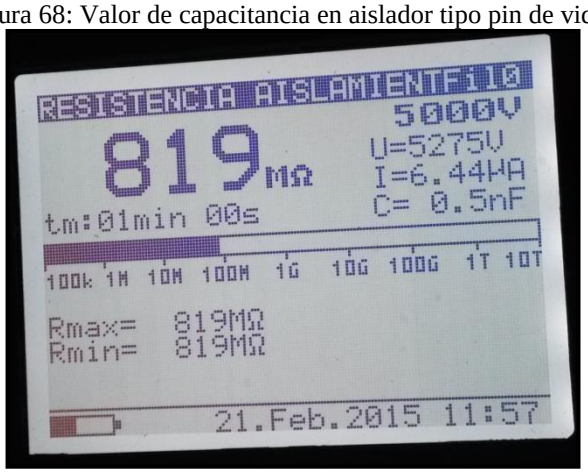


Fuente: Los autores

Figura 67: Medición de capacitancia en aislador tipo pin de vidrio

Fuente: Los autores

Figura 68: Valor de capacitancia en aislador tipo pin de vidrio



Fuente: Los autores

Una vez realizadas las mediciones en cada uno de los aisladores a utilizar se obtuvieron los valores mostrados en la tabla siguiente:

Tabla 26: Valores de Capacitancias en aisladores

Aisladores		
Tipo	Material	Capacitancia
Retención	Polímero	0,4475 pF
Retención	Vidrio	26,04 pF
Retención	Porcelana	16,4 pF
Pin	Porcelana	29,05 pF
Pin	Polímero	0,8 nF
Pin	Vidrio	0,5 nF

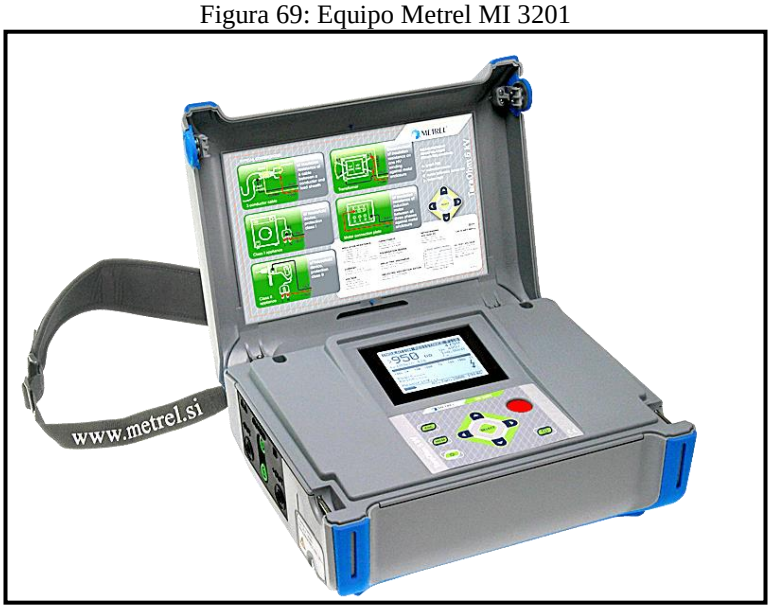
Fuente: Los autores

4.2 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Para la medición de resistencia de aislamiento en cada uno de los aisladores, se utilizó el equipo Metrel MI 3201. Se realizaron 3 pruebas a cada uno de los aisladores, con duración de 1 minuto y nivel de tensión de 5000V, para luego calcular el valor promedio de resistencia de aislamiento.

El comprobador de aislamiento MI 3201 TeraOhm 5 kV Plus es un instrumento portátil diseñado para medir la resistencia de aislamiento utilizando altas tensiones de prueba DC de hasta 5 kV. (METREL)

Figura 69: Equipo Metrel MI 3201



Fuente: (METREL)

4.2.1 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE PORCELANA TIPO PIN

Se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo pin de porcelana, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

1) Condiciones normales
2) Polvo
3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad.

Figura 70: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales

Fuente: Los autores

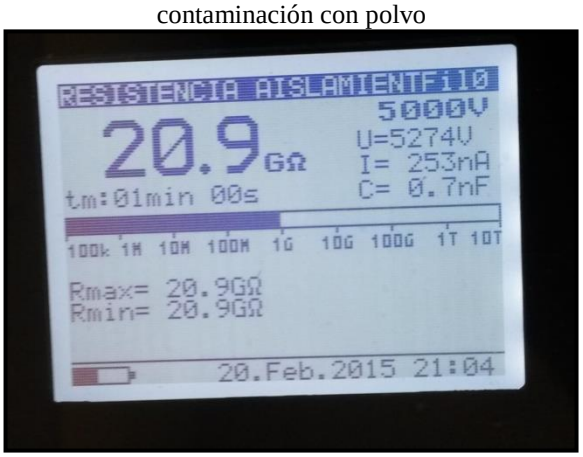
Figura 71: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales

Fuente: Los autores

Figura 72: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 73: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación con polvo

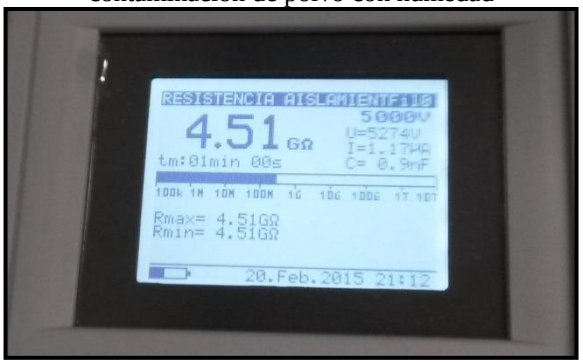


Fuente: Los autores

Figura 74: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 75: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de polvo con humedad

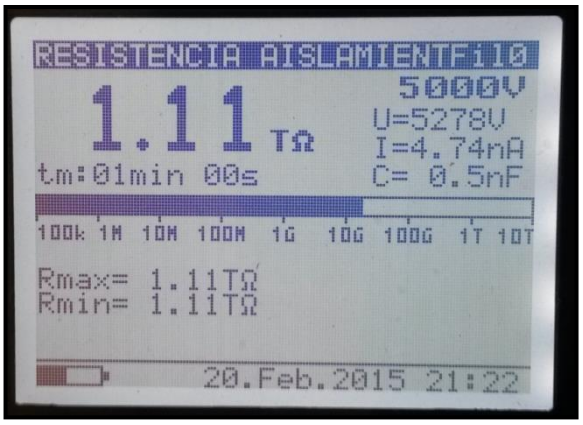


Fuente: Los autores

Figura 76: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Figura 77: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad.



Fuente: Los autores

Figura 78: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 79: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de porcelana, en condición de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

4.2.2 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE PORCELANA TIPO RETENCIÓN

De igual manera se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo retención de porcelana, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

1) Condiciones normales
2) Polvo
3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad.

Figura 80: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Figura 81: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Figura 82: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 83: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 84: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo y humedad.

Fuente: Los autores

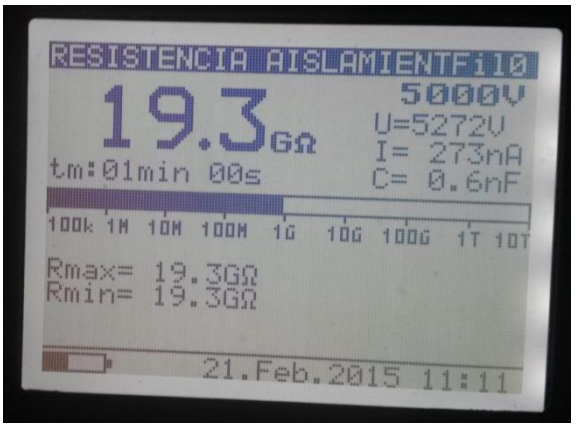
Figura 85: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo y humedad.

Fuente: Los autores

Figura 86: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad.

Fuente: Los autores

Figura 87: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad.

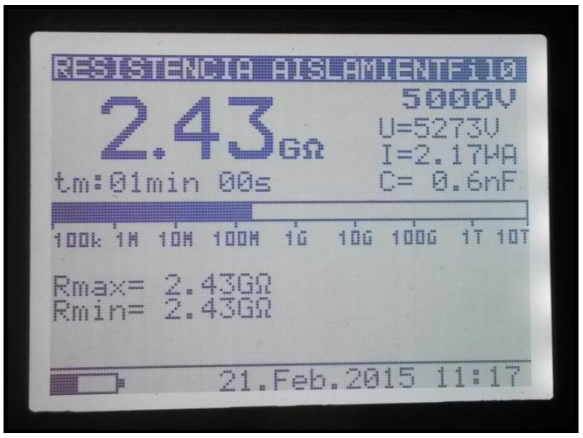


Fuente: Los autores

Figura 88: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad y humedad.

Fuente: Los autores

Figura 89: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con salinidad.



Fuente: Los autores

4.2.3 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE POLÍMERO TIPO PIN

De igual manera se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo pin de polímero, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

1) Condiciones normales
2) Polvo
3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad

Figura 90: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

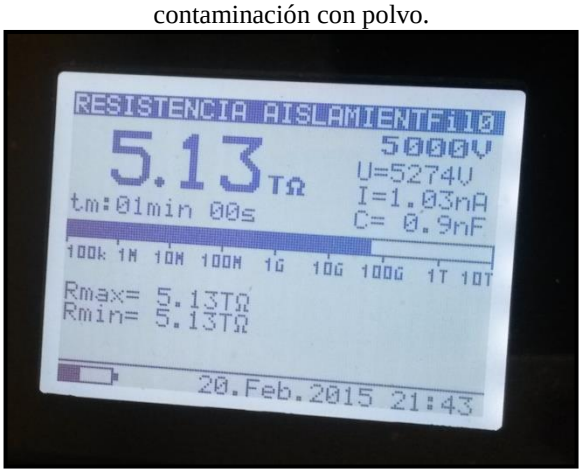
Figura 91: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Figura 92: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 93: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.



Fuente: Los autores

Figura 94: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo y humedad.

Fuente: Los autores

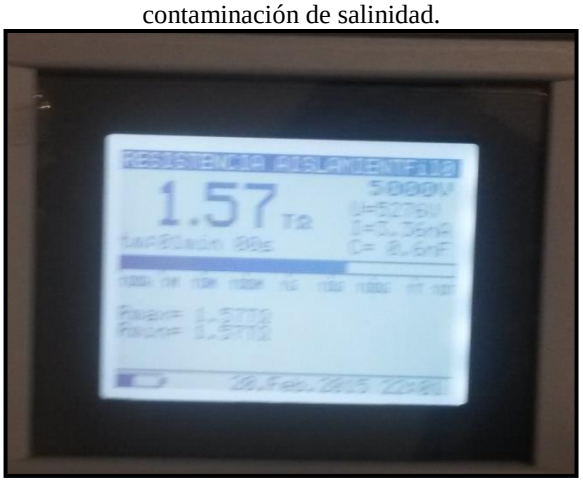
Figura 95: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo y humedad.

Fuente: Los autores

Figura 96: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Figura 97: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

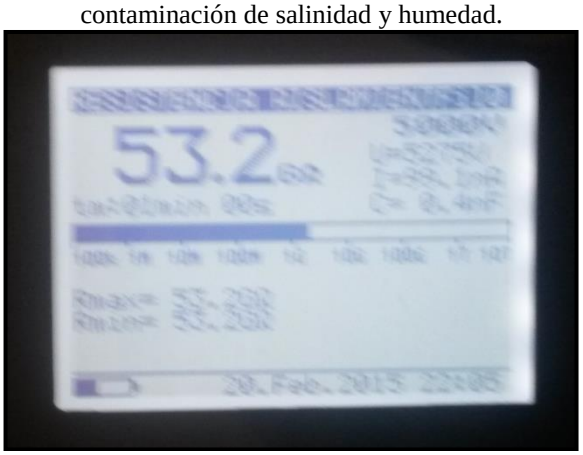


Fuente: Los autores

Figura 98: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad y humedad.

Fuente: Los autores

Figura 99: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad y humedad.



Fuente: Los autores

4.2.4 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE POLÍMERO TIPO RETENCIÓN

De igual manera se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo retención de polímero, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

1) Condiciones normales
2) Polvo

3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad.

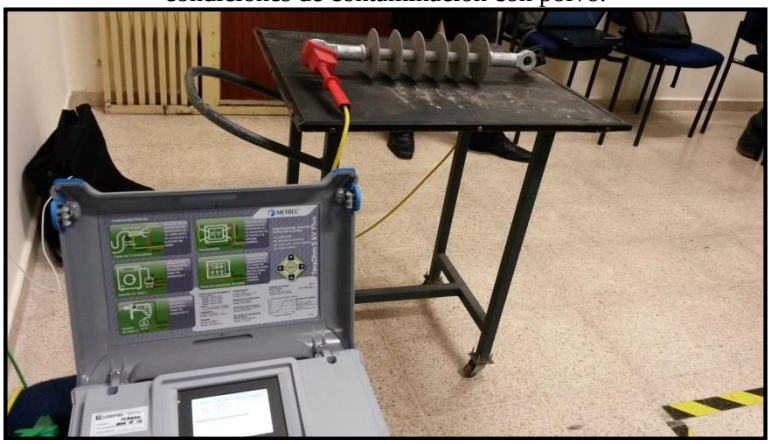
Figura 100: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Figura 101: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales.

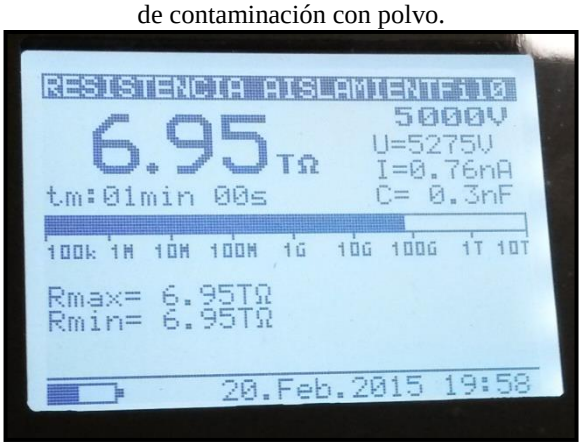
Fuente: Los autores

Figura 102: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.



Fuente: Los autores

Figura 103: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.



Fuente: Los autores

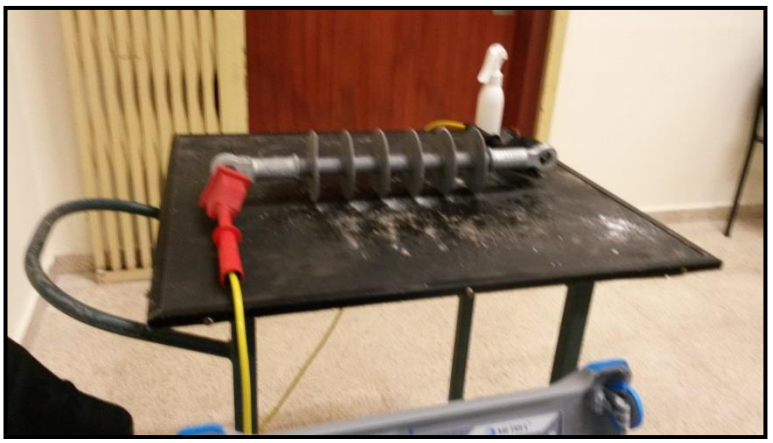
Figura 104: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 105: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

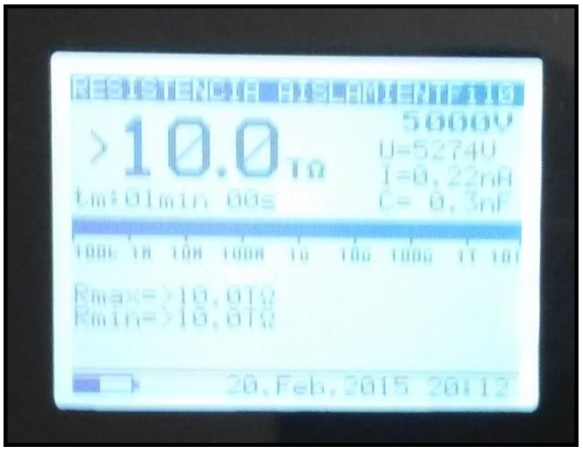
Fuente: Los autores

Figura 106: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.



Fuente: Los autores

Figura 107: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

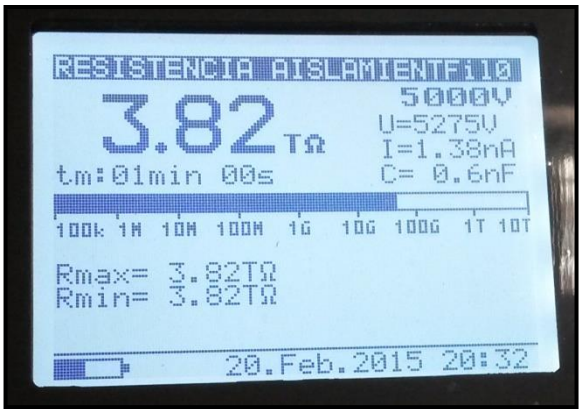


Fuente: Los autores

Figura 108: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 109: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.



Fuente: Los autores

4.2.5 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE VIDRIO TIPO PIN

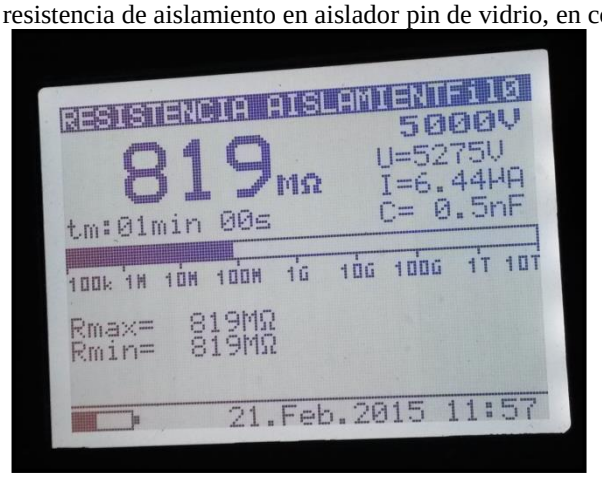
De igual manera se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo pin de vidrio, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

1) Condiciones normales
2) Polvo
3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad.

Figura 110: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Figura 111: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones normales.

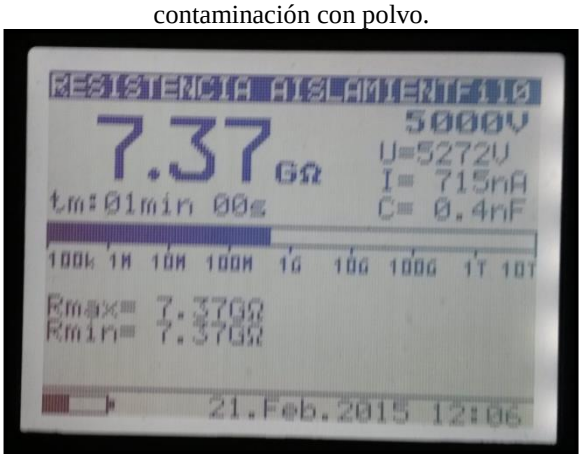


Fuente: Los autores

Figura 112: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 113: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

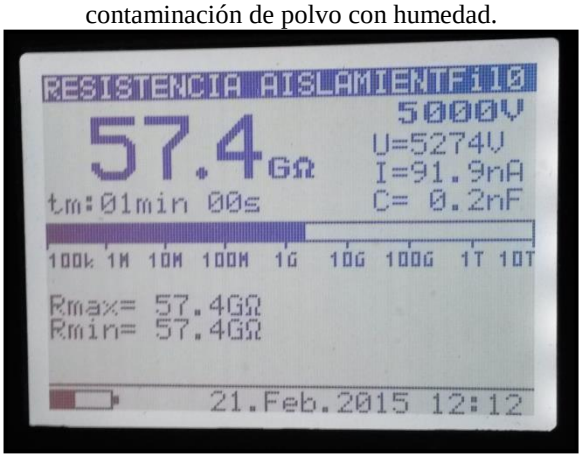


Fuente: Los autores

Figura 114: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 115: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

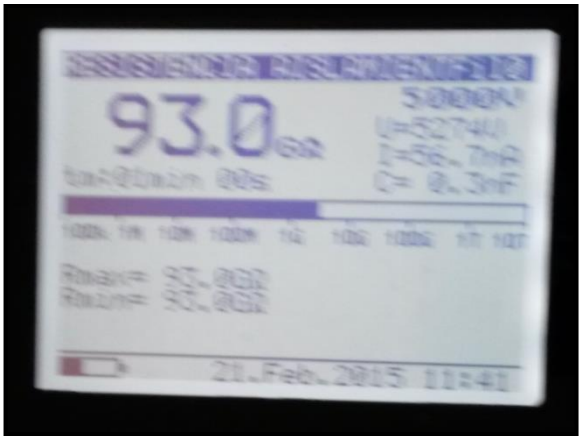


Fuente: Los autores

Figura 116: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Figura 117: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

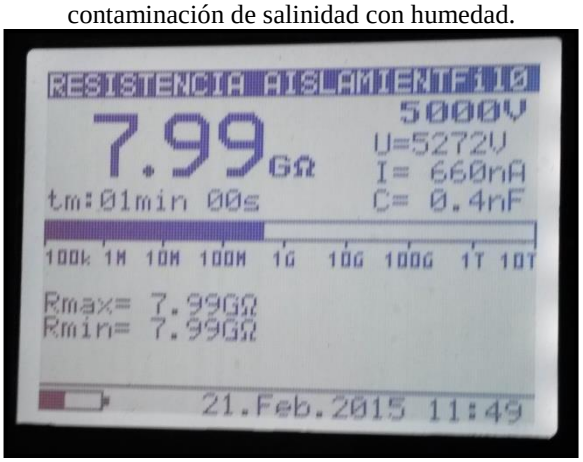


Fuente: Los autores

Figura 118: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 119: Valor de resistencia de aislamiento en aislador pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.



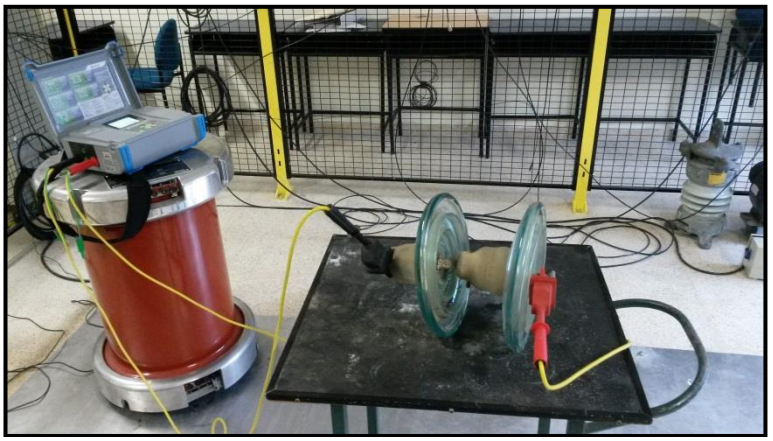
Fuente: Los autores

4.2.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN AISLADORES DE VIDRIO TIPO RETENCIÓN

De igual manera se realizó la medición de aislamiento en los aisladores tipo retención de vidrio, en cada una de las condiciones ambientales establecidas para este estudio, las cuales se enlistan a continuación:

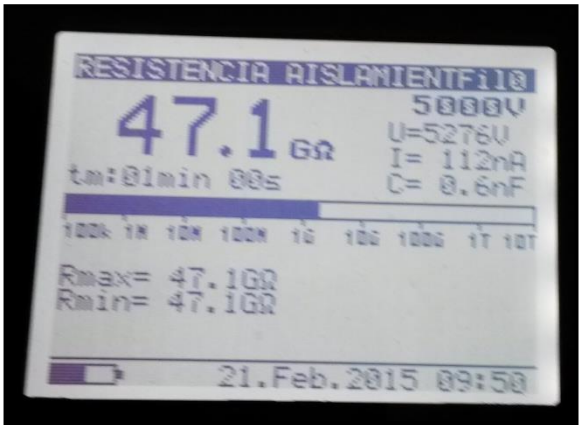
1) Condiciones normales
2) Polvo
3) Polvo con humedad.
4) Salinidad.
5) Salinidad con humedad.

Figura 120: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales.



Fuente: Los autores

Figura 121: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales.

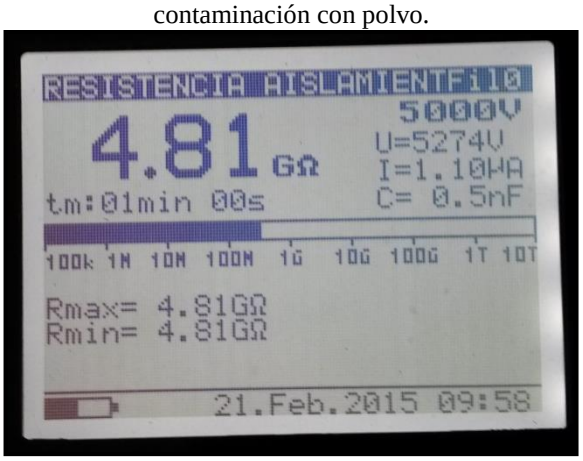


Fuente: Los autores

Figura 122: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Figura 123: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

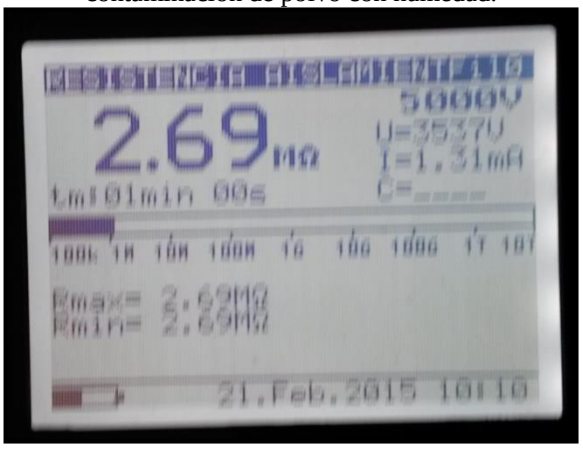


Fuente: Los autores

Figura 124: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Figura 125: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

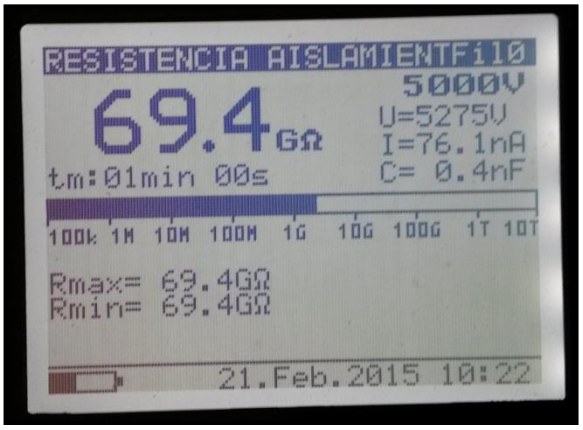


Fuente: Los autores

Figura 126: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

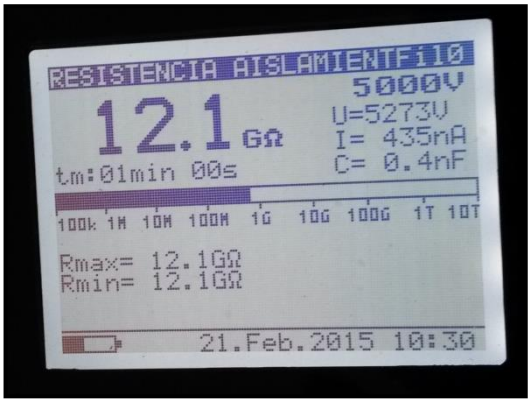
Figura 127: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.



Fuente: Los autores

Figura 128: Medición de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Figura 129: Valor de resistencia de aislamiento en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.



Fuente: Los autores

Una vez realizadas todas las mediciones, se procede a calcular el valor promedio de la resistencia de aislamiento de cada uno de los aisladores medidos; obteniendo los siguientes valores:

Tabla 27: Valores de resistencia de aislamiento.

Tipo	Material	Condición	R. Aislamiento (Ω)
Retención	Vidrio	Limpio	4,42e+10
Retención	Vidrio	Polvo-seco	5,22e+09
Retención	Vidrio	Polvo-húmedo	2,29e+06
Retención	Vidrio	Seco-salino	6,80e+10
Retención	Vidrio	Salino-húmedo	1,41e+10
Pin	Vidrio	Limpio	7,04e+08
Pin	Vidrio	Polvo-seco	8,53e+09
Pin	Vidrio	Polvo-húmedo	5,62e+10
Pin	Vidrio	Seco-salino	9,79e+10
Pin	Vidrio	Salino-húmedo	8,25e+09
Retención	Porcelana	Limpio	1,38e+11
Retención	Porcelana	Polvo-seco	6,05e+10
Retención	Porcelana	Polvo-húmedo	5,44e+10
Retención	Porcelana	Seco-salino	1,75e+10
Retención	Porcelana	Salino-húmedo	2,82e+09
Pin	Porcelana	Limpio	2,33e+12
Pin	Porcelana	Polvo-seco	2,03e+10
Pin	Porcelana	Polvo-húmedo	4,82e+09
Pin	Porcelana	Seco-salino	1,27e+12
Pin	Porcelana	Salino-húmedo	1,26e+12
Retención	Polímero	Limpio	4,00e+12
Retención	Polímero	Polvo-seco	8,73e+12
Retención	Polímero	Polvo-húmedo	1,00e+13
Retención	Polímero	Seco-salino	1,00e+13
Retención	Polímero	Salino-húmedo	3,40e+12
Pin	Polímero	Limpio	2,43e+10
Pin	Polímero	Polvo-seco	4,94e+12
Pin	Polímero	Polvo-húmedo	4,40e+12
Pin	Polímero	Seco-salino	1,05e+12
Pin	Polímero	Salino-húmedo	5,99e+10

Fuente: Los autores

4.3 PRUEBAS DE GENERACIÓN DE VOLTAJE AC

Se procedió a realizar las pruebas descritas en el capítulo anterior, para cada uno de los aisladores en las condiciones establecidas.

Para establecer los niveles de tensión a los que fueron sometidos los aisladores en cada una de las condiciones, se tomó en cuenta el nivel de tensión existente en las redes de distribución de media tensión, como también los niveles establecidos en las normas de fabricación del aislador. El nivel de tensión a simular es de línea a neutro.

Nivel de Tensión	V
Voltaje Nominal en red de distribución	13.8KV/$\sqrt{3}$ = 7.96KV
Voltaje Máximo en red de distribución	15.5KV/$\sqrt{3}$ = 8.9KV
Voltaje Máximo de fabricación	Nivel de tensión establecido por normas de fabricación de cada aislador

4.3.1 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE PORCELANA

Se realizó la prueba, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga de cada tipo de aislador en cada condición ambiental establecida.

Figura 130: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 28: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones normales

Prueba aislador tipo pin (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,49	2	0,1	1,07e-09
4,45	4,62	6	0,2	1,98e-09
6,45	6,33	10	0,3	2,72e-09
8,98	8,89	15	0,4	3,82e-09
10,98	10,8	19	0,5	4,64e-09
13,45	13,4	25	0,6	5,75e-09
15,45	15,62	29	0,8	6,70e-09
17,18	17,12	32	0,8	7,35e-09
19,18	19,28	37	0,9	8,27e-09
22,1	22,29	43	1,1	9,57e-09
V. Máximo (KV)	Valor práctico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,33	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor práctico (kv)(KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,27	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor práctico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	28,58	Si		

Fuente: Los autores

Figura 131: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo en ambiente seco.

Fuente: Los autores

Tabla 29: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo pin (seco polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,62	2	0,1	1,29e-07
4,45	4,63	6	0,2	2,28e-07
6,45	6,35	10	0,3	3,12e-07
8,98	8,93	15	0,4	4,39e-07
10,98	10,86	19	0,5	5,34e-07
13,45	13,26	24	0,6	6,52e-07
15,45	15,42	29	0,7	7,58e-07
17,18	17,15	32	0,8	8,44e-07
19,18	19,34	37	1	9,51e-07
22,1	22,35	43	1,1	1,10e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (kv)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,37	Si		
Nivel cortoneo (seco) (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,36	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	28,87	Si		

Fuente: Los autores

Figura 132: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad

Fuente: Los autores

Tabla 30: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin (húmedo polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,76	2	0,3	5,73E-07
4,45	4,42	6	0,3	9,17E-07
6,45	6,72	11	0,4	1,39E-06
8,98	8,92	15	0,5	1,85E-06
10,98	11,08	20	0,7	2,30E-06
13,45	13,69	25	0,8	2,84E-06
15,45	15,43	29	0,9	3,20E-06
17,18	17,33	33	1	3,60E-06
19,18	19,11	36	1,1	3,96E-06
22,1	22,15	43	1,3	4,60E-06
V. Máximo (KV)	Valor práctico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	No	No		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor práctico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	No	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor práctico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	22,96	No		

Fuente: Los autores

Figura 133: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad en ambiente seco.

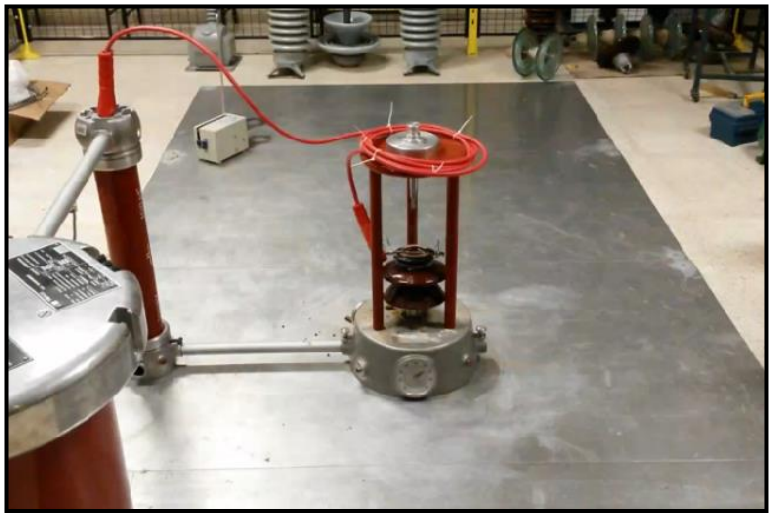
Fuente: Los autores

Tabla 31: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin (seco salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,38	2	0,1	1,87e-09
4,45	4,54	6	0,2	3,57e-09
6,45	6,37	10	0,3	5,02e-09
8,98	8,95	15	0,4	7,05e-09
10,98	10,9	19	0,5	8,58e-09
13,45	13,28	24	0,6	1,05e-08
15,45	15,47	29	0,7	1,22e-08
17,18	17,2	33	0,8	1,35e-08
19,18	19,22	37	0,9	1,51e-08
22,1	22,01	43	1,1	1,73e-08
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,16	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,21	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	29	Si		

Fuente: Los autores

Figura 134: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.



Fuente: Los autores

Tabla 32: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo pin (húmedo salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	2,00e-09
4,45	4,42	6	0,2	3,51e-09
6,45	6,41	10	0,3	5,09e-09
8,98	9	15	0,4	7,14e-09
10,98	10,97	19	0,6	8,71e-09
13,45	13,6	25	0,7	1,08e-08
15,45	15,51	29	0,8	1,23e-08
17,18	17,28	33	0,9	1,37e-08
19,18	-	-	-	-
22,1	-	-	-	-
V. Maximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,2	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	No	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	No	No		

Fuente: Los autores

4.3.2 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA

Se realizó la prueba, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga del aislador en cada condición ambiental establecida.

Para establecer los niveles de tensión a los que fueron sometidos los aisladores en cada una de las condiciones, se tomó en cuenta el nivel de tensión existente en las redes de distribución de media tensión, como también los niveles establecidos en las normas de fabricación del aislador. El nivel de tensión a simular es de línea a neutro.

Figura 135: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 33: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales.

Prueba aislador tipo retención (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,58	2	0,1	1,87e-08
4,45	4,25	5	0,2	3,08e-08
6,45	6,4	9	0,3	4,64e-08
8,98	8,49	14	0,4	6,16e-08
10,98	10,73	19	0,5	7,79e-08
13,45	13,33	24	0,7	9,67e-08
15,45	15,52	29	0,8	1,13e-07
17,18	17,27	32	0,9	1,25e-07
19,18	19,26	37	1	1,40e-07
22,1	22,11	43	1,2	1,60e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,25	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,41	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,75	Si		

Fuente: Los autores

Figura 136: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 34: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo retención (seco polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,54	2	0,1	4,20e-08
4,45	4,28	5	0,2	7,08e-08
6,45	6,45	10	0,3	1,07e-07
8,98	8,62	14	0,4	1,43e-07
10,98	10,82	19	0,5	1,79e-07
13,45	13,43	24	0,7	2,22e-07
15,45	15,63	29	0,8	2,59e-07
17,18	17,38	33	0,9	2,87e-07
19,18	19,15	36	1	3,17e-07
22,1	22,23	43	1,2	3,68e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,52	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,68	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,65	Si		

Fuente: Los autores

Figura 137: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 35: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo retención (húmedo polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	4,64e-08
4,45	4,37	6	0,2	8,04e-08
6,45	6,45	10	0,3	1,19e-07
8,98	9,04	15	0,4	1,66e-07
10,98	10,98	19	0,6	2,02e-07
13,45	13,39	24	0,7	2,46e-07
15,45	15,45	29	0,8	2,84e-07
17,18	17,34	33	0,9	3,19e-07
19,18	19,33	37	1	3,56e-07
22,1	22,03	42	1,2	4,05e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,17	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,06	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,78	Si		

Fuente: Los autores

Figura 138: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 36: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo retención (seco salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	1,44e-07
4,45	4,46	6	0,2	2,55e-07
6,45	6,42	10	0,3	3,68e-07
8,98	9,02	15	0,4	5,17e-07
10,98	10,77	19	0,5	6,17e-07
13,45	13,39	24	0,7	7,67e-07
15,45	15,56	29	0,8	8,91e-07
17,18	17,12	32	0,9	9,81e-07
19,18	19,3	37	1	1,11e-06
22,1	22,13	4	1,2	1,27e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,49	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,43	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,77	Si		

Fuente: Los autores

Figura 139: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 37: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo retención (húmedo salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,54	1	0,1	9,01e-07
4,45	4,6	6	0,2	1,63e-06
6,45	6,43	9	0,3	2,28e-06
8,98	9,03	15	0,5	3,20e-06
10,98	11,05	19	0,6	3,92e-06
13,45	13,41	24	0,7	4,76e-06
15,45	15,6	29	0,8	5,53e-06
17,18	17,34	32	0,9	6,15e-06
19,18	19,26	37	1	6,83e-06
22,1	22,18	43	1,2	7,87e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,29	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,4	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,78	Si		

Fuente: Los autores

4.3.3 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE POLÍMERO

Se realizó la prueba en el aislador, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga del mismo en cada condición ambiental establecida.

Para establecer los niveles de tensión a los que fueron sometidos los aisladores en cada una de las condiciones, se tomó en cuenta el nivel de tensión existente en las redes de distribución de media tensión, como también los niveles establecidos en las normas de fabricación del aislador. El nivel de tensión a simular es de línea a neutro.

Figura 140: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 38: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones normales.

Prueba aislador tipo pin polímero (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,5	2	0,1	1,03e-07
4,45	4,41	6	0,2	1,81e-07
6,45	6,4	10	0,3	2,63e-07
8,98	8,8	15	0,4	3,62e-07
10,98	11	19	0,5	4,53e-07
13,45	13,49	25	0,6	5,55e-07
15,45	15,49	29	0,7	6,37e-07
17,18	17,22	32	0,8	7,09e-07
19,18	19,14	36	0,9	7,88e-07
22,1	22,07	43	1,1	9,08e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,1	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,22	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,89	Si		

Fuente: Los autores

Figura 141: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 39: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo pin polímero (seco polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	5,10e-10
4,45	4,45	6	0,2	9,01e-10
6,45	6,4	10	0,3	1,30e-09
8,98	8,99	15	0,4	1,82e-09
10,98	11,17	20	0,5	2,26e-09
13,45	13,32	24	0,6	2,70e-09
15,45	15,48	29	0,7	3,13e-09
17,18	17,24	32	0,8	3,49e-09
19,18	19,22	37	0,9	3,89e-09
22,1	22,05	43	1,1	4,46e-09
V. Maximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,62	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,54	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,63	Si		

Fuente: Los autores

Figura 142: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 40: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin polímero (húmedo polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,51	2	0,1	5,70e-10
4,45	4,45	6	0,2	1,01e-09
6,45	6,38	10	0,3	1,45e-09
8,98	8,97	15	0,4	2,04e-09
10,98	10,94	19	0,5	2,49e-09
13,45	13,36	24	0,7	3,04e-09
15,45	15,53	29	0,8	3,53e-09
17,18	17,26	32	0,9	3,92e-09
19,18	19,28	37	1	4,38e-09
22,1	22,11	43	1,1	5,03e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,62	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	31,56	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,68	Si		

Fuente: Los autores

Figura 143: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 41: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin polímero (seco sal)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	2,40e-09
4,45	4,42	5	0,2	4,21e-09
6,45	6,4	10	0,3	6,10e-09
8,98	9	15	0,4	8,57e-09
10,98	10,89	19	0,5	1,04e-08
13,45	13,37	24	0,6	1,27e-08
15,45	15,36	28	0,7	1,46e-08
17,18	17,36	33	0,9	1,65e-08
19,18	19,1	36	0,9	1,82e-08
22,1	22,2	43	1,2	2,11e-08
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,33	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,22	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,83	Si		

Fuente: Los autores

Figura 144: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 42: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de polímero, en condiciones de contaminación de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo pin polímero (húmedo sal)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,52	2	0,1	4,21e-08
4,45	4,47	6	0,2	7,47e-08
6,45	6,42	10	0,3	1,07e-07
8,98	9,01	15	0,4	1,51e-07
10,98	10,87	19	0,5	1,82e-07
13,45	13,37	24	0,7	2,23e-07
15,45	15,37	28	0,8	2,57e-07
17,18	17,16	32	0,9	2,87e-07
19,18	19,08	36	1	3,19e-07
22,1	22,03	42	1,1	3,68e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,33	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	-	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,75	28,61	No		

Fuente: Los autores

4.3.4 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO

Se realizó la prueba en el aislador, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga del mismo en cada condición ambiental establecida.

Figura 145: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 43: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,58	2	0,1	6,45e-10
4,45	4,42	6	0,2	1,11e-09
6,45	6,45	10	0,3	1,61e-09
8,98	9,07	15	0,4	2,27e-09
10,98	10,82	19	0,5	2,71e-09
13,45	13,46	24	0,7	3,37e-09
15,45	15,45	29	0,8	3,86e-09
17,18	17,18	32	0,9	4,30e-09
19,18	19,18	36	1	4,80e-09
22,1	22,12	43	1,1	5,53e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,33	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
75,05	75,17	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
57,73	57,75	Si		

Fuente: Los autores

Figura 146: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 44: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (seco polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,53	2	0,1	2,90e-10
4,45	4,43	5	0,2	5,07e-10
6,45	6,44	10	0,3	7,38e-10
8,98	9,05	15	0,4	1,04e-09
10,98	11,1	19	0,5	1,27e-09
13,45	13,41	24	0,7	1,54e-09
15,45	15,58	29	0,8	1,78e-09
17,18	17,32	32	0,9	1,98e-09
19,18	19,35	37	1,6	2,22e-09
22,1	22,17	43	1,1	2,54e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,32	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
75,05	75,7	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
57,73	57,91	Si		

Fuente: Los autores

Figura 147: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 45: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (húmedo-polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,54	2	0,1	2,54e-10
4,45	4,59	6	0,2	4,59e-10
6,45	6,45	10	0,3	6,45e-10
8,98	9,07	15	0,4	9,07e-10
10,98	11,12	20	0,5	1,11e-09
13,45	13,47	24	0,7	1,35e-09
15,45	15,64	29	0,8	1,56e-09
17,18	17,16	32	0,9	1,72e-09
19,18	19,31	37	1	1,93e-09
22,1	22,12	43	1,1	2,21e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,36	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
75,05	75,17	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
57,73	57,76	Si		

Fuente: Los autores

Figura 148: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 46: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (seco sal)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,49	2	0,1	2,49e-10
4,45	4,5	6	0,2	4,50e-10
6,45	6,58	10	0,3	6,58e-10
8,98	8,95	15	0,4	8,95e-10
10,98	10,85	19	0,5	1,09e-09
13,45	13,67	25	0,7	1,37e-09
15,45	15,39	28	0,7	1,54e-09
17,18	17,14	32	0,8	1,71e-09
19,18	19,3	37	1	1,93e-09
22,1	22,17	43	1,1	2,22e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,13	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
75,05	75,54	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
57,73	57,92	Si		

Fuente: Los autores

Figura 149: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 47: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (húmedo-sal)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,51	1	0,1	7,38e-10
4,45	4,55	5	0,2	1,34e-09
6,45	6,38	9	0,3	1,88e-09
8,98	8,96	15	4	2,64e-09
10,98	11,06	19	0,5	3,25e-09
13,45	13,28	24	0,6	3,91e-09
15,45	15,46	28	0,7	4,55e-09
17,18	17,2	32	0,8	5,06e-09
19,18	19,18	36	0,9	5,64e-09
22,1	22,03	42	11	6,48e-09
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,18	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
75,05	75,22	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
57,73	57,63	Si		

Fuente: Los autores

4.3.5 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO PIN DE VIDRIO

Se realizó la prueba en el aislador, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga del mismo en cada condición ambiental establecida.

Para establecer los niveles de tensión a los que fueron sometidos los aisladores en cada una de las condiciones, se tomó en cuenta el nivel de tensión existente en las redes de distribución de media tensión, como también los niveles establecidos en las normas de fabricación del aislador. El nivel de tensión a simular es de línea a neutro.

Figura 150: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 48: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones normales.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,5	2	0,1	3,55e-06
4,45	4,41	6	0,2	6,26e-06
6,45	6,38	10	0,3	9,06e-06
8,98	9,2	16	0,4	1,31e-05
10,98	11,14	20	0,5	1,58e-05
13,45	13,32	24	0,7	1,89e-05
15,45	15,46	29	0,8	2,19e-05
17,18	17,19	32	0,9	2,44e-05
19,18	19,14	36	1	2,72e-05
22,1	21,98	42	1,2	3,12e-05
V. Maximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,39	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
54,84	54,8	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
34,64	34,68	Si		

Fuente: Los autores

Figura 151: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 49: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (seco-polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,67	2	0,1	3,13e-07
4,45	4,64	6	0	5,44e-07
6,45	6,34	10	0,3	7,43e-07
8,98	8,92	15	0,4	1,05e-06
10,98	11,05	20	0,5	1,30e-06
13,45	13,65	25	0,7	1,60e-06
15,45	15,37	29	0,8	1,80e-06
17,18	17,1	32	0,9	2,00e-06
19,18	19,3	37	1	2,26e-06
22,1	22,2	43	1,1	2,60e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,4	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
54,84		No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
34,64		No		

Fuente: Los autores

Figura 152: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

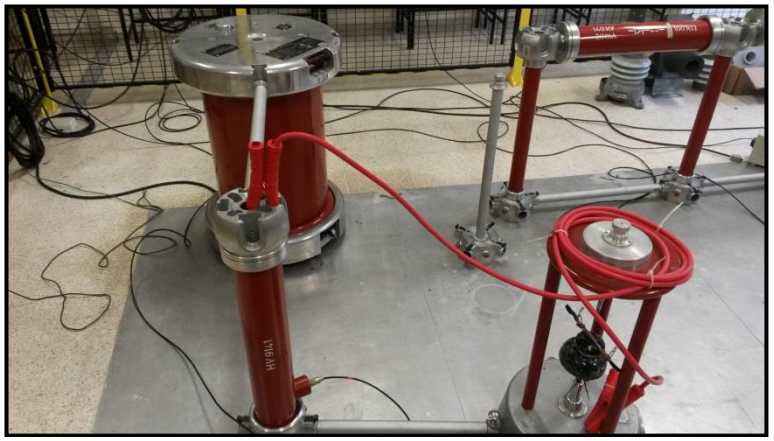
Fuente: Los autores

Tabla 50: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (húmedo-polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,46	2	0,1	4,37e-08
4,45	4,76	6	0,3	8,47e-08
6,45	6,32	10	0,4	1,12e-07
8,98	9,16	16	0,8	1,63e-07
10,98	11,13	20	0,6	1,98e-07
13,45	13,68	25	0,7	2,43e-07
15,45	15,44	29	0,8	2,75e-07
17,18	17,23	32	0,9	3,06e-07
19,18	-	-	-	-
22,1	-	-	-	-
V. Maximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,57	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
54,84	-	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
34,64	-	No		

Fuente: Los autores

Figura 153: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.



Fuente: Los autores

Tabla 51: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (seco-salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,47	1	0,1	2,52e-08
4,45	4,41	5	0,2	4,50e-08
6,45	6,47	9	0,3	6,61e-08
8,98	8,96	14	0,4	9,15e-08
10,98	11,01	19	0,5	1,12e-07
13,45	13,59	24	0,6	1,39e-07
15,45	15,57	28	0,7	1,59e-07
17,18	17,18	32	0,8	1,75e-07
19,18	19,17	36	0,9	1,96e-07
22,1	21,17	40	1	2,16e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,44	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
54,84	55,02	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
34,64	36,94	Si		

Fuente: Los autores

Figura 154: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 52: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo pin de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (húmedo-salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,48	1	0,1	3,01e-07
4,45	4,6	5	0,2	5,58e-07
6,45	6,5	9	0,3	7,88e-07
8,98	8,89	14	0,4	1,08e-06
10,98	11,05	19	0,5	1,34e-06
13,45	13,47	24	0,7	1,63e-06
15,45	15,48	28	0,8	1,88e-06
17,18	17,2	32	0,8	2,08e-06
19,18	19,18	36	0,9	2,32e-06
22,1	22,3	42	1,1	2,70e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,43	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
54,84	51,28	No		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
34,64	34,78	Si		

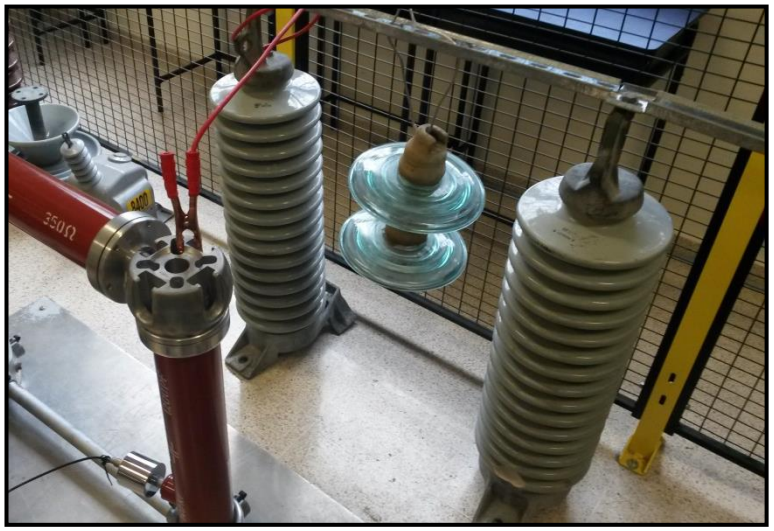
Fuente: Los autores

4.3.6 PRUEBAS EN AISLADOR TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO

Se realizó la prueba en el aislador, generando valores de tensión que iban desde los 2.45KV hasta los 22.1KV, para luego proceder a calcular la corriente de fuga del mismo en cada condición ambiental establecida.

Para establecer los niveles de tensión a los que fueron sometidos los aisladores en cada una de las condiciones, se tomó en cuenta el nivel de tensión existente en las redes de distribución de media tensión, como también los niveles establecidos en las normas de fabricación del aislador. El nivel de tensión a simular es de línea a neutro.

Figura 155: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales.



Fuente: Los autores

Tabla 53: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (condiciones normales)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,5	1	0,1	5,66e-08
4,45	4,37	6	0,2	9,90e-08
6,45	6,47	10	0,3	1,47e-07
8,98	9,01	14	0,5	2,04e-07
10,98	11,03	19	0,6	2,50e-07
13,45	13,4	24	0,7	3,03e-07
15,45	15,6	28	0,8	3,53e-07
17,18	17,25	32	0,9	3,91e-07
19,18	19,23	36	1,1	4,35e-07
22,1	22,15	42	1,2	5,02e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,47	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,08	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	28,75	Si		

Fuente: Los autores

Figura 156: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 54: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (seco-polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,48	1	0,1	4,75e-07
4,45	4,65	6	0,2	8,91e-07
6,45	6,37	9	0,3	1,22e-06
8,98	9,1	15	0,5	1,74e-06
10,98	10,95	19	0,6	2,10e-06
13,45	13,54	24	0,7	2,59e-06
15,45	15,47	28	0,8	2,96e-06
17,18	17,25	32	0,9	3,30e-06
19,18	19,15	35	1,1	3,67e-06
22,1	21,9	40	1,2	4,20e-06
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,5	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,2	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	29,1	Si		

Fuente: Los autores

Figura 157: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 55: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (húmedo-polvo)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,4	1	0,1	1,05e-03
4,45	4,5	6	0,2	1,97e-03
6,45	6,65	9	0,3	2,90e-03
8,98	8,9	14	0,5	3,89e-03
10,98	11,02	19	0,6	4,81e-03
13,45	13,42	24	0,7	5,86e-03
15,45	15,56	28	0,8	6,79e-03
17,18	17,25	32	0,9	7,53e-03
19,18	19,2	36	1,1	8,38e-03
22,1	22,01	42	1,2	9,61e-03
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,5	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,35	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	29,1	Si		

Fuente: Los autores

Figura 158: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 56: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (seco-salino)				
Voltaje estimado (KV)	Valor práctico introducido (KV)	Voltaje en devanado primario (V)	Corriente en devanado primario (A)	Corriente de fuga calculada (A)
2,45	2,48	1	0,1	3,65e-08
4,45	4,62	6	0,2	6,79e-08
6,45	6,53	9	0,3	9,60e-08
8,98	8,95	14	0,5	1,32e-07
10,98	11,02	19	0,6	1,62e-07
13,45	13,5	24	0,7	1,99e-07
15,45	15,6	28	0,8	2,29e-07
17,18	15,25	32	0,9	2,24e-07
19,18	19,23	36	1,1	2,83e-07
22,1	22,15	42	1,2	3,26e-07
V. Máximo (KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,65	Si		
Nivel cortoneo (seco)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,3	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(KV)	Valor practico (KV)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	29,1	Si		

Fuente: Los autores

Figura 159: Prueba de voltaje nominal y voltaje máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 57: Valores de prueba de voltaje nominal y máximo en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (húmedo-salino)				
Voltaje estimado (kv)	Valor práctico introducido (kv)	Voltaje en devanado primario (v)	Corriente en devanado primario (a)	Corriente de fuga calculada (a)
2,45	2,6	1	0,1	1,84e-07
4,45	4,5	6	0,2	3,18e-07
6,45	6,53	9	0,3	4,62e-07
8,98	9,01	14	0,5	6,37e-07
10,98	11,05	19	0,6	7,81e-07
13,45	13,42	24	0,7	9,49e-07
15,45	15,54	28	0,8	1,10e-06
17,18	17,25	32	0,9	1,22e-06
19,18	19,28	36	1,1	1,36e-06
22,1	22,15	42	1,2	1,57e-06
V. Maximo (kv)	Valor practico (kv)	Cumple sin descargar a tierra		
14,3	14,54	Si		
Nivel cortoneo (seco)(kv)	Valor practico (kv)	Cumple sin descargar a tierra		
46,18	46,2	Si		
Nivel cortoneo (lluvia)(kv)	Valor practico (kv)	Cumple sin descargar a tierra		
28,86	28,92	Si		

Fuente: Los autores

4.4 PRUEBAS DE VOLTAJE DE IMPULSO

Se procedió a realizar las pruebas descritas en el capítulo anterior, para cada uno de los aisladores en las condiciones establecidas.

El nivel de voltaje de impulso se encuentra establecido en los datos técnicos de cada aislador, pero debido a que el laboratorio no cuenta con un transformador que tenga la capacidad requerida para realizar la prueba, se estableció el nivel del tensión en aproximadamente 90KV.

4.4.1 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA

Figura 160: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 58: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales.

Aislador porcelana tipo pin (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
101,03	93,41	4,01E-08

Fuente: Los autores

Figura 161: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 59: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
101,03	92,06	4,53e-06

Fuente: Los autores.

Figura 162: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

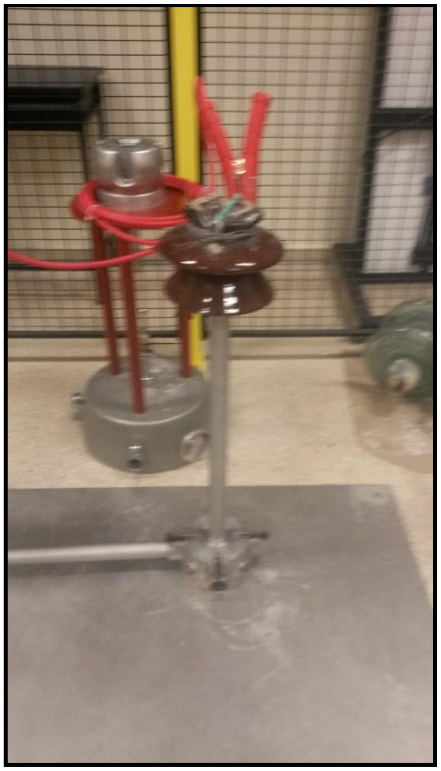
Fuente: Los autores

Tabla 60: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
101,03	93,9	1,95e-05

Fuente: Los autores

Figura 163: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.



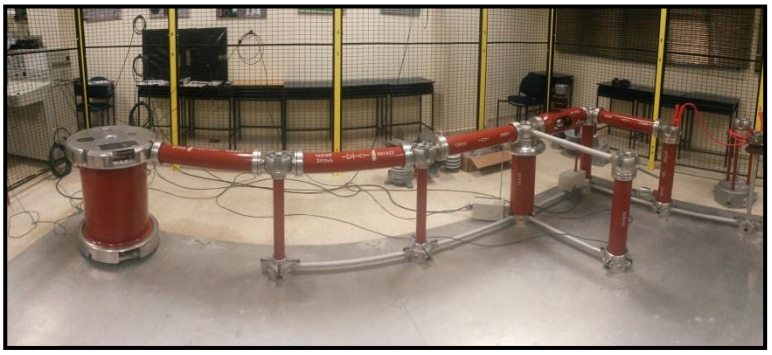
Fuente: Los autores

Tabla 61: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
101,03	91,81	7,23e-08

Fuente: Los autores

Figura 164: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.



Fuente: Los autores

Tabla 62: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
101,03	85	6,75e-08

Fuente: Los autores

4.4.2 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA

Figura 165: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 63 : Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales

Aislador tipo retención (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	92,31	6,70e-07

Fuente: Los autores

Figura 166: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 64: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	88,29	1,46e-06

Fuente: Los autores

Figura 167: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 65: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	90,69	1,67e-06

Fuente: Los autores

Figura 168: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 66: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	90,48	5,18e-06

Fuente: Los autores

Figura 169: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 67: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	89,17	3,16e-05

Fuente: Los autores

4.4.3 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO

Figura 170: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 68: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales.

Aislador porcelana tipo pin (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (kv)	Valor práctico(kv)	Corriente de fuga calculada (a)
92,37	89,2	3,67e-06

Fuente: Los autores

Figura 171: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 69: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	90,95	1,84e-08

Fuente: Los autores

Figura 172: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 70: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	92,95	2,11e-08

Fuente: Los autores

Figura 173: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 71: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	91,17	8,68e-08

Fuente: Los autores

Figura 174: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

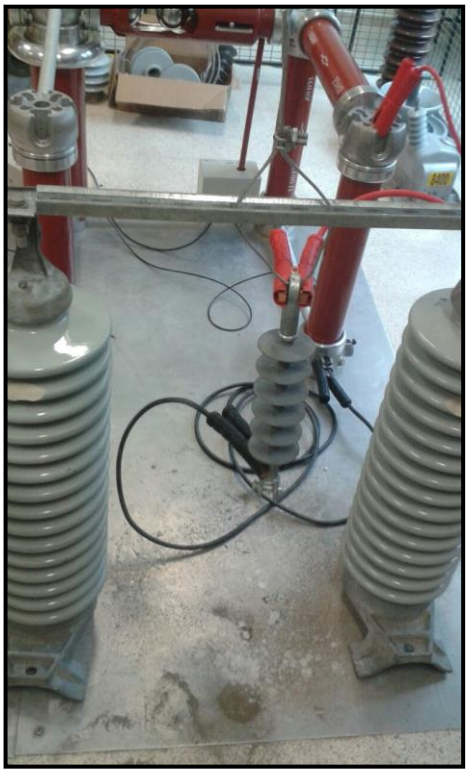
Tabla 72: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	91,1	1,52e-06

Fuente: Los autores

4.4.4 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO

Figura 175: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales.



Fuente: Los autores

Tabla 73: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales.

Aislador tipo retención (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
109,69	89,28	2,23e-08

Fuente: Los autores

Figura 176: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 74: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación con polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
109,69	88,32	1,01e-08

Fuente: Los autores

Figura 177: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 75: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
109,69	87,81	8,78e-09

Fuente: Los autores

Figura 178: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 76: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
109,69	90,39	9,04e-09

Fuente: Los autores

Figura 179: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 77: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
109,69	91,94	2,70e-08

Fuente: Los autores

4.4.5 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO

Figura 180: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 78: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales.

Aislador tipo pin (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	90,92	1,29E-04

Fuente: Los autores

Figura 181: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 79: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	87,69	1,03E-05

Fuente: Los autores

Figura 182: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 80: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	84,29	1,50E-06

Fuente: Los autores

.

Figura 183: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 81: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	85,76	8,76E-07

Fuente: Los autores

Figura 184: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 82: Valores de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
92,37	63,05	7,64e-06

Fuente: Los autores

4.4.6 PRUEBAS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO

Figura 185: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales.

Fuente: Los autores

Tabla 83: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales.

Aislador tipo retención (condiciones normales)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	89,89	2,04e-06

Fuente: Los autores

Figura 186: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación con polvo.

Fuente: Los autores

Tabla 84: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación con polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	87,74	1,68e-05

Fuente: Los autores

Figura 187: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 85: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (kv)	Valor práctico(kv)	Corriente de fuga calculada (a)
72,16	88,55	3,87e-02

Fuente: Los autores

Figura 188: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Fuente: Los autores

Tabla 86: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	89,69	1,32e-06

Fuente: Los autores

Figura 189: Prueba de voltaje de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Fuente: Los autores

Tabla 87: Valores de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)		
Prueba de impulso		
Valor teórico (KV)	Valor práctico(KV)	Corriente de fuga calculada (A)
72,16	89,19	6,31e-06

Fuente: Los autores

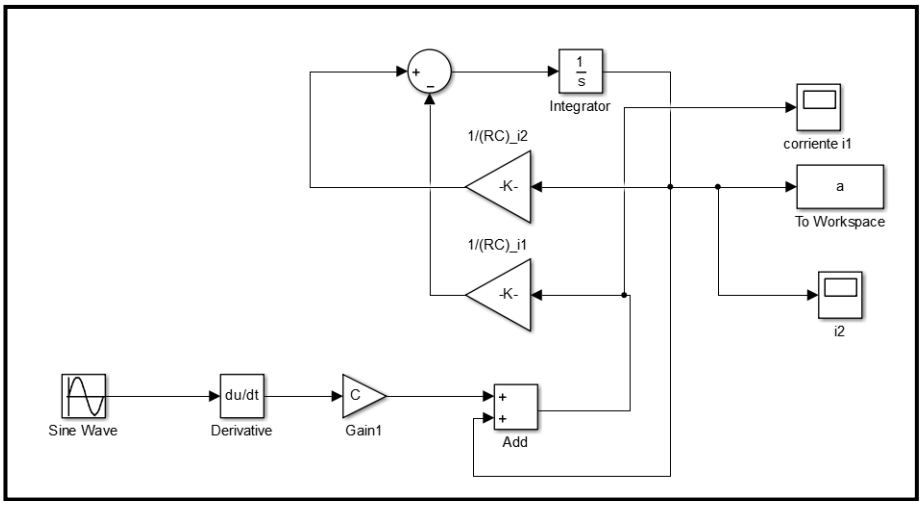
4.5 SIMULACIÓN EN SOFTWARE MATLAB®

Para la simulación en el software, se empezara a partir de las ecuaciones previamente establecidas; utilizando las herramientas que brinde el software para realizar las mismas.

4.5.1 SIMULACIÓN DE VOLTAJES MÁXIMOS Y NOMINALES.

Para la simulación se usaran las ecuaciones previamente establecidas, a las pruebas de voltaje máximo y nominal, utilizando la herramienta SIMULINK del software MATLAB®; la cual consiste en llevar a un diagrama de bloques las ecuaciones para obtener los resultados correspondientes.

Figura 190: Diagrama de bloques en herramienta SIMULINK para las ecuaciones de voltaje máximo y nominal.



Fuente: Los autores

Donde se ingresaran las variables V, R, C; correspondientes a los valores de Voltaje de prueba, Resistencia de aislamiento y capacitancia de los aisladores, en cada condición ambiental establecida.

4.5.1.1 INTERFAZ GRÁFICA

Para la interfaz gráfica se usara la herramienta GUIDE de MATLAB®, la cual permitirá manipular las variables de manera fácil para la resolución del programa.

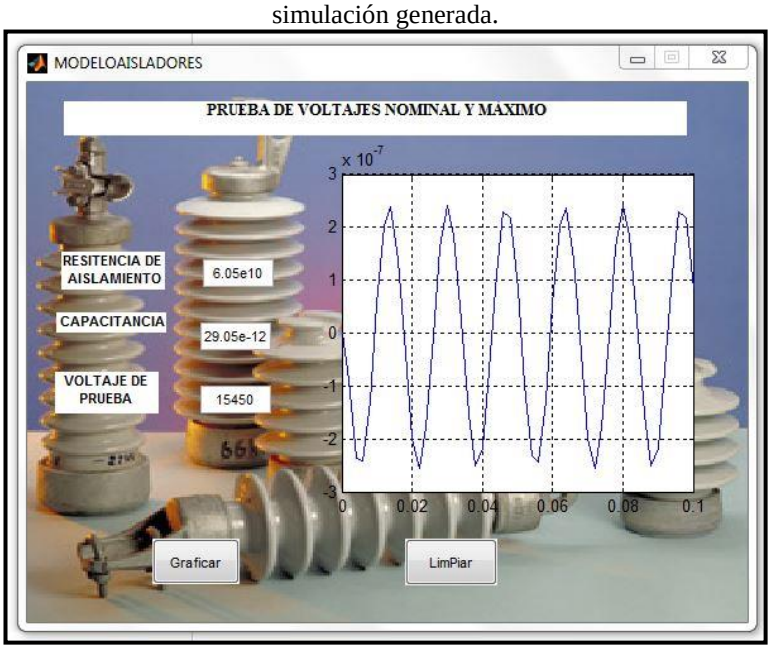
Figura 191: Interfaz gráfica de prueba de voltajes nominal y máximo en aisladores.

Fuente: Los autores.

En la interfaz se podrá ingresar los valores correspondientes a Resistencia de aislamiento (R), Capacitancia (C), y el Voltaje de prueba correspondiente (V).

El botón graficar generara la gráfica de la onda correspondiente a la corriente de fuga.

Figura 192: Interfaz gráfica de prueba de voltajes nominal y máximo en aisladores, con grafica de simulación generada.



Fuente: Los autores

4.5.2 SIMULACIÓN DE PRUEBA DE IMPULSO

Para la simulación de voltaje de impulso, y cálculo de la corriente de fuga correspondiente se utilizara el software MATLAB®, programando en la ventana de comandos.

Debido a las condiciones de generación del laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, se fijará un valor de impulso correspondiente a 90KV, que es un valor cercano a los que requieren cada tipo de aislador y que se apega a la capacidad de generación del laboratorio.

Debido a que la prueba de impulso requiere un valor fijo de voltaje, no se procedió a trabajar con la ecuación, si no con el valor fijado y eligiendo cada aislador en cada condición ambiental correspondiente para el cálculo de la corriente de fuga.

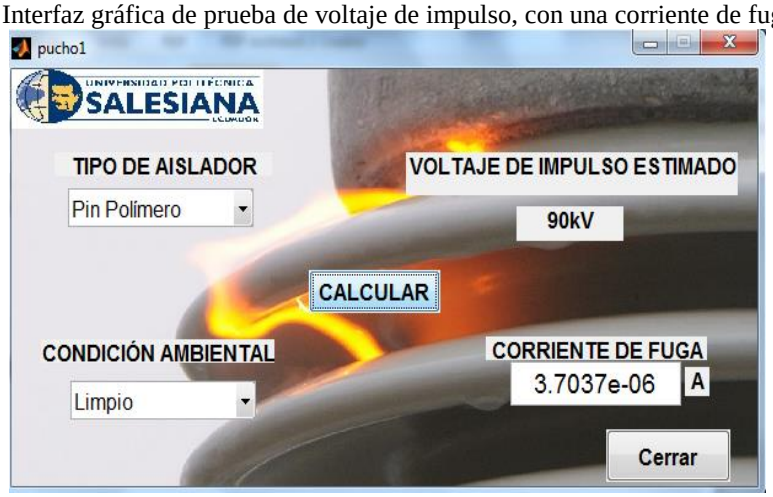
4.5.2.1 INTERFAZ GRÁFICA

De igual manera que en la prueba de voltaje nominal y máximo, se utilizara la herramienta GUIDE para crear la interfaz gráfica, en la cual se elegirán el tipo de aislador y la condición ambiental correspondiente; el valor de voltaje de impulso como ya se expuso anteriormente estará fijado en 90KV.

Figura 193: Interfaz gráfica de prueba de voltaje de impulso

Fuente: Los autores

Figura 194: Interfaz gráfica de prueba de voltaje de impulso, con una corriente de fuga calculada



Fuente: Los autores

CAPÍTULO V
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de esta tesis, se procedió a obtener información mediante pruebas realizadas en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, para su análisis e interpretación, se realizaron simulaciones utilizando el software MATLAB®.

Se presentarán los resultados obtenidos en las pruebas establecidas, para ser comparados con los resultados de las simulaciones; estableciendo los porcentajes de error correspondientes y emitiendo un criterio de análisis en base a los resultados obtenidos.

Se analizaron los resultados tomando en consideración los siguientes puntos:

1) Promedio de porcentaje de error en cada condición ambiental.
2) Condición que presenta mayor corriente de fuga.
3) Condición que presenta menor corriente de fuga.
4) Condición que presenta mayor estabilidad.
5) Condición que presenta menor estabilidad, debido a que presenta descarga en el instante de prueba.

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBA DE VOLTAJES NOMINAL Y MÁXIMO.

Para la comparación de los valores simulados contra los valores prácticos, se tomará en consideración tres valores de voltaje, para de acuerdo a eso tener una tendencia de los porcentajes de error presentes en las pruebas.

5.1.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA

Tabla 88: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales.

Prueba aislador tipo pin (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error (%)
2,45	1,07e-09	1,05e-09	2,03
13,45	5,75e-09	5,44e-09	5,44
22,1	9,57e-09	9,05e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 89: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo.

Prueba aislador tipo pin (seco polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error (%)
2,45	1,29e-07	1,22e-07	5,33
13,45	6,52e-07	6,17e-07	5,38
22,1	1,10e-06	1,04e-06	5,31

Fuente: Los autores

Tabla 90: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin (húmedo polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error (%)
2,45	5,73e-07	5,41e-07	5,52
13,45	2,84e-06	2,69e-06	5,43
22,1	4,60e-06	4,26e-06	7,26

Fuente: Los autores

Tabla 91: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin (seco salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error (%)
2,45	1,87e-09	1,77e-09	5,43
13,45	1,05e-08	9,89e-09	5,43
22,1	1,73e-08	1,64e-08	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 92: Comparación de resultados en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo pin (húmedo salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error (%)
2,45	2,00e-09	1,89e-09	5,43
13,45	1,08e-08	1,02e-08	5,43
22,1	-	1,64e-08	-

Fuente: Los autores

La variación de los porcentajes de error en cada una de las pruebas, se debe a que el equipo generador de voltaje del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, no tiene una alta precisión en los valores a ingresar, por ser comandado analógicamente y por ser un equipo de pruebas didáctico.

La variación de las corrientes de fuga en cada uno de los escenarios estudiados se debe a que la resistencia de aislamiento varía dependiendo de la condición atmosférica a que está siendo sometido el aislador en el instante de la prueba.

Los espacios en blanco de la tabla 92, en los cuales no se presentan datos, produjeron un nivel de tensión en el aislador experimentando una descarga hacia tierra.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 4.3%
- Contaminación con polvo (seco) : 5.34%
- Contaminación con polvo (húmedo): 6.07%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.43%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.43%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición de contaminación de polvo con humedad.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición normal.

La condición que más estabilidad presentó durante las pruebas, fue la condición normal, por presentar menor corriente de fuga.

La condición que presentó menor estabilidad, fue la condición de salinidad con humedad, por presentar una descarga hacia tierra a nivel de tensión de 22.1KV.

5.1.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO

Tabla 93: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales.

Prueba aislador tipo pin polímero (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	1,03e-07	9,73e-08	5,43
13,45	5,55e-07	5,25e-07	5,43
22,1	9,08e-07	8,59e-07	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 94: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación con polvo

Prueba aislador tipo pin polímero (seco polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	5,10e-10	4,82e-10	5,43
13,45	2,70e-09	2,55e-09	5,43
22,1	4,46e-09	4,22e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 95: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin polímero (húmedo polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	5,70e-10	5,39e-10	5,43
13,45	3,04e-09	2,87e-09	5,43
22,1	5,03e-09	4,75e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 96: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin polímero (seco sal)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	2,40e-09	2,27e-09	5,43
13,45	1,27e-08	1,20e-08	5,43
22,1	2,11e-08	2,00e-08	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 97: Comparación de resultados en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo pin polímero (húmedo sal)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	4,21e-08	3,98e-08	5,49
13,45	2,23e-07	2,12e-07	5,08
22,1	3,68e-07	3,48e-07	5,49

Fuente: Los autores

La variación de los porcentajes de error en cada una de las pruebas, se debe a que el equipo generador de voltaje del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, no tiene una alta precisión en los valores a ingresar, por ser comandado analógicamente y por ser un equipo de pruebas didáctico.

De igual manera la resistencia de aislamiento varía en cada escenario de contaminación experimentado.

No se observa una descarga hacia tierra en este tipo de aislador en cualquier condición a la que fue sometido.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 5.43%
- Contaminación con polvo (seco) : 5.43%
- Contaminación con polvo (húmedo): 5.43%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.43%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.35%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición normal.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición de contaminación con polvo; debido a la humedad presente en el ambiente, produciendo una variación en la resistencia de aislamiento esperada, que debería ser menor a la resistencia de aislamiento en condiciones normales.

La condición que más estabilidad presentó durante las pruebas, fue la condición de contaminación con polvo, por presentar menor corriente de fuga.

5.1.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO

Tabla 98: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	3,55e-06	3,22e-06	9,40
13,45	1,89e-05	1,43e-05	24,59
22,1	3,12e-05	2,57e-05	17,75

Fuente: Los autores

Tabla 99: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (seco-polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	3,13e-07	2,96e-07	5,43
13,45	1,60e-06	1,51e-06	5,43
22,1	2,60e-06	2,46e-06	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 100: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (húmedo-polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	4,37e-08	4,14e-08	5,38
13,45	2,43e-07	2,30e-07	5,38
22,1	-	3,72e-07	-

Fuente: Los autores

Tabla 101: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (seco-salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	2,52e-08	2,39e-08	5,40
13,45	1,39e-07	1,31e-07	5,40
22,1	2,16e-07	2,05e-07	5,40

Fuente: Los autores

Tabla 102: Comparación de resultados en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo pin de vidrio (húmedo-salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	3,01e-07	2,84e-07	5,43
13,45	1,63e-06	1,54e-06	5,43
22,1	2,70e-06	2,56e-06	5,43

Fuente: Los autores

La variación de los porcentajes de error en cada una de las pruebas, se debe a que el equipo generador de voltaje del laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, no tiene una alta precisión en los valores a ingresar, por ser comandado analógicamente y por ser un equipo de pruebas didáctico.

De igual manera a los temas expuestos anteriormente, el porcentaje de error varia por lo antes mencionado, así como también la variación de la corriente de fuga se debe a la variación de la resistencia de aislamiento.

Los espacios en blanco de las tablas, en los cuales no se presentan datos, produjeron un nivel de tensión en el aislador experimentando una descarga hacia tierra.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 17.25%
- Contaminación con polvo (seco) : 5.43%
- Contaminación con polvo (húmedo): 5.38%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.40%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.43%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición normal.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición de contaminación con salinidad; debido a la humedad presente en el ambiente y por la característica del material, produciendo una variación en la resistencia de aislamiento esperada, que debería ser menor a la resistencia de aislamiento en condiciones normales.

La condición que más estabilidad presentó durante las pruebas, fue la condición de contaminación con salinidad, por presentar menor corriente de fuga.

La condición que presentó menor estabilidad por presentar una descarga hacia tierra al nivel de tensión de 22.1KV, fue la condición de contaminación de polvo húmedo.

5.1.4 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO PIN

Una vez desarrolladas todas las prácticas en los aisladores tipo pin de distinto material (porcelana, polímero y vidrio), se puede determinar que una gran diferencia en los aisladores es su tamaño, siendo el aislador de porcelana más grande por ende teniendo una mayor distancia de contorneo entre la línea y la tierra, lo que dificultaría su descarga.

En lo que concierne a condiciones ambientales sometidas, las condiciones que mayor incidencia tuvieron fueron las que contenían mayor nivel humedad, tanto con polvo como con salinidad, el tipo de aislador que mejor respuesta tuvo a variación de contaminaciones fue el aislador de polímero, por presentar hidrofobia que es una característica propia del material.

El aislador de vidrio presentó igual respuesta que los anteriores pero por su menor tamaño, estaba expenso a sufrir una descarga en cualquier condición experimentada a pesar de solo experimentar dicha descarga cuando se encontraba sometido a un ambiente húmedo con polvo.

5.1.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA

Tabla 103: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones normales

Prueba aislador tipo retención (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	1,87e-08	1,77e-08	5,56
13,45	9,67e-08	9,14e-08	5,56
22,1	1,60e-07	1,52e-07	5,56

Fuente: Los autores

Tabla 104: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación con polvo.

Prueba aislador tipo retención (seco polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	4,20e-08	3,97e-08	5,49
13,45	2,22e-07	2,10e-07	5,49
22,1	3,68e-07	3,47e-07	5,49

Fuente: Los autores

Tabla 105: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo retención (húmedo polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	4,64e-08	4,38e-08	5,50
13,45	2,46e-07	2,33e-07	5,50
22,1	4,05e-07	3,83e-07	5,50

Fuente: Los autores

Tabla 106: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo retención (seco salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	1,44e-07	1,36e-07	5,64
13,45	7,67e-07	7,24e-07	5,64
22,1	1,27e-06	1,20e-06	5,64

Fuente: Los autores

Tabla 107: Comparación de resultados en aislador tipo retención de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo retención (húmedo salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	9,01e-07	8,52e-07	5,43
13,45	4,76e-06	4,38e-06	7,97
22,1	7,87e-06	7,74e-06	1,64

Fuente: Los autores

Los valores de porcentaje de error varían mucho debido a la ausencia de exactitud del equipo del laboratorio.

Las resistencias de aislamiento varían en cada una de las condiciones ambientales simuladas.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 5.56%
- Contaminación con polvo (seco) : 5.49%
- Contaminación con polvo (húmedo): 5.50%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.64%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.01%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición de contaminación de salinidad con humedad.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición normal.

5.1.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO

Tabla 108: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones normales.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	6,45e-10	6,10e-10	5,43
13,45	3,37e-09	3,18e-09	5,43
22,1	5,53e-09	5,23e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 109: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (seco polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	2,90e-10	2,74e-10	5,43
13,45	1,54e-09	1,45e-09	5,43
22,1	2,54e-09	2,40e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 110: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (húmedo polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	2,54e-10	2,40e-10	5,43
13,45	1,35e-09	1,27e-09	5,43
22,1	2,21e-09	2,09e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 111: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (seco sal)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	2,49e-10	2,35e-10	5,43
13,45	1,37e-09	1,29e-09	5,43
22,1	2,22e-09	2,10e-09	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 112: Comparación de resultados en aislador tipo retención de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo suspensión polímero (húmedo sal)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	7,38e-10	6,98e-10	5,43
13,45	3,91e-09	3,69e-09	5,43
22,1	6,48e-09	6,13e-09	5,43

Fuente: Los autores

La variación de valores de corriente de fuga se debe a la variación de resistencia de aislamiento en cada condición ambiental simulada, de igual manera los valores de porcentaje de error varían por la no exactitud del equipo del laboratorio.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 5.43%
- Contaminación con polvo (seco) : 5.43%
- Contaminación con polvo (húmedo): 5.43%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.43%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.43%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición de salinidad con humedad.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición de contaminación con salinidad; debido a la humedad presente en el ambiente y por la

característica del material, produciendo una variación en la resistencia de aislamiento esperada, que debería ser menor a la resistencia de aislamiento en condiciones normales.

La condición que más estabilidad presentó durante las pruebas, fue la condición de contaminación con salinidad, por presentar menor corriente de fuga.

5.1.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO

Tabla 113: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones normales.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (condiciones normales)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	5,66e-08	5,35e-08	5,51
13,45	3,03e-07	2,87e-07	5,51
22,1	5,02e-07	4,74e-07	5,51

Fuente: Los autores

Tabla 114: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (seco-polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	4,75e-07	4,49e-07	5,43
13,45	2,59e-06	2,45e-06	5,43
22,1	4,20e-06	3,83e-06	8,64

Fuente: Los autores

Tabla 115: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (húmedo-polvo)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	1,05e-03	9,83e-04	6,23
13,45	5,86e-03	5,62e-03	4,13
22,1	9,61e-03	9,45e-03	1,70

Fuente: Los autores

Tabla 116: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (seco-salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	3,65e-08	3,45e-08	5,43
13,45	1,99e-07	1,88e-07	5,43
22,1	3,26e-07	3,08e-07	5,43

Fuente: Los autores

Tabla 117: Comparación de resultados en aislador tipo retención de vidrio en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Prueba aislador tipo retención de vidrio (húmedo-salino)			
Voltaje estimado (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% de error
2,45	1,84e-07	1,74e-07	5,16
13,45	9,49e-07	9,00e-07	5,16
22,1	1,57e-06	1,49e-06	5,16

Fuente: Los autores

La variación de valores de corriente de fuga se debe a la variación de resistencia de aislamiento en cada condición ambiental simulada, de igual manera los valores de porcentaje de error varían por la no exactitud del equipo del laboratorio.

El promedio de porcentajes de error en cada condición ambiental simulada fueron los siguientes:

- Condiciones normales: 5.51%
- Contaminación con polvo (seco) : 6.50%
- Contaminación con polvo (húmedo): 4.02%
- Contaminación con salinidad (seco) : 5.43%
- Contaminación con salinidad (húmedo): 5.16%

La condición que presentó mayor corriente de fuga fue la condición de contaminación de polvo con humedad.

La condición que presentó menor corriente de fuga fue la condición de contaminación de salinidad; debido a la humedad presente en el ambiente y por la

característica del material, produciendo una variación en la resistencia de aislamiento esperada, que debería ser menor a la resistencia de aislamiento en condiciones normales.

La condición que más estabilidad presentó durante las pruebas, fue la condición de contaminación con salinidad, por presentar menor corriente de fuga.

5.1.8 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN

A diferencia de los aisladores tipo pin, los aisladores tipo retención tienen mayor respuesta en cada material evaluado, debido a que tienen una mayor distancia de contorneo lo que dificulta un poco más la descarga hacia tierra.

Ninguno de los aisladores tipo retención experimento una descarga a tierra en cada uno de los escenarios simulados, el aislador que mejor respuesta tuvo, probado en ambiente húmedo, fue el aislador de polímero por su característica de hidrofobia.

En base a los resultados obtenidos se puede analizar que todos los aisladores tipo retención, independientemente de su material, tuvieron una buena respuesta a los escenarios simulados durante las pruebas.

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PRUEBA DE IMPULSO

El laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, cuenta con un arreglo para generar voltajes de impulso de hasta 100KV. Para no forzar el funcionamiento del transformador de prueba del laboratorio, se generará un impulso de aproximadamente 90KV, con el cual se realizarán las pruebas a los distintos tipos de aisladores en cada condición ambiental previamente establecidas.

Para las simulaciones por medio de MATLAB® utilizaremos un valor de voltaje de impulso de 90KV para todos los tipos de aisladores en todas las condiciones ambientales.

5.2.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE PORCELANA

Tabla 118: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones normales.

Aislador porcelana tipo pin (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
101,03	93,41	4,01e-08	3,86e-08	3,72

Fuente: Los autores

Tabla 119: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
101,03	92,06	4,53e-06	4,42e-06	2,391

Fuente: Los autores

Tabla 120: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
101,03	93,9	1,95e-05	1,87e-05	4,011

Fuente: Los autores

Tabla 121: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
101,03	91,81	7,23e-08	7,08e-08	2,063

Fuente: Los autores

Tabla 122: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de porcelana en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
101,03	85	6,75e-08	7,14e-08	5,518

Fuente: Los autores

Dentro de las pruebas realizadas, la única condición a la que fue sometido el aislador y que experimento una descarga a tierra fue la de polvo con humedad.

5.2.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE POLÍMERO

Tabla 123: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones normales.

Aislador tipo pin (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	89,2	3,67e-06	3,70e-06	0,79

Fuente: Los autores

Tabla 124: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	90,95	1,84e-08	1,82e-08	1,15

Fuente: Los autores

Tabla 125: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	92,95	2,11e-08	2,04e-08	3,43

Fuente: Los autores

Tabla 126: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	91,17	8,68e-08	8,57e-08	1,30

Fuente: Los autores

Tabla 127: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de polímero en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	91,1	1,52e-06	1,50e-06	1,44

Fuente: Los autores

El aislador tipo pin de polímero experimentó una descarga a tierra durante las pruebas de impulso en las condiciones de contaminación de humedad (agua) tanto con polvo como con salinidad; esto debido a que el agua presente en el aislador facilita la conducción de tensión por el contorno del aislador hacia tierra.

5.2.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO PIN DE VIDRIO

Tabla 128: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones normales.

Aislador tipo pin (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	90,92	1,29e-04	1,27e-04	1,62

Fuente: Los autores

Tabla 129: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de polvo.

Aislador tipo pin (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	87,69	1,03e-05	1,05e-05	2,09

Fuente: Los autores.

Tabla 130: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de polvo con humedad.

Aislador tipo pin (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	84,29	1,50e-06	1,60e-06	6,31

Fuente: Los autores.

Tabla 131: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de salinidad.

Aislador tipo pin (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	85,76	8,76e-07	9,19e-07	4,71

Fuente: Los autores

Tabla 132: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo pin de vidrio en condiciones de salinidad con humedad.

Aislador tipo pin (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
92,37	63,05	7,64e-06	1,09e-05	29,89

Fuente: Los autores

El aislador tipo pin de vidrio, en todas las condiciones ambientales simuladas sufrió descarga a tierra, debido a su tamaño pequeño, lo que facilito que haya una distancia corta entre línea y tierra.

5.2.4 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO PIN

Los aisladores tipo pin, de porcelana y polímero tuvieron una reacción aceptable (sin sufrir descarga a tierra) frente al impulso generado, a excepción de las condiciones de humedad (tanto con polvo como con salinidad), que facilitaban su descarga hacia tierra.

No así el aislador de vidrio, que debido a su tamaño pequeño sufrió descargas en todas las pruebas realizadas.

5.2.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE PORCELANA

Tabla 133: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones normales.

Aislador tipo retención (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	92,31	6,70e-07	6,53e-07	2,520

Fuente: Los autores

Tabla 134: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación con polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	88,29	1,46e-06	1,48e-06	1,331

Fuente: Los autores

Tabla 135: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	90,69	1,67e-06	1,65e-06	1,098

Fuente: Los autores

Tabla 136: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	90,48	5,18e-06	5,15e-06	0,620

Fuente: Los autores

Tabla 137: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de porcelana, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	89,17	3,16e-05	3,19e-05	0,928

Fuente: Los autores

Este tipo de aislador no sufrió descarga en ninguna de las condiciones ambientales a las que fue sometido.

5.2.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE POLÍMERO

Tabla 138: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones normales.

Aislador tipo retención (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
109,69	89,28	2,23e-08	2,25e-08	0,8

Fuente: Los autores

Tabla 139: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
109,69	88,32	1,01e-08	1,03e-08	1,78

Fuente: Los autores

Tabla 140: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
109,69	87,81	8,78e-09	9,00e-09	2,43

Fuente: Los autores.

Tabla 141: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
109,69	90,39	9,04e-09	9,00e-09	0,43

Fuente: Los autores.

Tabla 142: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de polímero, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
109,69	91,94	2,70e-08	2,64e-08	2,37

Fuente: Los autores

El aislador tipo retención de polímero tampoco presento descarga a tierra, ni siquiera en las condiciones de humedad, debido a la propiedad de hidrofobia del aislador polimérico.

5.2.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN DE VIDRIO

Tabla 143: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones normales.

Aislador tipo retención (condiciones normales)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	89,89	2,04e-06	2,03e-06	0,27

Fuente: Los autores

Tabla 144: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo.

Aislador tipo retención (polvo-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	87,74	1,68e-05	1,72e-05	2,28

Fuente: Los autores

Tabla 145: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de polvo con humedad.

Aislador tipo retención (polvo-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	88,55	3,87e-02	3,90e-02	0,85

Fuente: Los autores

Tabla 146: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad.

Aislador tipo retención (salino-seco)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (KV)	Valor práctico (KV)	Corriente de fuga calculada (A)	Corriente de fuga simulada (A)	% error
72,16	89,69	1,32e-06	1,32e-06	0,08

Fuente: Los autores

Tabla 147: Comparación de resultados de prueba de impulso en aislador tipo retención de vidrio, en condiciones de contaminación de salinidad con humedad.

Aislador tipo retención (salino-húmedo)				
Prueba de impulso				
Valor teórico (kv)	Valor práctico(kv)	Corriente de fuga calculada (a)	Corriente de fuga simulada (a)	%error
72,16	89,19	6,31e-06	6,36e-06	0,82

Fuente: Los autores

Al igual que los otros aisladores de retención, el de vidrio no experimentó descarga a tierra, ya que cuenta al igual que el aislador de porcelana con una distancia de contorneo considerable.

5.2.8 ANÁLISIS EN AISLADORES TIPO RETENCIÓN

Los aisladores de retención, en todos los materiales evaluados (porcelana, polímero y vidrio), y en cada condición ambiental previamente establecida no presento descarga a tierra alguna, debido a que en comparación a los de tipo pin cuentan con mayor distancia de contorneo.

A excepción del aislador de polímero que muestra un valor de impulso de 109.69KV en sus datos técnicos, el resto de aisladores presenta en sus datos técnicos un valor de impulso menor a los 90KV inyectados experimentalmente; a pesar de esto presentan una buena respuesta frente al impulso generado.

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES

Una vez realizadas todas las pruebas establecidas, se puede llegar a las siguientes conclusiones en este estudio:

Se realizaron las pruebas de aislamiento utilizando los circuitos correspondientes a las prácticas de: Generación de voltaje AC (Para las pruebas de voltaje nominal, voltaje máximo) y la práctica generación de voltaje de impulso (para las pruebas de voltajes de impulso); en cada uno de los escenarios o condiciones ambientales establecidos como: Polvo, polvo con humedad, salinidad, salinidad con humedad. Dichas pruebas se realizaron en cada tipo de aislador (tipo pin y tipo retención) para cada material establecido (porcelana, polímero y vidrio).

Se realizó el modelamiento matemático de cada prueba (generación de voltaje AC, generación de voltaje de impulso); para obtener las ecuaciones diferenciales correspondientes, las cuales tienen como principales variables los niveles de tensión V, capacitancias y resistencia de aislamiento que varían de acuerdo al tipo de aislador a utilizar y a la condición de contaminación simulada.

Por medio del Software MATLAB® se resolvieron las ecuaciones diferenciales de cada prueba, para luego contrastar estos valores con los obtenidos en las pruebas prácticas.

Se realizaron las comparaciones de resultados obtenidos durante las prácticas vs. Los resultados de simulación por medio de MATLAB®; obteniendo un porcentaje de error promedio de aproximadamente 10%.

En los aisladores tipo pin, independientemente de cual sea su material, existe una buena respuesta a los niveles de tensión simulados durante las pruebas; esto puede dar apertura a que los aisladores de polímero y vidrio puedan ser utilizados sin ningún tipo de problema en las redes de distribución de media tensión de nuestro país, no estar limitados solo al uso de la porcelana.

Ante las condiciones de contaminación establecidas, como salinidad por ejemplo, se tuvo una buena respuesta en todos los aisladores; quedando demostrado que no necesariamente se debe de utilizar un aislador más grande, si no que inclusive se puede elegir otro tipo de material.

En ciudades donde exista un alto índice de precipitaciones lluviosas, se puede dar apertura a los aisladores de polímero debido a su característica de hidrofobia frente a un ambiente húmedo, garantizando un buen funcionamiento dentro del sistema eléctrico a pesar de la lluvia.

En los aisladores tipo retención, existe mayor apertura, ya que se utilizan en la actualidad aisladores de porcelana y polímero; se ha dejado de utilizar los aisladores de vidrio a pesar de demostrar mediante las pruebas realizadas un funcionamiento óptimo, por lo que fácilmente podría ser utilizado de nuevo en las redes de distribución sin ningún problema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos.* México: Prentice Hall Inc.
2. Csanyi, E. (27 de Enero de 2012). *Electrical Engineering Portal EEP*. Recuperado el 03 de 2015, de http://electrical-engineering-portal.com/
3. Fink, D., Beaty, H., & Carroll, J. (1984). *Manual práctica de electricidad para ingenieros.* Barcelona: Reverté S.A.
4. Gill, P. (2009). *Electrical Power Equipment Maintance And Testing.* Boca Raton: CRC Press.
5. Gonzalez-Longatt, F. M. (Mayo de 2007). *http://fglongatt.org/*.
6. Harper, E. (2015). *El ABC de las instalaciones eléctricas industriales* (2da ed.). México DF: Limusa.
7. LAAP INSULATORS. (s.f.). Catálogo de Productos.
8. Megger. (s.f.). *Sistema de diagnóstico de aislamiento 12KV.*
9. METREL. (s.f.). *Datos tecnicos de comprobador de aislamiento MI3201*.
10. México, U. N. (s.f.). *Formulación del Diagnóstico y el Pronóstico*.
11. National Electrical Manufacturers Association. (s.f.). *NEMA The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers*. Obtenido de http://www.nema.org
12. Renovable, M. d. (03 de Junio de 2011). *Unidades de Propiedad*. Obtenido de http://www.unidadesdepropiedad.com/
13. Rosas, R. M. (2000). *Tecnología Eléctrica.* Barcelona: Edicions UPC.
14. Simón Rodríguez, M. A., & De la Peña, D. (2005). *Análisis de Circuitos Problemas Resueltos.* Madrid: Visión Net.
15. TERCO. (2011). *Modulo de entrenamiento de alto voltaje HV900.*