



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Campuez Gualacata Francisco Javier

Vega Chitupanta Mauro Vinicio

Tutor Académico:

Ing. Guamán Cuenca Wilian Patricio Ms.C.

LATACUNGA – ECUADOR

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **CAMPUEZ GUALACATA FRANCISCO JAVIER** y **VEGA CHITUPANTA MAURO VINICIO** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES”**, siendo el Ing. **GUAMÁN CUENCA WILIAN PATRICIO** el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....
Campuez Gualacata Francisco Javier

CC: 172644727-7

.....
Vega Chitupanta Mauro Vinicio

CC: 172671512-9



AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES”, de los estudiantes **CAMPUEZ GUALACATA FRANCISCO JAVIER** y **VEGA CHITUPANTA MAURO VINICIO**, de la carrera de ingeniería en electricidad, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Validación de proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, septiembre, 2022

El tutor

.....
Ing. Guamán Cuenca Wilian Patricio Ms.C.

C.C. 0603578956



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, los postulantes: **CAMPUEZ GUALACATA FRANCISCO JAVIER**, con cédula de ciudadanía No. **172644727-7**, y **VEGA CHITUPANTA MAURO VINICIO**, con cédula de ciudadanía No. **172671512-9**, con el título de Proyecto de titulación: **CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, septiembre, 2022

Para constancia firman:

.....

Ing. Pesantez Palacios Gabriel Ms.C

CC: 030189388-9

.....

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso Ms.C

CC: 050265642-4

.....

Ing. Edgar Roberto Salazar Achig Ms.C

CC: 0502847619

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud y sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria de la mejor manera, mi mayor agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de ser parte de ella y prepararme para ser un buen profesional.

Gracias a mi familia por su apoyo incondicional, en especial a mi papá por ser mi ejemplo de lucha, esfuerzo y superación, a mi tía por demostrarme que no hay límites para luchar por nuestros sueños y ser quien me impulsa a cumplirlos, a mi padrino por ser parte de este proceso y nunca dejarme solo.

Un agradecimiento muy profundo al Ing. Wilian Guamán por su paciencia, dedicación, por compartir sus conocimientos que han sido fundamentales para culminar esta etapa.

Vega Mauro

AGRADECIMIENTO

En primera estancia, agradezco a Dios por ser mi pilar fundamental para no decaer y finalizar este proceso, en lo cual ha guiado mi camino día tras día siendo luz que alimenta mi fe.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme apertura de ser parte de ella, entregándome buenos amigos, y grandes docentes con amplio conocimiento en el área y sobre todo por permitirme formarme para ser un buen profesional.

Gracias a mis padres quienes fueron los que siempre me apoyaron para lograr este objetivo, tras sus consejos, sus reproches, pero con el fin de siempre verme en lo alto, porque siempre confiaron en mí, siempre estando a mi lado demostrando que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A mis hermano/as por estar siempre conmigo y ser mi parte de mi motivación, a mis primos, tíos, amigos y pareja quienes me apoyaron con mensajes de aliento y siempre me incitaron a ser mejor persona.

Finalmente, un gran agradecimiento al Ing. Wilian Guamán por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, por su paciencia prestada, su dedicación, por compartir sus conocimientos los cuales fueron fundamentales para culminar este proceso académico.

Campuez Francisco

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por ser quienes han estado incondicionalmente apoyándome en mi etapa universitaria y todos los ámbitos de mi vida, a mi abuelita por ser mi motor para seguir adelante, a Dios por haberme regalado una maravillosa familia y dejarme disfrutar de este triunfo con ellos.

A mi hermana Emma quien es mi mayor tesoro, por quien me esfuerzo en ser una mejor persona y brindarle mi apoyo, mi sueño se cumple y aspiro poder compartir muchos sueños juntos.

Mauro Vega

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por brindarme sabiduría, entendimiento y fortaleza para el desarrollo de este trabajo de titulación.

A mis padres por ser el pilar de mi vida dándome la posibilidad de cumplir mi sueño de ser profesional, gracias a ello he logrado culminar mi carrera universitaria con éxito.

A mis abuelitos y primo que desde el cielo velan por mi bien, en especial a mi abuelito Gonzalo quien fue el que me pidió que siga con mis estudios y gracias a su ayuda nunca desanime mi objetivo.

Campuez Francisco

ÍNDICE

1	INFORMACIÓN GENERAL	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	EL PROBLEMA	2
2.1.1	Situación Problémica	2
2.1.2	Formulación del problema:.....	4
2.2	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	4
2.3	BENEFICIARIOS	4
2.3.1	Beneficiarios directos	4
2.3.2	Beneficiarios indirectos	4
2.4	JUSTIFICACIÓN.....	4
2.5	HIPÓTESIS	5
2.6	OBJETIVOS:	6
2.6.1	General.....	6
2.6.2	Específicos	6
2.7	SISTEMA DE TAREAS.....	7
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
3.1	ANTECEDENTES.....	9
3.2	FUNDAMENTOS DE AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS	13
3.2.1	Tipos De Aislamientos Eléctricos.....	15
3.2.2	Aislamiento En Gases	16
3.2.3	Aislamiento en Líquidos.....	18
3.2.4	Aislamientos Sólido.....	20
3.3	SOBRETENSIONES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	23

3.3.1	Origen y Clasificación	25
3.3.2	Sobretensiones Temporales	26
3.3.3	Sobretensiones Transitorias	29
4	METODOLOGÍA.....	32
4.1	GESTIÓN DE TAREAS	32
4.2	DATOS Y CONSIDERACIONES DEL SITIO DE ESTUDIO	33
4.2.1	Información geográfica y ambiental	33
4.2.2	Información técnica	34
4.2.3	Materiales principales y sus características	34
4.2.4	Equipos adicionales para el caso de estudio	35
4.3	PROBABILIDAD DE FALLAS POR SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS.....	36
4.4	ENSAYOS DE AISLAMIENTO EN LABORATORIO.....	41
4.4.1	Ensayos en Aisladores	41
4.4.2	Ensayos en Transformadores	43
4.4.3	Ensayos en Cables Eléctricos	49
4.5	MODELADO DE AISLAMIENTO	53
4.5.1	Modelado de aisladores	53
4.5.2	Modelado en transformadores	55
4.5.3	Modelado de Cables.....	58
4.5.4	Modelado de postes	60
4.5.5	Modelado de Crucetas	61
4.5.6	Modelado de descargadores.....	63
4.6	COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	65
4.6.1	Aislamiento interno.....	66
4.6.2	Aislamiento externo	67

4.6.3	Selección del Nivel de Aislamiento Normalizado	69
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74
5.1	ANÁLISIS EN AISLADORES	74
5.1.1	Modelo de pruebas ante sobretensiones temporales	74
5.1.2	Modelo de pruebas ante sobretensiones transitorias	83
5.2	ANÁLISIS EN TRANSFORMADORES	86
5.2.1	Resistencia de aislamiento en transformadores de distribución	87
5.2.2	Modelado de Transformadores	89
5.3	ANÁLISIS EN CABLES	97
5.4	ANÁLISIS DE CASO DE ESTUDIO	101
5.4.1	Operación Ante Sobretensión de Tipo Maniobra	101
5.4.2	Operación ante Sobretensión Atmosférica	108
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
6.1	CONCLUSIONES	112
6.2	RECOMENDACIONES	113
7	REFERENCIAS	114
8	ANEXOS	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Campo eléctrico producido por una carga puntual [15].....	13
Figura 3.2. Campo eléctrico cilíndrico en un cable [30].	14
Figura 3.3. Característica de resistencia del aislamiento para aislamiento regenerativo y no auto regenerativo [17].....	16
Figura 3.4. Evolución de corriente en un gas en función de la tensión aplicada [15].	17
Figura 3.5. Relación entre la humedad de diferentes líquidos aislantes y la celulosa, referidas a 20°C [15].	19
Figura 3.6. Mecanismo de ruptura en un aislamiento sólido [15].	21
Figura 3.7. Característica de pérdida de rigidez dieléctrica por envejecimiento [15].	22
Figura 3.8. Evolución estadística de la tasa de fallos/año en el tiempo [15].	22
Figura 3.9. Sobretensiones temporales y transitorias [20].	23
Figura 3.10. Representación de ondas de sobretensiones en comparación con la onda de tensión nominal [16].	25
Figura 3.11. Formación de sobretensión atmosférica según el tipo de nube [24].	31
Figura 4.1. Mapa del nivel cerámico en Ecuador [19].	38
Figura 4.2. Geometría de un poste de hormigón [18].....	61
Figura 4.3. Cruceta de tipo universal para línea de 13.8 kV [32].....	62
Figura 4.4. Curva de tensión – tiempo [27].	66
Figura 4.5. Factor de Lluvia. mm/minuto.....	71
Figura 5.1. Modelo general del aislador a frecuencia industrial.	75
Figura 5.2. Módulo de conexión y prueba para aisladores en condición de frecuencia industrial.	77
Figura 5.3. Comportamiento del aislador en condiciones normales.	77
Figura 5.4. Comportamiento del aislador bajo condiciones de una sobretensión de tipo maniobra.	78
Figura 5.5. Variación entre valores calculados y simulados.	79
Figura 5.6. Variación CFO del resultado de laboratorio vs valores estándares según condiciones secas y húmedas.	81
Figura 5.7. Modelo general del aislador ante altas frecuencias.....	83
Figura 5.8. Módulo de conexión y prueba para aisladores en condiciones de altas frecuencias.	84

Figura 5.9. Medidores de aislamiento Fluke 1555 y 1550C.	87
Figura 5.10. Modelado de un transformador monofásico referido al lado de 22860 V.	91
Figura 5.11. Modelado de un transformador monofásico referido al lado de 240 V.	91
Figura 5.12. Voltaje pico de entrada y salida del transformador 25 kVA.	92
Figura 5.13. Módulo de conexión del transformador de 25 kVA.	93
Figura 5.14. Corriente de energización en el transformador de 25kVA.	94
Figura 5.15. Modelo de transformador Pad Mounted de 2kVA.	95
Figura 5.16. Voltaje de entrada (verde) y salida (azul) del transformador Pad Mounted 2kVA.	96
Figura 5.17. Corrientes Inrush trifásicas presentes en el transformador Pad Mounted.	97
Figura 5.18. Modelado del límite térmico del cable cobre XLPE 15kV.	99
Figura 5.19. Límite térmico en los cables XLPE aluminio de 1 kV.	101
Figura 5.20. Comportamiento en aisladores.	102
Figura 5.21. Comportamiento en la cruceta (a) y el poste (b).	102
Figura 5.22. Corrientes en los fusibles de protección 5K.	103
Figura 5.23. Voltaje en los terminales del transformador trifásico sin carga.	103
Figura 5.24. Voltaje en los descargadores PDV modelo IEEE.	104
Figura 5.25. Comportamiento en aisladores para una sobretensión tipo maniobra con carga. ...	105
Figura 5.26. Comportamiento en la cruceta (a) y el poste (b).	106
Figura 5.27. Corrientes en los fusibles de protección 5K.	106
Figura 5.28. Comportamiento en el descargador modelo IEEE.	107
Figura 5.29. Voltaje en las cargas de la salida del transformador de 300 kVA.	107
Figura 5.30. Voltaje de salida en el transformador de 15 kVA.	108
Figura 5.31. Comportamiento del aislador ante una sobretensión atmosférica.	109
Figura 5.32. Comportamiento de la cruceta (azul) y el poste (rojo).	109
Figura 5.33. Comportamiento del descargador ante una sobretensión atmosférica.	110
Figura 5.34. Comportamiento del transformador trifásico ante una sobretensión atmosférica.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Propiedades de materiales dieléctricos [16].	15
Tabla 3.2. Puntos mínimos de la ley de Paschen para distintos gases [15].	17
Tabla 3.3. Contenido de agua, concentración de acidez y rigidez dieléctrica de un transformador en función de los años en servicio [15].	20
Tabla 3.4. Rangos de frecuencia y el origen del transitorio electromagnético [16].	24
Tabla 3.5. Clasificación de sobretensiones según su tipo [21].	26
Tabla 3.6. Valores de frecuencia de factor de defecto a tierra [15].	28
Tabla 3.7. Características de sobretensiones de frente lento [24].	30
Tabla 4.1. Tipos y clases de los aisladores [36].	35
Tabla 4.2. Tipos de transformadores de potencia [37].	35
Tabla 4.3. Elementos y sus características usadas en el caso de estudio.	36
Tabla 4.4. Límite de índice de polaridad [45].	44
Tabla 4.5. Nivel de absorción dieléctrica [45].	45
Tabla 4.6. Resistencia de aislamiento mínima recomendada valores a 40 °C (todos los valores en MΩ) [46].	45
Tabla 4.7. Criterio de aceptación para límites de prueba para aceite mineral en servicio [49]. ...	49
Tabla 4.8. Criterio de aceptación para límites de prueba para aceite mineral nuevo recibido[49].	49
Tabla 4.9. Límite de índice de polarización [52].	51
Tabla 4.10. Nivel de absorción dieléctrica [52].	51
Tabla 4.11. Factor de comportamiento de la línea ante una descarga eléctrica [29].	67
Tabla 4.12. Factor de contaminación ambiental [33].	70
Tabla 4.13. Tensiones soportadas estándar para Clase I ($15 \text{ kV} \leq V_m \leq 242 \text{ kV}$) [30].	72
Tabla 5.1. Datos característicos de los aisladores analizados.	76
Tabla 5.2. Tensión crítica de flameo para diferentes tipos de aisladores	79
Tabla 5.3. CFO en aisladores nuevos y usados ante condiciones seca y húmeda.	80
Tabla 5.4. CFO de aisladores bajo condiciones de contaminación y bajas temperaturas.	82
Tabla 5.5. CFO resultantes en fuentes de sobretensiones transitorias parte 1.	85
Tabla 5.6. CFO resultantes en fuentes de sobretensiones transitorias parte 2.	86
Tabla 5.7. Voltaje y tiempo aplicado al equipo de medición para los transformadores.	88

Tabla 5.8. Resistencia de aislamiento en transformadores de laboratorio y criterio de aceptación.	88
Tabla 5.9. Datos calculados para el modelado de transformadores en ATPDraw.	90
Tabla 5.10. Datos de la carga para cada modelo de transformador.	90
Tabla 5.11. Corriente de energización en los transformadores puesto en prueba en laboratorio.	94
Tabla 5.12. Resultados de relación de transformación obtenidos en el transformador PAD MOUNTED.	95
Tabla 5.13. Datos de análisis en cables.	98
Tabla 5.14. Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento en cable XLPE.	98
Tabla 5.15. Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento en el cable XLPE aluminio de 1 kV.	100

RESUMEN

TÍTULO: “CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES”.

Autores:

Campuez Gualacata Francisco Javier

Vega Chitupanta Mauro Vinicio

En este proyecto de investigación, se caracteriza el aislamiento eléctrico en los sistemas de distribución para evaluar las sobretensiones de maniobra (SOV) y descargas atmosféricas (LOV) que podrían producirse por eventos internos o externos en la red mediante recopilación de los resultados obtenidos a través de ensayos realizados en el laboratorio de Alto Voltaje F-CIYA, para luego desarrollar la simulación en el software ATPDraw considerando las condiciones atmosféricas del lugar de estudio. Además, se evalúan las amplitudes de las sobretensiones bajo diferentes escenarios de operación y se las comparará con los niveles referenciales del aislamiento y datos obtenidos en los ensayos. Para la investigación se han tomado una muestra de seis aisladores, cuatro transformadores y dos cables, disponibles en el laboratorio de alto voltaje F-CIYA, como técnica principal se utilizaron registros de pruebas considerando los procedimientos y criterios de aceptabilidad definidos por la normativa de IEEE o IEC. Los resultados obtenidos permitieron verificar que todos aisladores cumplieron con los criterios de aceptación en base a la norma ANSI/IEEE Std 4-1978. En los transformadores, uno de cuatro cumplió con los aspectos técnicos según la norma IEEE Std 43-2013. Finalmente, en los cables se observó un comportamiento correcto tanto del XLPE preensamblado de 1kV, como del XLPE polietileno reticulado de 15kV donde cumplieron con los criterios de aceptación según la norma IEEE Std 141-1993 en ensayos iniciales.

Palabras clave: Aislamiento, Modelado, Ensayos, Sistema de Distribución

ABSTRACT

TITLE: "CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL INSULATION ON DISTRIBUTION SYSTEMS: MODELS AND APPLICATIONS".

Authors:

Campuez Gualacata Francisco Javier

Vega Chitupanta Mauro Vinicio

At this research project, it characterizes the electrical insulation on distribution systems to evaluate switching overvoltages (SOV) and lightning surges (LOV) that could be produced by internal or external events on network by compiling obtained results through performed tests at High Voltage laboratory F-CIYA, and then develop the simulation in the ATPDraw software considering atmospheric conditions of the study area. In addition, amplitudes of the overvoltages are evaluated under different operation scenarios and compared with reference levels of insulation and obtained data on the tests. For investigation, a sample of six insulators, four transformers, and two cables, available at F-CIYA high voltage laboratory, were taken as primary technique, using test records considering procedures and acceptability criteria defined by IEEE or IEC standards. The results verified that all insulators met acceptance criteria based on ANSI/IEEE Std 4-1978 standard. At the transformers, one out of four complied with the technical aspects, according to IEEE Std 43-2013. Finally, in the cables, the 1kV pre-assembled XLPE and the 15kV cross-linked polyethylene XLPE performed correctly and met the acceptance criteria according to IEEE Std 141-1993 in initial tests.

Keywords: Insulation, Modeling, Testing, Distribution System.

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título: CARACTERIZACIÓN DEL AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN: MODELOS Y APLICACIONES

Fecha de inicio: abril 2022

Fecha de finalización: agosto 2022

Lugar de ejecución: Laboratorio de alto voltaje en la Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Proyecto Macro Asociado: Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

Equipo de Trabajo:

Grupo de Investigación: Sistemas Eléctricos de Potencia

Tutor de Titulación: Ing. Ms.C. Wilian Guamán

Estudiantes: Campuez Gualacata Francisco Javier
Vega Chitupanta Mauro Vinicio

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Sublínea 1: Explotación y diseño de Sistemas eléctricos de potencia

Grupos Temáticos:

1. Diseño de alto voltaje.
2. Protecciones eléctricas.
3. Sistemas de Transmisión y Distribución de energía.

2 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan las bases en las cuales se va a desarrollar la investigación de caracterización de los aislamientos en sistemas de distribución. Iniciando en la Sección 2.1 se plantea el problema que se tiene en consideración para el desarrollo del estudio. En las Secciones 2.2 y 2.3 se expone el campo de acción y los beneficiarios directos e indirectos de esta investigación. En la Sección 2.4 se presentan las razones principales de la necesidad de un estudio de investigación de este tipo y teniendo más claro el panorama del proyecto de investigación en la Sección 2.5 se plantea la hipótesis sobre el tema. Por último, en las Secciones 2.6 y 2.7 se presentan los objetivos y el sistema de tareas correspondientemente que se debe seguir para cumplir con la caracterización de los aislamientos.

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problémica

La caracterización de los aislamientos permite identificar el estado en el que se encuentran los elementos y establecer posibles fallas que se dan al momento de poner en marcha un sistema eléctrico [1]. Las instalaciones eléctricas están en todo momento sujetas a variables que influyen en su correcto funcionamiento sobre todo si se habla de su nivel de aislamiento, ya que a medida que incrementa el tiempo de uso del componente aumenta el número de problemas, dichos inconvenientes se dan por parte de varios factores (golpes y roturas en los aislantes, temperatura y humedad, polvo y suciedad, sobretensiones, sobrecorrientes, descargas atmosféricas), los daños de aislamiento se dan de forma lenta y silenciosa, manifestándose cuando el daño ya es lo suficientemente grave como para causar peligrosos y costosos accidentes en su instalación.

Generalmente, las fallas de aislamiento eléctrico se presentan por varias anomalías que alteran el funcionamiento idóneo, por ejemplo, si el aislador de porcelana se fabrica a bajas temperaturas, lo hará poroso, y por esta razón absorberá la humedad del aire, por lo tanto, su aislamiento disminuirá y la corriente de fuga comenzará a fluir a través del aislador, lo que conducirá a dicha falla [2].

El deterioro causado por factores ambientales en la región sierra del Ecuador tiende a ser más propenso debido a que es una zona muy fluvial de esta manera se crean varios factores que interfieren con el aislamiento, por ejemplo, el arco eléctrico o arco voltaico relámpagos ya que es un tipo de descarga eléctrica continua que crea ondas de presión e intensos calores, formada entre dos electrodos en una atmósfera de gas a baja presión o al viento independiente. El arco podría ser iniciado por impurezas y polvo en las zonas de aislamiento, corrosión en los equipos, caídas de herramientas, fallas de materiales aislantes, entre otros, el relámpago que se observa en un día de tormenta, es un ejemplo de un arco eléctrico que se produce en la naturaleza, este fenómeno emite grandes cantidades de luz y cuando se produce en un entorno gaseoso produce su característico estruendo audible [3].

Por otra parte, las descargas atmosféricas sobre un elemento aislante del sistema eléctrico se dan al impactar contra la línea de distribución esto crea corrientes de gran escala que incrementan en unos pocos microsegundos se muestran corrientes pico entre 20 kA y 200 kA, aunque estas últimas resultan muy raras. Para el comportamiento del sistema entre la descarga es fundamental la tasa de crecimiento de la corriente perteneciente del relámpago. Se suele suponer en los cálculos que la corriente se incrementa linealmente a partir de cero hasta el costo pico a modo de rampa, con un definido tiempo de duración (tiempo de frente, o de cresta), que se estabiliza un momento en el costo pico y después decrece más muy lento hasta volver a cero [4].

En el “Informe anual de la calidad del aire en Quito” correspondiente al año 2006, se determinó que el mayor problema de contaminación atmosférica se atribuye a las emisiones de material particulado fino ($PM_{2,5}$) o partículas sedimentables. Estas últimas excedieron el límite permisible de la norma ecuatoriana de calidad del aire casi todos los meses del año en, al menos, una de las estaciones de monitoreo [5], por ende, en el Ecuador la contaminación por industrias, máquinas emisoras de smog son de gran auge debido a que existe bastante explotación de recursos y tratamiento de materia prima, estas actividades implican un flujo alto de autos que se incrementa las partículas contaminantes en el viento. Esto, sumado a las industrias químicas, de procesamiento de minerales, las fumigaciones aéreas efectuadas en las plantaciones, hacen incrementar la proporción de contaminantes presentes naturalmente en el viento, este tipo de contaminantes son los que disminuyen el funcionamiento correcto a los materiales aislantes e incluso dejándolos inservibles para su trabajo. En general los factores ambientales, la escasa realización de pruebas en

función a sus características nominales, limita su información e implementación en los ámbitos de coordinación de aisladores o protecciones.

2.1.2 Formulación del problema:

Las sobretensiones en redes de distribución, la contaminación y la humedad deterioran el aislamiento eléctrico y aumentan el riesgo de falla de los sistemas donde la selección del aislamiento se fundamenta generalmente en el catálogo de Unidades de Propiedad del MEER.

2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

El objeto de estudio son los sistemas de distribución.

El campo de acción para el proyecto: 330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.99 Transmisión y Distribución.

2.3 BENEFICIARIOS

2.3.1 Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos de este proyecto de investigación, son estudiantes y docentes que estén cursando materias relacionadas con sistemas de distribución y alto voltaje a lo largo de su formación académica.

2.3.2 Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son estudiantes, profesionales y autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi o estudiantes de otras carreras y externos que se involucren en ensayos de aislamiento en el laboratorio de Alto Voltaje.

2.4 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto forma parte del proyecto macro formativo titulado: “Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional” de la carrera de Electricidad, por lo cual analizar las caracterizaciones de aislamientos mediante modelado de aislamiento de sistemas de distribución cumplen una función esencial dentro del

sistema de seguridad eléctrica. La ausencia de uno de estos materiales en determinadas instalaciones, repercute en la actividad de distintas operaciones y puede generar fallos severos.

Desde la perspectiva académica, caracterizar materiales utilizados en distribución eléctrica en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi permitirá comprender el comportamiento del aislamiento ante a sobretensiones de frente lento, rápido y muy rápido, de tipo maniobra o atmosférica. Mediante la aplicación de normas para ensayos de aislamiento se corrobora con el comportamiento que se obtendrá en el modelado del software ATPDraw, ya que para este análisis se tienen en cuenta los resultados obtenidos en la simulación lo cual permite evaluar futuros inconvenientes al momento de diseñar nuevas líneas de distribución o al realizar mantenimientos.

En el ámbito profesional, el ingeniero eléctrico debe estar en capacidad de realizar ensayos de rigidez dieléctrica del aceite, resistencia de aislamiento, ruptura dieléctrica, entre otros. Luego, para simular el comportamiento del aislamiento se debe utilizar software especializado para estudios en régimen transitorio, en este caso ATPDraw.

Finalmente, desde el punto de vista práctico, el aislamiento generalmente ha sido seleccionado en sistemas de distribución de Ecuador, utilizando como referencia el catálogo de unidades de propiedad del MEER. Sin embargo, no se han realizado estudios en régimen transitorio que modelen las características del aislamiento y evalúen el comportamiento del mismo ante eventos que produzcan sobretensiones.

2.5 HIPÓTESIS

¿El modelo de aislamientos en equipos de distribución, permite verificar la correcta selección del nivel básico de aislamiento?

2.6 OBJETIVOS:

2.6.1 General

Caracterizar el aislamiento eléctrico de sistemas de distribución mediante ensayos de laboratorio y simulación en el software ATPDraw para la adecuada selección de material y elementos aislantes.

2.6.2 Específicos

- Investigar las técnicas de ensayos de aislamiento eléctrico utilizadas en sistemas de distribución, tomando como referencia las normativas y regulaciones obtenidas en función de la revisión sistemática de la literatura.
- Modelar el aislamiento eléctrico de los elementos utilizados en sistemas de distribución de energía eléctrica, utilizando el software ATPDraw y ensayos de laboratorio.
- Aplicar modelos de aislamiento eléctrico para simular sistemas de distribución sometidos a sobretensiones, tomando como caso de estudio un tramo de red de media tensión de ELEPCO S.A.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> - Investigar las técnicas de ensayos de aislamiento eléctrico utilizadas en sistemas de distribución, tomando como referencia las normativas y regulaciones obtenidas en función de la revisión sistemática de la literatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de normas existentes para poder modelar los sistemas de aisladores existentes, en los sistemas de distribución. - Revisión de trabajos sobre aplicación de normas aisladores y componentes existentes de sistemas de distribución. 	<ul style="list-style-type: none"> - Antecedentes del trabajo de titulación. - Listas de características de los elementos y equipos usados en sistemas de distribución. - Criterios de aceptación para la elaboración de ensayos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Páginas web, con información respaldable al tema. - Catálogos de aisladores, cable XLPE, tipos de aceites dieléctricos, etc. - Normas según la IEEE, IEC, NETA
<ul style="list-style-type: none"> - Modelar el aislamiento eléctrico de los elementos utilizados en sistemas de distribución de energía eléctrica, 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de ensayos en laboratorio del aislamiento eléctrico de sistemas de distribución. - Aplicación de un software para modelar los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> - Archivo ejecutable en formato ACP para la versión 7.2p10 de ATPDraw. - Archivos en Excel de registros de pruebas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos proporcionados por Subsecretaría de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica - Software ATPDraw.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

<p>utilizando el software ATPDraw y ensayos de laboratorio.</p>	<p>y sistemas de distribución.</p>	<p>- Archivos en Excel con los cálculos para aisladores y transformadores.</p>	<p>- Página web https://www.unidad.espropiedad.com/ - Excel</p>
<p>- Aplicar modelos de aislamiento eléctrico para simular sistemas de distribución sometidos a sobretensiones , tomando como caso de estudio un tramo de red de media tensión de ELEPCO S.A.</p>	<p>- Validación del comportamiento de los equipos de distribución ante sobretensiones. - Construcción de un caso de estudio a partir de un tramo de red de distribución de media tensión. - Comparación de los resultados obtenidos, datos de fábrica y resultados simulados.</p>	<p>- Archivo ACP de casos de estudio relacionados con el componente de sistemas de distribución. - Gráficas comparativas de los resultados obtenidos.</p>	<p>- Microsoft Word - Microsoft Excel - Software ATPDraw</p>

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se presentan bases teóricas para el desarrollo de caracterizaciones en aislamientos eléctricos, en la Sección 3.1 se presentan los hechos que se ha producido en el pasado (antecedentes) y tienen relación con el tema, destacando sus aspectos más importantes en el transcurso del tiempo, en la Sección 3.2 se presenta los fundamentos de aislamientos eléctricos los cuales se clasifican en sólido líquido y gaseoso, luego, en la Sección 3.3 se dan a conocer las sobretensiones en sistemas de distribución, su origen y clasificación siendo sobretensiones temporales y transitorias, finalmente en la Sección 4.6 se muestra la coordinación de aislamiento sea interno o externo.

3.1 ANTECEDENTES

Los materiales aislantes se caracterizan por su alta oposición al paso de la corriente eléctrica, es decir presentan una elevada resistencia, su deterioro progresivo es la principal causa de fuga de corriente de los hilos conductores, es decir, la principal culpable de que la energía abandone su circuito normal, por lo cual cumplen una función importante dentro de los sistemas de seguridad eléctrica, una mala condición en los aislamientos pueden crear incendios o fallas de gran amplitud, por esto, una vez que se habla de aislamientos eléctricos también se habla de seguridad eléctrica, puesto que son términos que van de la mano y representan la rigidez dieléctrica esencial para el óptimo servicio.

El trabajo desarrollado por Correa y Velilla [6], menciona que los equipos e instalaciones eléctricas, son sometidos a sobretensiones que pueden afectar a su aislamiento y provocar un fallo o una avería ya que una sobretensión es una sollicitación variable en el tiempo cuyo valor máximo puede ser superior al valor de cresta de la tensión nominal del sistema en el que se origina que las sobretensiones en una red eléctrica puede ser consecuencia de una falta, una de tipo maniobra o una descarga atmosférica de la misma manera menciona, que la suciedad de los aisladores eléctricos en servicio expuestos a la atmósfera constituyen un gran inconveniente para el sector eléctrico, debido a que en la superficie se deposita material de naturaleza orgánica e inorgánica, formando una capa que en presencia de humedad puede volverse conductora produciendo diferentes fenómenos que podrían deteriorar las propiedades aislantes del elemento y finalmente

conducir a la ruptura del mismo, afectando principalmente el suministro de la energía eléctrica. Actualmente se encuentra en fase de desarrollo un método que consiste en la aplicación de una película de dióxido de titanio para minimizar la acumulación de suciedad en los aisladores de porcelana sin afectar las propiedades eléctricas de los mismos de esa manera poder evaluar el desempeño de los aislamientos sea de (una y dos capas) de dicha película en aisladores de porcelana, para lo cual se realizaron pruebas de adherencia, ángulo de contacto, corriente de fuga, tensión de flameo en seco y ensayos de erosión en laboratorio finalmente, se evaluó el desempeño en aisladores en servicio en una torre de transmisión de energía. También realizaron ensayos utilizando el método de la gota normalizado por la ASTM C813. Las superficies hidrofílicas atraen el agua, formando una película continua en la superficie, que fácilmente fluye por la misma removiendo y llevando consigo el polvo y la suciedad [1].

Por otra parte, en el trabajo [7], desarrolla una evaluación del desempeño de aisladores de porcelana recubiertos, para ello realizaron pruebas eléctricas de los aisladores sin recubrir y con recubrimientos de una y dos capas sometiendo a pruebas de tensión de flameo en seco a frecuencia industrial y de corrientes de fuga bajo norma NTC 1285, manteniendo las mismas condiciones de humedad relativa (~83%) y de temperatura (~23°C). Estas pruebas se realizaron para asegurar que los recubrimientos no afectarán las propiedades eléctricas de los aisladores, lo cual era un requisito indispensable para instalarlos en la torre energizada para su evaluación en campo.

En [8], se menciona que el rayo puede dar lugar a la aparición de sobretensiones en las instalaciones eléctricas ya que uno de los mecanismos es la caída directa sobre una línea o instalación de alta tensión o por inducción cuando el rayo cae próximo a ella. El primer mecanismo es prácticamente el único que tiene influencia sobre las instalaciones de tensión nominal superior o igual a 132 kV, el rayo en el momento de su impacto con el suelo alcanza aproximadamente la décima parte de la velocidad de la luz y con una intensidad de descarga principal entre 1 y 200 kA. Para ello realizaron ensayos utilizando la normativa IEC 60060-1 [9], con el propósito de comprobar si los materiales eléctricos soportan las sobretensiones del sistema.

En el año 2017 Arroyo Fernández en [10], realizó un estudio comparativo de dos tipos de aislamiento sólido de transformadores las muestras de papel se impregnaron con dos fluidos diferentes, a saber, un fluido de éster dieléctrico sintético, (Midel 7131, es el fluido menos inflamable para fines dieléctricos), y un aceite mineral sintetizado, Luminol Tri. Los papeles

impregnados fueron sometidos a un envejecimiento acelerado a 150°C, temperatura superior a las temperaturas que se encuentran dentro de los transformadores, por períodos prolongados. Los resultados muestran que, para las primeras horas de envejecimiento, la despolimerización de la celulosa fue similar para los cuatro casos estudiados. En un punto específico, las muestras de papel envejecidas en el fluido éster exhibieron una despolimerización menor que supera las 8000 horas de envejecimiento sin alcanzar el grado de polimerización nivelado (LODP). Se observó una tendencia similar a través de la disminución de las propiedades mecánicas de los papeles en el aceite a base de éster. Sin embargo, la diferencia de desempeño de ambos fluidos se amplifica debido a la temperatura utilizada a temperaturas más bajas la diferencia debería ser menor. Adicionalmente, se obtuvo una relación entre el grado de polimerización y las propiedades mecánicas a las que se accede mediante el ensayo de tracción independientemente del tipo de papel o aceite. La acidez total en el fluido de éster fue mayor que en el aceite mineral. El metanol, un marcador químico que está estrechamente relacionado con la y mostró una sensibilidad parcial al envejecimiento de la celulosa en el fluido éster. fue monitoreado durante el envejecimiento y se encontró que su concentración es sensible a la despolimerización junto con la disminución de las propiedades mecánicas de los papeles de celulosa independientemente del tipo de papel. Más importante aún, se encontró que su concentración dependía del tipo de aceite y menciona que se necesitan más investigaciones para confirmar aún más la importancia del furano como indicador indirecto del rendimiento mecánico junto con su correlación con la despolimerización del papel envejecido en éster.

En 2018 Byron Tapia y Diego Criollo [11], desarrollaron ensayos de disruptivas en dispositivos de media tensión utilizando las esferas espirométricas, realizando diferentes tipos de fallas a los dispositivos eléctricos para el ensayo también menciona que las esferas construidas generan un tren de impulsos que alimentan al transformador, el mismo elevando la tensión a la salida, y de esta manera ioniza el medio, permitiendo romper la resistencia del aire y generando las descarga parcial del circuito. Las esferas están ligadas a los ensayos del BIL o NBA ya que se pueden dañar fácilmente, por eso resulta necesario la construcción de un sistema actualizado para el nuevo funcionamiento de esta. El sistema debe de garantizar un acceso a los elementos comunes del mercado y sobre todo actualizados. Garantizando el correcto funcionamiento y minimizando costos de materiales.

En [12] cita que, la instalación eléctrica de medio y alto voltaje en el cual los elementos que forman la misma están energizados a diferentes potenciales eléctricos y ocasionalmente sometidos a mayores voltajes por cortos períodos de tiempo. Cada uno de estos elementos cumple requisitos eléctricos y mecánicos diseñados para tolerar los esfuerzos eléctricos a que serán sometidos, uno de estos se llama rigidez dieléctrica del aislamiento, que se cuantifica a través del nivel de aislamiento y se expresa en magnitudes de potencial eléctrico, sujetos a restricciones normalizadas, ya sea individualmente o en conjunto, razón por la cual una de las partes de estudio en la etapa de diseño de subestaciones eléctricas, es determinar, los niveles de aislamiento de la instalación y de los equipos, de entre varios valores normalizados, este es un procedimiento llamado coordinación de aislamiento y que permite a la instalación eléctrica estar preparada para recibir sobrevoltajes atmosféricos, de maniobra de interruptores y de frecuencia industrial que pueden ocurrir dentro y fuera de la instalación eléctrica, pero limitados por equipos de protección.

En el año 2020 Frías y Sánchez [13], realiza estudios de las características dieléctricas propias de las crucetas fabricadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), Mediante ensayos acogidos bajo la norma IEC 60070 se determinó las cargas parciales con señales muestrales que luego son mediante el software. Otra prueba realizada es aquella en la que se aplican impulsos tipo rayo sobre las crucetas, en condiciones ambientales, secas y de humedad. Posteriormente, se compararon entre sí los efectos producidos sobre las crucetas. También realizó pruebas para obtener los valores de rigidez dieléctrica de dos tipos de compuestos diferentes en PRFV. Para realizar esas pruebas se utilizó el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

En el trabajo del año 2021 desarrollado por Cotto M y Zaida Y en [14], se presentó un análisis del nivel de aislamiento utilizados en sistemas de distribución y subtransmisión aéreas mediante el Software ATPDraw presentando un análisis de los sistemas de aislamiento utilizados para distribución aérea en media tensión y subtransmisión, utilizando como casos de estudio 13,8 kV para distribución y 69 kV para subtransmisión, en líneas aéreas ubicadas a nivel del mar (10 msnm) como a 2500 msnm. Para ello se presenta el modelado de cadenas formadas por aisladores de porcelana tipo discos clase ANSI 52-1 y clase ANSI 52-3, así como también aisladores tipo pin clase ANSI 55-5, el doble pin 56 -1, tipo line post ANSI 57-6, polímero DS – 69. con ello realizó simulación de sobretensiones transitorias de tipo atmosféricas por impacto directo de rayos sobre

las fases de una línea o de voltajes inducidos por impactos de rayos a distancias cercanas a las líneas se realiza mediante una fuente tipo pulso (Heidler) definida por un tiempo de frente de onda de $8\mu s$ y un tiempo de cola de $20\mu s$ [14].

3.2 FUNDAMENTOS DE AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS

Los materiales aislantes o dieléctricos son sustancias que tienen una baja conductividad eléctrica, los cuales dependen principalmente de la tensión de operación y las condiciones ambientales pudiendo producir erosión y disminución de los espesores del material aislante, generando como consecuencia el origen de una descarga eléctrica.

En la fase de diseño de los equipos y elementos de tensión, es importante conocer la distribución del campo eléctrico E en la superficie de los electrodos y en los aislamientos, especialmente en las superficies fronterizas. El entendimiento de la distribución del campo eléctrico proporciona evaluar la sollicitación dieléctrica a la que están sometidos los aislamientos y su capacidad para sobrellevar la tensión o sobretensiones en servicio [15].

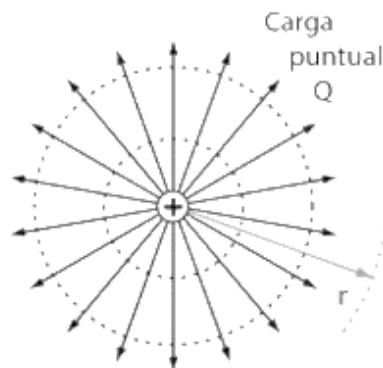


Figura 3.1. Campo eléctrico producido por una carga puntual [15].

En el factor de uniformidad del campo eléctrico (Figura 3.1) se aplica una tensión U entre dos electrodos separados por un aislamiento de rigidez dieléctrica E_c , la capacidad para soportar la tensión no sólo depende de las características propias del material aislante, sino también de la forma geométrica y la distribución de los electrodos para el conocimiento del campo eléctrico,

permitiendo evaluar la demanda dieléctrica por el cual son sometidos los aislamientos y su capacidad para soportar la tensión o sobretensiones en servicio, en la Figura 3.2 se puede ver un cable de forma cilíndrica y el comportamiento de la corriente, en casos de deterioro los aislamientos no son perfectos por lo que dejan fugar dicha corriente [15].

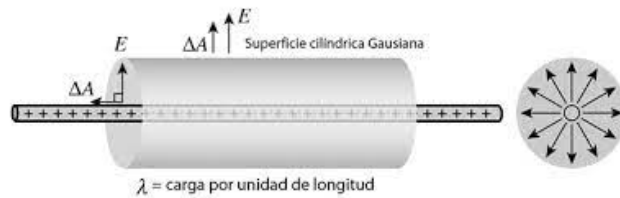


Figura 3.2. Campo eléctrico cilíndrico en un cable [30].

Uno de los efectos más comunes es la corriente de pérdida en los materiales aislantes o la corriente de fuga I_p la cual se encuentra en fase con la tensión y por lo tanto provoca pérdidas de potencia activa como se puede ver en la Ecuación (3.1), esta corriente se mide después de aproximadamente 25 a 30 minutos de energización.

$$I_p = G \cdot V^2 \quad (3.1)$$

Independiente de su naturaleza física o química, los dieléctricos bajo las condiciones de campo eléctrico presentan los siguientes fenómenos:

- **Polarización:** El átomo produce un campo eléctrico denominado inducido.
- **Conducción:** El átomo se ioniza por desprendimientos de electrones.
- **Generación de calor:** Esto se da debido a las pérdidas de energía en su interior estas pueden ser por la pérdida de energía en forma de calor (Efecto Joule)
- **Ruptura eléctrica:** Para campos eléctricos superiores al criterio puesto que la intensidad de campo eléctrico que hace que un material dieléctrico se convierte en conductor.

La elección de los materiales dieléctricos, se realiza en función a sus propiedades las cuales se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Propiedades de materiales dieléctricos [16].

Eléctricas	Resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica, constante dieléctrica y por último factor de pérdidas dieléctricas.
Mecánicas	Resistencia a la tracción, flexibilidad, comprensión o choque, límite elástico y maquinabilidad.
Físicas químicas	Peso específico, porosidad, higroscopicidad, conductividad térmica, Calor específico, temperatura de seguridad, inflamabilidad, resistencia de los ácidos.

La propiedad más importante de un aislador ya sea sólida, líquido o gaseoso es su rigidez dieléctrica E_c , la cual se define como el máximo gradiente de potencial que puede soportar un aislante sin producir corrientes disruptivas, la rigidez dieléctrica depende de la forma de onda de tensión aplicada, puede ser: pendiente del frente, valor de cresta o pendiente de cola, de la misma manera depende de la polaridad y duración de la onda de tensión aplicada a condiciones ambientales.

3.2.1 Tipos De Aislamientos Eléctricos

Existen dos tipos básicos de materiales aislantes polares y no polares, comúnmente en redes de alta tensión ocupan dieléctricos no polares dado que ante la acción de un campo eléctrico las cargas tienden a orientarse y no presentar variaciones bruscas como pérdidas dieléctricas, de acuerdo con la finalidad se las conoce como aptas para un uso externo o uso interno conforme se las ocupan en instalaciones [17]. Además, existen otras clasificaciones desde el punto de vista del aislamiento:

- **Aislamientos autoregenerativos:** Son aquellos que tienen capacidad de recuperación de su rigidez dieléctrica, después de que ocurra una descarga (ruptura dieléctrica) ocasionados por las aplicaciones una sobretensión.
- **Aislamientos no regenerativos:** Son aquellos que no tienen capacidad de recobrar su rigidez dieléctrica después de la ocurrencia de una descarga ocasionada por la aplicación de una sobretensión, existiendo daños parciales o globales como se ve en la Figura 3.3, los

elementos importantes de una subestación están compuestos por este tipo de aislamientos, principalmente en su parte interna.

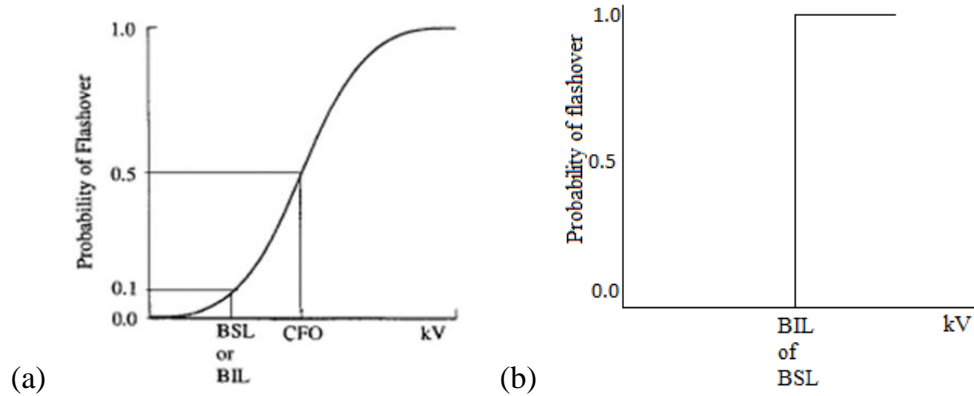


Figura 3.3. Característica de resistencia del aislamiento para aislamiento regenerativo y no auto regenerativo [17].

El aislamiento interno puede verse afectado por estrés térmico y estrés eléctrico, de modo que, por cada 10°C en incremento sobre la temperatura permisible en los aislamientos eléctricos reducen su vida útil en hasta 50%.

3.2.2 Aislamiento En Gases

Los gases actúan como buenos aislantes siempre que las tensiones no sean elevadas, al aumentar la tensión entre los electrodos inmersos en un gas aparece una circulación de corriente que es debido a la carga libre existente en el gas como consecuencia de la radiación ionizante [15], algunos de los gases que se utilizan como aislamiento en los equipos de alta y baja tensión son: el aire, hexafluoruro de azufre (SF_6), nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2) entre otros.

La tensión de ruptura en los gases es aproximadamente proporcional a su densidad, puesto que el valor de tensión de ruptura también aumenta dependiendo de la presión de gas pero está limitada debido a su licuefacción, cuando la tensión es baja la carga libre es neutralizada por recombinación con iones positivos, al aumentar la tensión los electrones se aceleran en dirección al campo eléctrico y aparece una circulación de corriente proporcional a la tensión entre los electrodos como se muestra en la Figura 3.4.

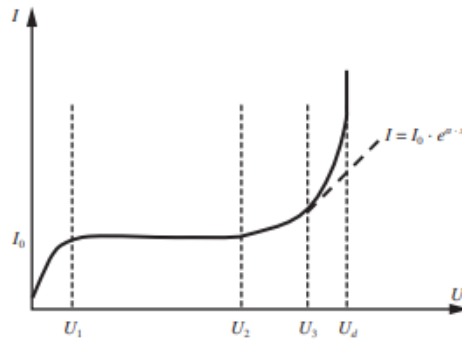


Figura 3.4. Evolución de corriente en un gas en función de la tensión aplicada [15].

3.2.2.1 Ley de Paschen para aire

Es muy frecuente que el aislamiento en aire se presente en la práctica en dos condiciones distintas, como único elemento aislante entre electrodos a distintas tensiones o a lo largo de superficies de aislamiento sólido o líquido, y el comportamiento de un gas frente a un campo homogéneo permite establecer la ley de Paschen, según la Ecuación (3.2) [18].

$$U_d = B \frac{(p_d)}{\ln\left[\left(\frac{A}{k}\right) (p_d)\right]} \quad (3.2)$$

A y B: Son constantes empíricas de gas y de su temperatura, para el aire a 20°C las constantes A y B toman el valor de 12 pares de iones. $\text{Cm}^{-1} \text{Torr}^{-1}$ y $365\text{V}, \text{cm}^{-1} \cdot \text{Torr}^{-1}$ respectivamente.

Para los valores de Pd se puede obtener mediante la Tabla 3.2 e igual en la misma se puede encontrar el valor del $U_{d\text{mínimo}}$.

Tabla 3.2. Puntos mínimos de la ley de Paschen para distintos gases [15].

Gas	$(pd)_{\text{mín}}(\text{mbar} \cdot \text{cm})$	$U_{d\text{mín}}(\text{V})$
Aire	0,754	327
Argón	1,197	137
N ₂	0,891	251
H ₂	1,530	273
SF ₂	0,346	507
CO ₂	0,678	420

3.2.3 Aislamiento en Líquidos

Los aislamientos líquidos (aceites, siliconas, ésteres) se utilizan ampliamente en los equipos y materiales de alta tensión, por ejemplo: transformadores de potencia, transformadores de medida y condensadores, estos aislamientos son subproductos de la destilación del petróleo que se denominan aceites aislantes minerales, aunque también se dispone de aceite vegetal [15]. A diferencia de lo que acontece en los gases, en los líquidos aislantes no existe una única teoría de descarga disruptiva universalmente aceptada. La principal razón se debe a que es normal que los líquidos contengan impurezas que perjudican muy significativamente a sus propiedades dieléctricas. Hay tres teorías que pueden justificar el proceso de la descarga disruptiva en aislamientos líquidos:

- **La teoría de la ruptura electrónica:** Esta teoría justifica la descarga para un líquido aislante puro sin existencia de burbujas ni de partículas ya que, conforme a esta teoría el cátodo sumergido en líquido emite electrones y estos en camino hacia el ánodo se golpean con átomos y moléculas del fluido.
- **La teoría de la burbuja:** En los líquidos aislantes se pueden mostrar burbujas por diferentes causas estas pueden ser corriente de fuga a través del fluido dieléctrico y la densidad de corriente tiende a concentrar los puntos donde el campo eléctrico es más fuerte, por ejemplo, en las superficies de los electrodos donde la rugosidad es mayor.
- **La teoría de la partícula embebida:** En un fluido aislante se revalorizará por la presencia de un campo eléctrico, la fuerza electrostática hará que la partícula se mueva a cierta velocidad, dependiendo de la intensidad de la electricidad y de la viscosidad del fluido.

3.2.3.1 El Aceite Mineral

El aceite mineral se comenzó a utilizar para transformadores de potencia desde 1897 y el proceso de la descarga en los líquidos puros se puede describir por el modelo de avalancha de electrones de forma similar a lo descrito para los aislamientos gaseosos [15]. El aceite de un transformador se degrada poco a poco cuando está en servicio y sus productos de degradación son solubles en el

propio aceite, de forma que sus propiedades, tales como tensión interfacial, acidez, contenido en furanos o contenido en agua reflejan el nivel de envejecimiento. El bajo contenido de agua es particularmente importante tanto para mantener las propiedades aislantes sin pérdidas dieléctricas como para mantener una buena resistencia [17].

El agua en los líquidos aislantes se muestra como subproducto de reacciones de oxidación de los propios fluidos y por el análisis de la celulosa del papel, el contenido de agua en un aceite afecta considerablemente a sus propiedades eléctricas, un incremento de humedad conlleva a un incremento de la conductividad y del factor de disipación y los valores de la resistencia de ruptura en líquidos están más influenciados por la humedad y el contenido de partículas contaminantes, así como se puede ver en la Figura 3.5.

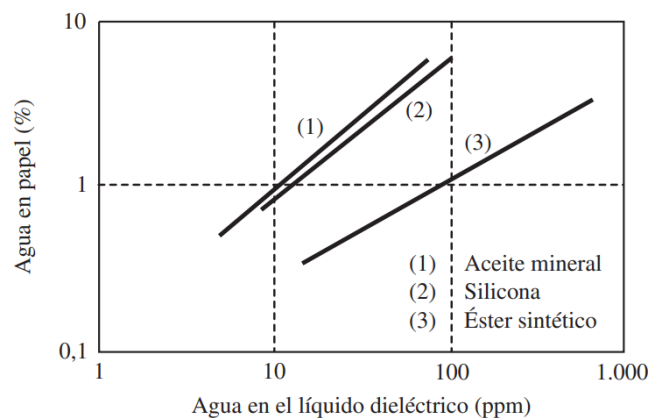


Figura 3.5. Relación entre la humedad de diferentes líquidos aislantes y la celulosa, referidas a 20°C [15].

Los líquidos aislantes como el aceite o silicona tienen poca solubilidad frente al agua, en los procesos de calentamiento de un transformador parte del agua contenida en la celulosa que aparece como consecuencia de su degradación se transfiere al aceite (Figura 3.5), se muestra la relación de humedad en el papel con respecto a la cantidad de fluido, estas pueden ser aceite mineral, silicona y éster líquido las tres referidas a 20 °C y los valores típicos de humedad en un transformador de aceite mineral están entre 15 a 30 ppm. Así como se puede ver en la Tabla 3.3. en la cual se muestran datos adicionales para transformadores en servicio de entre 18 y 30 años.

Tabla 3.3. Datos del transformador en función de los años en servicio [15].

Años de servicio	18	24	30
Contenido del agua (ppm)	6,1	15,2	25,2
Concentración de KOH (mg/g)	0,02	0,09	0,08
Rigidez dieléctrica a 20°C (kV/cm)	>300	286	258

3.2.4 Aislamientos Sólido

El análisis de los materiales aislantes sólidos son importantes, en vista de que al contrario de lo que sucede con otros aislamientos como el aire los aislamientos sólidos resultan inutilizables tras una descarga disruptiva y los dispositivos de ruptura en los aislamientos sólidos son fenómenos complejos que dependen del tiempo de adaptación de la tensión, según muestra la Figura 3.6, hay que distinguir diferentes mecanismos de ruptura y las cuales son [15]:

- Ruptura intrínseca
- Ruptura electromecánica
- Ruptura térmica
- Ruptura electroquímica
- Ruptura por descargas superficiales
- Ruptura por descargas parciales internas

En los aislamientos sólidos utilizados no es posible que se genere la ruptura intrínseca ni la ruptura electromecánica ni siquiera debería originar la ruptura térmica porque el fabricante debe tener en consideración estos tres procesos de ruptura como características propias del material y diseñar el aislamiento en función a sus condiciones de trabajo, por lo cual se evita su perforación.

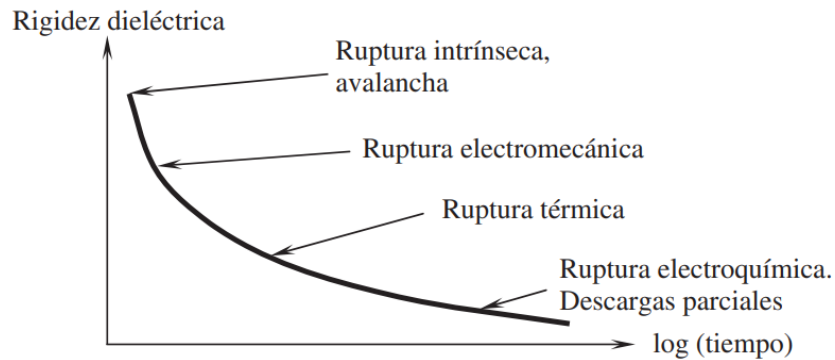


Figura 3.6. Mecanismo de ruptura en un aislamiento sólido [15].

La falla resulta como superposición de diferentes efectos una de ellas puede ser las descargas parciales o superficiales, originan reacciones químicas en el aislamiento que lo degradan progresivamente, dando paso a un aumento de la corriente superficial y consecuentemente un mayor calentamiento que lo envejece.

3.2.4.1 Rigidez dieléctrica de aislamiento sólido en cables

El valor de la rigidez dieléctrica de los aislamientos secos es función del campo eléctrico de inicio de descarga E_i , con campos eléctricos cilíndricos concéntricos como en el caso de los cables de potencia, el campo eléctrico de inicio E_i corresponde al valor de la rigidez dieléctrica del material, para polietileno reticulado (XLPE) y etileno propileno (EPR) a 20 °C la rigidez dieléctrica con un voltaje alterna aplicada durante un minuto viene dada por la Ecuación (3.3) [15].

$$E_i = E_d = 70 + \frac{34}{R^{0,68}} \quad (3.3)$$

Donde

R : Radio del cable interno expresado en milímetros y el campo

E_i : Viene dado en kV_{cresta}/mm

A nivel práctico, se conoce que cuando mayor sea el campo eléctrico al que se está sometiendo el cable, menor será la expectativa de vida t .

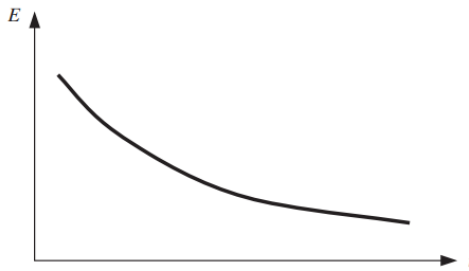


Figura 3.7. Característica de pérdida de rigidez dieléctrica por envejecimiento [15].

A nivel funcional es fundamental que la rigidez dieléctrica de un sistema no se degrade a lo largo del año, empíricamente se ha deducido para diferentes tipos de cables la expresión que relaciona la expectativa de vida del cable con la demanda eléctrica a la que está sometido. Se sabe que cuanto mayor es el campo eléctrico al que está sometido menor será la expectativa de vida, t , del cable, así como se puede ver en la Figura 3.7 relaciona el campo eléctrico máximo E al que está sometido el cable con respecto a la expectativa de vida t correspondiente [15].

En la práctica se encuentra otros factores que afectan la rigidez dieléctrica del aislamiento, tales como los defectos de fabricación, temperatura de operación, e incluso las sobretensiones soportadas en servicio, el análisis estadísticos de las fallas en cables y en sus accesorios demuestran que la mayor incidencia de fallas se produce en los dos primeros años como se puede ver en la Figura 3.8 ya que por un mal montaje y construcción, el crecimiento de la tasa de fallas anuales se disminuye y se mantiene en un nivel moderado hasta que el cable o elemento adquiriera un umbral de deterioro propio al punto P , a partir del cual la tasa anual de fallas vuelve a incrementar sensiblemente.

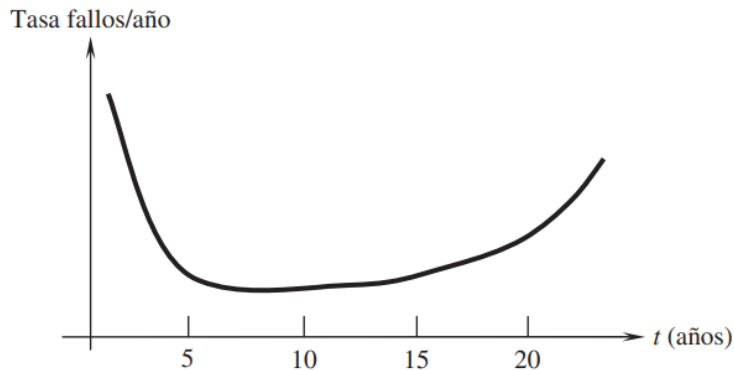


Figura 3.8. Evolución estadística de la tasa de fallos/año en el tiempo [15].

3.3 SOBRETENSIONES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las sobretensiones es el incremento de tensión de valores de operación entre dos puntos de un sistema eléctrico, las sobretensiones pueden ser de dos tipos: transitorias y permanentes las cuales pueden provocar fallas de aislamientos en los equipos y componentes pertenecientes al sistema eléctrico considerando su frecuencia de operación [1].

En la Figura 3.9 se observan las sobretensiones según sus valores picos en sistemas eléctricos menores a 230 kV, el pico más bajo corresponde a las sobretensiones temporales, el segundo pico corresponde a una sobretensión por maniobras o conmutación además denominadas sobretensiones transitorias de frente lento, el tercer pico representa una sobretensión inducida por un impacto indirecto de un rayo conocida además como sobretensión transitoria de frente rápido y finalmente la de mayor pico es la sobretensión generada por un rayo de impacto directo llamada además sobretensión transitoria de frente rápido, tanto a las sobretensiones por inducción o por impacto directo de un rayo algunos autores las llaman sobretensiones externas, sobretensiones atmosféricas o sencillamente sobretensión de frente rápido, las sobretensiones transitorias de frente lento o de maniobra también se lo conoce como sobretensiones internas [19].

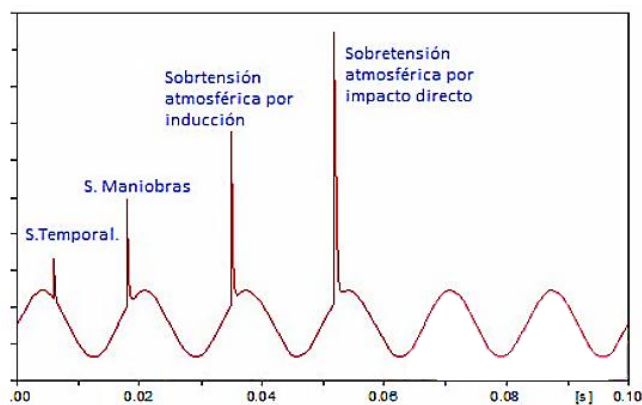


Figura 3.9. Sobretensiones temporales y transitorias [20].

- **Transitorios eléctricos:** Es un cambio repentino en la igualdad de un sistema eléctrico y puede manifestarse como una sobretensión, una sobre corriente o los dos efectos.
- **Transitorios Electromecánicos:** se da tras producirse una perturbación en la cual interactúan los recursos eléctricos y mecánicos, ejemplo: para que el sistema recupere su

estabilidad luego de una falla influye la inercia de la máquina que a su vez es dependiente a la estructura física del rotor en los generadores.

- **Transitorios Electromagnéticos:** Es un cambio en la estabilidad de un sistema eléctrico por la interacción de energía almacenada en inductores y capacitores, en su mayoría son de naturaleza oscilatoria (dependientes de la frecuencia), los rangos de frecuencia y el origen del transitorio se resumen en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4. Rangos de frecuencia y el origen del transitorio electromagnético [16].

Origen de transitorios	Rangos de frecuencia
Energización de transformadores	0,1 Hz a 1 kHz
Ferroresonancia	0,1 Hz a 3 kHz
Liberación de fallas	(50 - 60 Hz) a 3 kHz
Inicio de fallas	
Energización de líneas	
Recierre de líneas	(50 - 60 Hz) a 20 kHz
Voltaje de restablecimiento	
Fallas en líneas cortas	(50 - 60 Hz) a 100 kHz
Recierre múltiple de interruptores	1 kHz a 1 MHz

Los fenómenos transitorios en el sistema son provocados por operaciones de maniobra y descargas atmosféricas como consecuencia presentan sobretensiones y sobrecorrientes, estas sobretensiones se definen como la elevación de tensión en comparación con el grado de tensión nominal del sistema, como se muestra en la Figura 3.10, esta elevación del valor pico de voltaje crea desgaste en el aislamiento de los equipos y aunque el cumplimiento habitual de las redes se genera en un estado persistente las necesidades dieléctricas que se crean durante los procesos transitorios son los que definen el nivel de aislamiento, para analizar sobretensiones se debe establecer el origen y el tipo de sobretensiones que se pueda presentar, determinar la distribución estadística de aquellas sobretensiones que se utilizarán para seleccionar el aislamiento y evaluar en qué escenarios se producen las mayores sobretensiones al establecer un valor de referencia.

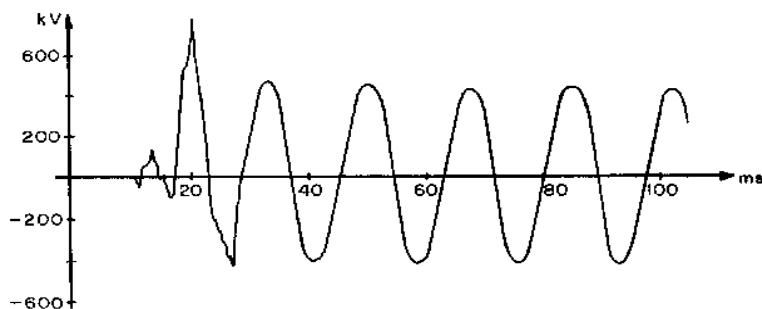


Figura 3.10. Representación de ondas de sobretensiones en comparación con la onda de tensión nominal [16].

3.3.1 Origen y Clasificación

Para entender la conducta de las incitaciones dieléctrica se debería clasificar a las sobretensiones según su origen, parámetros y características que influyen en sus valores de amplitud, dentro de la clasificación según su origen se tiene [15]:

- **Sobretensiones internas:** son elaboradas internamente en el sistema por variaciones de las condiciones iniciales de operación al realizar maniobras en la red. Estos tienen la posibilidad de ser temporales.
- **Sobretensiones externas:** son creadas por situaciones impropias del sistema eléctrico, primordialmente se hallan las descargas atmosféricas.

De acuerdo a la norma IEC 60071 -1 [21], las sobretensiones se pueden clasificar en temporales y transitorias, esto se puede visualizar en la Tabla 3.5, las sobretensiones ejecutadas en laboratorios se aplican con la intención de comprobar la conducta de los aislamientos [15], las cuales se aplican como base para pruebas en aislamiento brindando impulsos de tensión con un periodo de subida hasta el valor de cresta y el tiempo de cola que varía dependiendo el pulso de sobretensión que se le establece, simulando de esta forma el comportamiento que tendría el aislamiento al momento de operar [22].

Su comportamiento en campo es distinto por el simple hecho de que las sobretensiones están sujetas a diversos componentes externos para conseguir valores de amplitud y además el comportamiento del aislamiento cambia con la variación del tiempo. Para relacionar la tensión inyectada al aislamiento en campo y el comportamiento del aislamiento en laboratorios, aparecen las denominadas sobretensiones representativas y se obtiene su valor una vez que se realizan

procesos en los que se ajustan las sobretensiones a valores que cumplan las condiciones de resistencia tanto en operación como en laboratorio [22].

Tabla 3.5. Clasificación de sobretensiones según su tipo [21].

Tipo	Origen	Causas
SOBRETENSIONES TEMPORALES	De frecuencia industrial	- Por fallas asimétricas (fallas a tierra) - Por el efecto Ferranti - Por desbalances (Pérdida del neutro)
	De frecuencia armónica	- Por resonancia - Por ferresonancia - Por corriente Inrush en transformadores
SOBRETENSIONES TRANSITORIAS	Frente lento (Maniobras)	- Por energización de líneas - Por corrientes de corte en transformador - Por encendido de cargas capacitivas
	Sobretensiones de frente rápido (atmosféricas)	- Por impacto del rayo en el hilo de guarda - Por impacto del rayo en la estructura
	Frente muy rápido (Subestación con aislamiento de gas SF6)	- Sobretensiones por fallas en subestaciones con aislamiento de gas. - Sobretensiones por maniobras con aislamiento de gas.

3.3.2 Sobretensiones Temporales

Las sobretensiones temporales o TOV (*Temporal OverVoltage*) acostumbran ser de principios internos y su duración es comparativamente extensa, cuentan con un amortiguamiento algo limitado y su frecuencia es semejante a la frecuencia fundamental, los eventos que añaden al surgimiento de estas sobretensiones temporales de acuerdo a la Tabla 3.5, son factores principales de una sobretensión temporal [15].

3.3.2.1 Sobretensiones de Frecuencia Industrial

Hace referencia a criterios generales analizando varios tipos de sobretensiones (temporales) en redes de distribución y sus efectos, caracterizando los tipos de aislamiento, así como los elementos de protección ante sobrevoltajes, por ende, se explica los efectos del medio ambiente en las

recurrencias eléctricas del aislamiento de los diferentes tipos de sobretensión tomando en cuenta que las sobretensiones de frecuencia industrial son dados en un origen interno.

3.3.2.2 Pérdida de Carga

Cuando el sistema experimenta una ruptura de carga fuerte hay un aumento en todo el sistema el cual reduce el flujo de corriente y la caída de tensión, por lo cual se ve reducida la impedancia lo que provoca un aumento efecto capacitivo en los momentos posteriores a la desconexión cuando los reguladores de tensión aún están activos [21]. En cuanto al generador que atiende a estas cargas el efecto que se tiene al disparo del interruptor es que la potencia cedida por el generador pase de un valor de operación normal a un valor cero abruptamente lo que provoca elevación de tensión en los bornes del generador y en la línea de conexión con el resto del sistema. Las magnitudes de estas sobretensiones causadas por rechazo de carga dependen de la carga desconectada, del comportamiento de la red después del corte de corriente y de las propiedades de la fuente de energía, lo que se cataloga como la potencia de cortocircuito de la subestación, velocidad y regulación de tensión de los generadores, etc. Se obtienen magnitudes de sobretensiones por pérdida de carga desde 1,2 p.u. hasta 2,5 p.u. [23], estas amplitudes varían dependiendo de los parámetros antes mencionados.

3.3.2.3 Fallas Asimétricas

Esta es una de las causas más comunes de sobretensiones en el sistema de distribución, como sobrecargas, golpes de aisladores, fallas humanas, entre otros; comienza con una falla monofásica o una falla bifásica a tierra que da paso a la aparición de un transitorio que se produce en una sobretensión a frecuencia industrial manteniendo casi la misma forma de onda sinusoidal, para el análisis de sobretensiones debido a fallas a tierra en el caso de una falla monofásica que se ha encontrado como la causante de las sobretensiones temporales en el sistema, el valor de cresta de estas sobretensiones depende del factor por defecto a tierra k , este valor está condicionado para una ubicación y configuración de red específica. También se puede calcular a partir de la relación entre la tensión rms máxima en una fase en buen estado y una fase a tierra, se procede a comparar

con la tensión rms máxima que se obtiene en la ubicación antes de la falla [23], el valor pico de la tensión en las fases en buen estado se calcula por la siguiente expresión (3.4):

$$k \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot V_s \quad (3.4)$$

Donde

V_s : Es la tensión eficaz fase-fase en el momento de la falla.

k : Es la característica de la falla en secuencia positiva y cero para líneas de transmisión.

Si no es posible acceder a los datos de impedancia de secuencia del sistema, véase en la Tabla 3.6, los valores representativos del factor de falta a tierra y la puesta a tierra en la red que viene de la falla.

Tabla 3.6. Valores de frecuencia de factor de defecto a tierra [15].

Conexión del neutro	k
Neutro rígido a tierra	1,4
Neutro no rígido a tierra	1,7
Neutro aislado	1,9

Al momento de ocasionar una falla monofásica en el sistema y eliminarla, se producen las sobretensiones a consecuencia del cambio de tensión de servicio a la sobretensión temporal, dañando las fases en buen estado y un motivo que contribuye a la sobretensión es el retorno cercano a cero en la fase fallada, estas sobretensiones se pueden representar claramente en las Ecuaciones (3.5) y (3.6) [15].

Inicio de falla

$$V_{et} = (2k - 1)V_s \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad (3.5)$$

Despeje de falla

$$V_{et} = 2 \cdot V_s \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (3.6)$$

Por lo general, las sobretensiones temporales suelen mostrarse combinadas, ya sea iniciado con una falla a tierra y luego la desconexión de carga por causa de los interruptores o en un caso extremo la desconexión de las grandes cargas produce sobretensiones temporales que provoca una falla a tierra al resto de la red.

3.3.3 Sobretensiones Transitorias

Las sobretensiones transitorias son elevaciones de tensión que logran valores de decenas de kilovoltios y su transcurso es del orden de microsegundos, aunque tienen una corta duración el gran contenido de potencial puede ocasionar graves problemas a los equipos conectados a la línea de distribución, desde su deterioro prematuro a su destrucción, generando interrupciones de servicio y alteraciones económicas.

3.3.3.1 Sobretensiones por Maniobra o Frente Lento

Las sobretensiones de maniobra o también llamado SOV (Switching Overvoltage) son causadas principalmente por la acción de los interruptores de potencia, esta acción modifica el estado la configuración del sistema produciendo fenómenos transitorios en donde el valor de la amplitud de la sobretensión es el resultado considerando la superposición de un componente transitorio al componente de estado estable, los causantes adicionales para que se generen sobretensiones de tipo maniobra son:

- La energización de líneas de transmisión, transformadores, reactores o bancos de condensadores.
- El corte y reenganche de energía de líneas de transmisión, transformadores, reactores o bancos de condensadores.

Las características principales se muestran en la Tabla 3.7, en la cual contiene la naturaleza del origen, siendo estos dependientes del tipo de duración pudiendo ser una más extensa que otras en

rangos de microsegundos, la frecuencia la cual puede variar en rangos de decenas de kilovoltios, su forma de onda y magnitud.

Tabla 3.7. Características de sobretensiones de frente lento [24].

Naturaleza	Oscilatorio
Duración	De cientos de <i>us</i> a varios <i>ms</i>
Frecuencia	Entre 2 y 20 <i>kHz</i>
Forma de onda normalizada	De 250/2500 <i>us</i>
Magnitud	Varía dependiendo del elemento de acción de maniobra y tiempo de acción

El valor más alto de la sobretensión de frente lento depende del tiempo que dure la maniobra, por que influye en el comportamiento de los interruptores, ya que se comprueba la postura en la onda de tensión sinusoidal y normalmente de dimensiones más pequeñas que la sobretensión las cuales aparecen una vez realizado la maniobra en el denominado cruce por cero de la onda de tensión. Una vez determinados los picos de tensión y si se han establecido los rangos, se pueden aplicar tácticas para las sobretensiones por maniobra, que tienen como objetivo controlar o modificar el transitorio del proceso que origina. Para realizar este control tienen la posibilidad de las siguientes tácticas:

Utilizar interruptores con cierre sincronizado, se basa en la selección del mayor tiempo para cerrar un interruptor, así como resistencias de pre-inserción (PIR por sus siglas en inglés) en serie con interruptores de línea a través de cámaras, ya que ayudan principalmente a determinar sobretensiones en la conexión de líneas y maniobras con corrientes inductivas [25].

3.3.3.2 Sobretensiones Atmosféricas

Las sobretensiones atmosféricas comunes que se producen son los rayos porque estos actúan como cargas eléctricas, las nubes están cargadas en sus extremos con polaridad positiva en su parte superior y negativa en su parte inferior, la amplitud del campo es proporcional a la carga eléctrica de la nube, cuanto mayor sea la carga mayor campo eléctrico existe, es importante si la amplitud del campo rompe la rigidez dieléctrica del interior de la nube se produce un flujo de carga llamado

rayo intra nube, el cual se presenta de forma clásica por una corriente de corta duración siempre rígida en la dirección opuesta del campo eléctrico y este tipo de sobretensiones pueden golpear en el tramo creando una derivación trasera en una línea conectada entre los tramos existentes creando un flashover [24].

La caída de un rayo en un radio de 100 metros puede causar quemaduras de la piel, rotura de tímpanos, lesiones de retina, caída al suelo por efecto de la onda expansiva, electrocución por tensiones de contacto, muerte por paro cardiaco, paro respiratorio, lesiones cerebrales, entre otros. Los efectos que producen las descargas atmosféricas nacen formando una nube de cumulonimbus antes de causar una descarga atmosférica y estas sobretensiones pueden caer directamente hacia los postes o hacia alguna parte de la naturaleza, así como se puede ver en la Figura 3.11 [24].

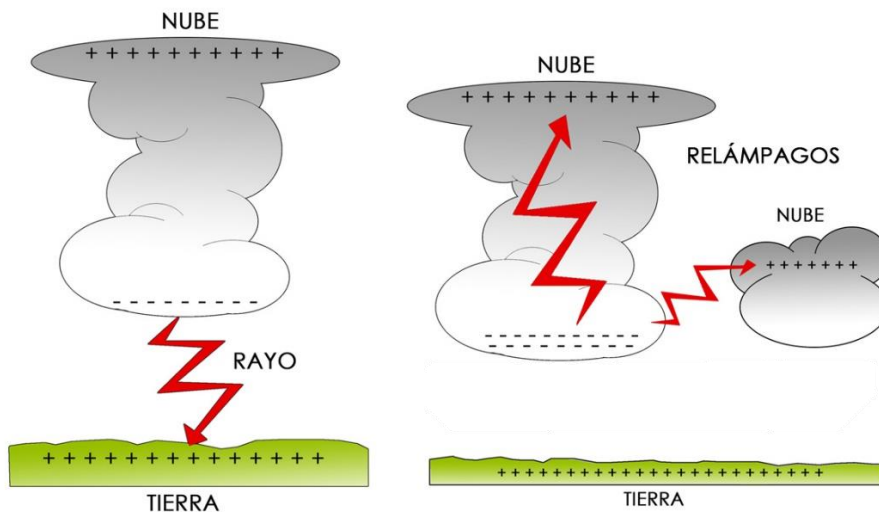


Figura 3.11. Formación de sobretensión atmosférica según el tipo de nube [24].

4 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología que se usa para la caracterización del aislamiento eléctrico en sistemas de distribución, en la Sección 4.1 se presenta la gestión de tareas que especifica las cuatro etapas importantes del proyecto de titulación, en la Sección 4.2 se muestra los datos y elementos utilizados en un sistema de distribución: transformadores, postes, crucetas y aisladores. La Sección 4.3 indica la probabilidad de fallas atmosféricas que se puedan dar en una línea aérea de distribución, los equipos y máquinas conectadas a ella, también la cantidad de rayos que impactan directamente sobre la línea o a distancias cercanas sobre la estructura. Luego, en la Sección 4.4 se muestra el proceso para la prueba de aisladores con sus normativas, criterios de aceptación, guía de práctica y registro correspondiente a cada ensayo. Finalmente, en la Sección 4.5 se presenta la metodología para la coordinación de aislamiento en sistemas de distribución.

4.1 GESTIÓN DE TAREAS

El proyecto de titulación denominado “Caracterización del aislamiento eléctrico en sistemas de distribución: modelos y aplicaciones” consta de cinco etapas en las cuales se desarrolló el mismo. A continuación, se describe a manera resumida cada uno de los procedimientos que se tendrá el proyecto.

Etapas 1: Levantamiento de datos para modelado de aislamientos

En esta etapa se realiza el levantamiento de datos para el modelado de los aislamientos que contiene un sistema eléctrico de distribución, teniendo como partes principales: transformadores, aisladores y cables, los cuales son sometidos a diferentes pruebas en el laboratorio de alto voltaje. Las características de estos elementos fueron tomadas de catálogos de fabricantes y unidades de propiedad publicadas por el MEER.

Etapas 2. Ensayos en laboratorio

En esta esta etapa se realizan los siguientes ensayos: 1.) Pruebas de contorno de aisladores en corriente alterna en seco, húmedo y contaminación. 2.) ensayo de resistencia de aislamiento de los devanados de transformadores. 3.) ensayo de relación de transformación entre número de espiras

secundarias y del primario. 4.) ensayo de rigidez dieléctrica del aceite. 5.) ensayo de resistencia de aislamiento para cables de media tensión. 6.) ensayo de corriente continua de alto potencial para cables de media tensión. El procedimiento de cada ensayo, así como los criterios de aceptación se basan en normativas vigentes IEEE e IEC enfocadas en los aislamientos eléctricos.

Etapa 3. Validación de resultados

Se modelará el aislamiento eléctrico utilizado en sistemas de distribución mediante la herramienta ATPDraw y se realizarán estudios en régimen transitorio, considerando sobretensiones asociadas a maniobra y descargas atmosféricas, posteriormente se realiza un análisis comparativo tomando como referencia los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

Etapa 4. Caso de estudio

Estudio del comportamiento en aislamientos de equipos de distribución, ante una sobretensión teniendo como punto de impacto un tramo de 331 metros en MT de la red eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4.2 DATOS Y CONSIDERACIONES DEL SITIO DE ESTUDIO

Para estudios de caracterización de aislamientos aplicables a las redes de distribución ante sobretensiones atmosféricas o tipo maniobra, es necesario modelar el aislamiento eléctrico de todos los elementos de la red. Por ello, es importante definir los parámetros mostrados a continuación:

4.2.1 Información geográfica y ambiental

La información ambiental es una de las más relevantes, ya que los factores que más afectan son la lluvia, temperatura, contaminación, entre otros. Esto también depende de la ubicación geográfica de la red. A continuación, se describen los valores seleccionados para el estudio.

Provincia/Ciudad:	Cotopaxi – Latacunga
Ubicación:	Laboratorio de alto voltaje F-CIYA
Altura sobre el nivel del mar:	1770 m.s.n.m. (Región Sierra)
Temperatura ambiente:	$T_{min} = 8^{\circ}C$, $T_{máx} = 30^{\circ}C$

Humedad relativa:	mínima = 77.48%, máxima = 86.33%
Nivel cerámico:	de 10 a 20 días con tormentas eléctricas / año
Presión atmosférica:	1029 mm de Hg
Nivel de contaminación del aire:	45 PM_{10} (Moderado)

4.2.2 Información técnica

El sistema de distribución cuenta con parámetros importantes en la red, en este caso para ser ejecutado se utiliza los siguientes datos:

Red aérea trifásica:	13,8 kV
V_{LLnom} :	13,8 kV
V_{LLmax} :	$\pm 5\% V_{LLnom}$
Empresa:	ELEPCO S.A. (potencia instalada 288,63 MVA)

4.2.3 Materiales principales y sus características

Son materiales a los distintos elementos, simples o en cadena, necesarios para reforzar un sistema de distribución, estos pueden ser de diversos materiales, por lo que sus propiedades y características inherentes pueden diferir, tanto en su física, química, conducción eléctrica o estructura.

Aisladores:

Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente a los cables, por lo que es necesario caracterizar tipos de aisladores utilizados en el sistema de distribución, por ello se tiene la Tabla 4.1 con los aisladores más usados según la subsecretaría de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica, detallados a continuación:

Tabla 4.1. Tipos y clases de los aisladores [36].

Tipo de aislador	Material	Clase	Tensión Nominal
Aislador tipo espiga (pin)	porcelana	clase ANSI 55-5	15 kV
Aislador tipo espiga (pin)	porcelana	clase ANSI 56-1	25 kV
Aislador de suspensión	porcelana	clase ANSI 52-1	25 kV
Aislador tipo rollo	porcelana	clase ANSI 53-2	0,25 kV
Aislador de retenida	porcelana	clase ANSI 54-3	0,25 kV
Aislador tipo suspensión	caucho siliconado	clase ANSI ds-15	25 kV

Transformadores:

Los transformadores de distribución son usados para reducir el voltaje de distribución al voltaje de consumo, en la Tabla 4.2 se muestran los transformadores utilizados en el sistema.

Tabla 4.2. Tipos de transformadores de potencia [37].

Tipo de transformador	Potencia Nominal	Voltaje Nominal MV/BV	Impedancia
Monofásico sumergido en aceite tipo poste	25 kVA	7967V / 120V - 240V	1,3 %
Monofásico sumergido en aceite	25 kVA	13200V-22860V/ 120V-240V	3,4 %
Monofásico sumergido en aceite	0.5 kVA	13200V-7620V/ 120V-240V	2,3 %
Monofásico sumergido en aceite	3 kVA	13200V-7620V/ 120V-240V	3,7 %
Pad Mounted seco trifásico	2 kVA	220V/480V	1,2 %
Trifásico sumergido en aceite	300 kVA	13800V/220V	2,5%
Monofásico sumergido en aceite	15 kVA	13800V/240V	2,4%

4.2.4 Equipos adicionales para el caso de estudio

Para el caso de estudio se elige un tramo de un sistema de distribución ubicado en la ciudad de Latacunga, frente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, el cual está compuesto por los siguientes elementos y sus características, como se detalla en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Elementos y sus características usadas en el caso de estudio.

Elemento	Características
Fusible	Tipo expulsión para 15 kV
Descargador de sobretensión	Óxido de Zinc polimérico, 10 KV, 5 kA
Cable para líneas	AWG 336,4 (Linnet) ACSR 26/7 (Cable de aluminio reforzado con alma de acero).
Cable para neutro	AWG 4/0, ACSR (Penguin) 6/1
Cable para bajante a tierra	AWG 2, Cobre desnudo de 7 hilos.
Varilla de puesta a tierra	Copperweld, 5/8" · 2,40m (cobre con alma de acero)
Crucetas	Tipo universal, longitud 2,40 m y perfil (75 · 75 · 6) mm de hierro galvanizado.
Postes	Circular de Hormigón armado de 12 metros, 500 Kg, Diámetros (base = 38 cm, punta = 14cm).

4.3 PROBABILIDAD DE FALLAS POR SOBRETENSIONES ATMOSFÉRICAS

La probabilidad de fallas que se puedan dar en una línea aérea de distribución es acto directo de la cantidad de rayos que impactan directamente sobre la línea o a distancias cercanas sobre la estructura, vegetación o al suelo en dichos casos se producen sobretensiones en la línea que origina el efecto flameo en aisladores, si el choque es directo se denomina flameo (*flashover*) [38], si la corriente pasa de la línea a tierra se llama flameo directo, el cual se produce cuando un rayo choca directamente sobre la línea e inducen tensiones altas, pero si la corriente pasa desde tierra a la línea se denomina flameo inverso, este caso se da cuando el rayo impacta sobre el hilo de guarda o sobre la estructura y está acompañado un deficiente sistema de puesta a tierra, en los dos casos el flameo puede originarse por aire, interno o superficial esto dependiendo al nivel de sobretensión que se genere por la descarga atmosférica (Sobretensión que rompe la rigidez dieléctrica del aire, de la superficie del aislador o del material) [38].

Cuando un aislador flamea se fabrica una falla a tierra, es un corto circuito entre la fase de la línea y tierra si la red está constituida por un adecuado sistema de protección esta falla es disipada de forma rápida y sin problema con el apto uso de descargadores de sobretensión, pero si la falla

no es disipada a tiempo o no se puede evitar, entonces se genera un corte de servicio con posibles daños en algunos de ellos son irreversibles en máquinas y equipos conectados a la línea, en su mayoría son transformadores de distribución.

Generalidades

Para líneas de distribución de 13.8 kV, que usan estructura de alrededor de 12m de altura se tiene en consideración, el uso de hilos de guarda y se desprecia el impacto sobre las estructuras (cruceas o postes), por ende, el estudio limita a flameos directos producidos por impacto directo y por tensiones inducidas. La proporción de flameos que se produzcan en los aisladores de una línea es la proporción de fallas que tendrá esta línea, considerando una alteración más que son los factores de protección generados por construcciones y vegetación en medio del área urbana y para el área rural de la misma forma, una forma de evaluar la cantidad de fallas de una línea de distribución aérea por sobretensiones atmosféricas se da por las Ecuaciones (4.1) y (4.2) [16]:

$$F_{total} = F_{id} + F_{ii} \quad (4.1)$$

Donde:

F_{total} : Flameos totales en aisladores de una línea / año.

F_{id} : Flameos en aisladores de una línea por impacto directo / año.

F_{ii} : Flameos en aisladores de una línea por impacto indirecto / año.

$$F_{id} = F_{ii} \cdot Lp \quad (4.2)$$

Donde:

$F_{ii} \cdot ca$: Flameos en campo abierto por impactos directos.

$F_{ii} \cdot Lp$: Flameos en línea protegida por impactos indirectos.

Para tasar la cantidad de fallas que pueden existir en una línea de distribución, se tiene que obtener la cantidad de flameos que suceden en los aisladores de la línea por un año, para detrás de este actor mejorar el sistema de protecciones ante sobretensiones atmosféricas y de esta manera

disminuir la tasa de falla. La metodología usada en el actual documento para dicho estudio se basa en las recomendaciones generadas por la norma IEEE std 1410 2010 [39].

Nivel Cerámico de la región (NCR)

Como se observa en la Figura 4.1 se dispone del mapa general del país, en el cual se puede determinar los niveles cerámicos de cada provincia e incluso de algunas ciudades principales del país, la ciudad de Latacunga según el mapa cerámico del Ecuador está vigente en niveles de entre 10 a 20, estandarizando con NIR se toma el valor promedio el cual es de 15 (Valor usado para estudios en Latacunga) [19].

A partir de una selección correcta del nivel isocerámico se puede dar el cálculo de densidad de descargas a tierra (DDT), la cual está dada por la Ecuación (4.3) [19]:

$$DDT = (0.04)(NIR)^{1,25} \quad (4.3)$$

$$DDT = (0.04)(15)^{1,25} \quad (4.4)$$

$$DDT = 1,1808 \frac{flash}{km^2} / año \quad (4.5)$$

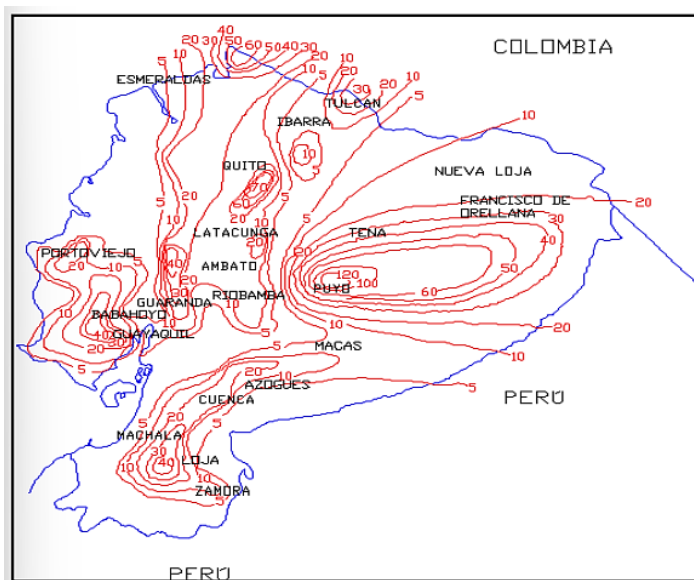


Figura 4.1. Mapa del nivel cerámico en Ecuador [19].

Flash es igual a Relámpago y es el efecto producido por un rayo de única descarga o con descargas múltiples. Por lo cual la cantidad de relámpagos que podrían ocurrir en una región se puede acercar un estimado mediante la Ecuación (4.6) [19]:

$$\frac{\text{Relámpago}}{\text{año}} = DDT \cdot \text{Área} \quad (4.6)$$

Entonces aplicando la Ecuación (4.6), y con el área de 264,9 km² aproximada de la ciudad de Latacunga, se obtiene que:

$$\frac{\text{Relámpagos}}{\text{año}} = (1,1808)(264,9) = 312,794 \frac{\text{Relámpagos}}{\text{año}} \quad (4.7)$$

De esta forma en la ciudad de Latacunga se puede aproximar que puede ocurrir 313 relámpagos por año, pero no se puede estimar si su procedencia del rayo es un único o son rayos con multiplicidades [19].

$$C_{id} = DDT \frac{(28)(h^{0,6}) + (b)}{1000} \quad (4.8)$$

Donde:

C_{id} : Cantidad de impacto directos en una línea (*km/año*)

DDT : Densidad de descargas a tierra, (*relámpago/Km²/año*)

h : Altura del poste desde el suelo hasta el cable más alto (m)

b : Longitud de la cruceta (m)

Una red de 13,8 kV utiliza postes de 12 m, de los cuales 1,70 m se encuentran enterrados bajo el suelo también se considera una cruceta universal de 2,40 m de la longitud con aisladores tipo pin, la cruceta se ubica a 0,20 m bajo la punta del poste, los aisladores están constituidos por una altura de 0,14 m y una espiga de 0,06 m, para una estructura pasante semi centrada (los tres cables se encuentran ubicados a la misma altura), por ende la altura obtenida se da en la Ecuación (4.9) entre el nivel del suelo y el cable más alto es [19]:

$$h = (12 - 1,70 - 0,20 + 0,14 + 0,06) m = 10,3 m \quad (4.9)$$

Con los datos generados en la Ecuación (4.9) y retomando el valor de una cruceta universal siendo esta 2,40 m de la longitud se reemplaza los valores obtenidos en la Ecuación (4.6) y obteniendo el resultado la densidad de descarga a tierra, definido por la Ecuación (4.10):

$$DDT = 2,81 \frac{\text{relámpago}}{\text{Km}^2} / \text{año} \quad (4.10)$$

Por ende, aplicando la Ecuación (4.8) se obtiene el siguiente resultado:

$$C_{id} = 1.1808 \frac{(28)(10,3^{0,6}) + (2.40)}{1000} = 0,1368 \frac{\text{relámpagos}}{\text{km}} / \text{año} \quad (4.11)$$

Si se considera que los rayos (relámpagos) con de descarga única, igualmente se sabe por estudios aceptados a nivel mundial cuando un rayo que impacta directo sobre una línea genera flameo directo en los aisladores, los rayos generan flameos directos entonces se puede decir que, En una región con densidad de descarga a tierra de resultado $DDT = 2,81 \text{ relámpago}/\text{Km}^2 / \text{año}$ y estructuras para 13,8 kV se producirán 0,1368 flameos en aisladores por cada km de línea.

Para el análisis del caso de estudio se elegirá un factor de protección de $sf = 0,6$, porque se encuentra en un ambiente carente de vegetación y en su mayoría está rodeado de estructuras armadas como son casas, departamentos, entre otros [39].

Si la proporción de impacto directo es $C_{id} = 0,1368 \text{ flameos} / \text{km} / \text{año}$, para adherir el factor de protección urbana se debe tener en cuenta el 60% de la longitud total de las líneas que se está protegiendo, entonces el nuevo valor de impacto directo es [19]:

$$C_{id} = (0,1368)(1 - 0,6) = 0,0554 \frac{\text{flameos}}{\text{km}} / \text{año} \quad (4.12)$$

Se supone una línea de distribución de una longitud de 0,331 km a una tensión nominal de 13,8 kV en el campo de pruebas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, las veces que fallarían al año la nueva implementación de línea, por una sobretensión atmosférica generada por un impacto directo [19]:

$$F_{id} = (C_{id})(long\ del\ conductor) = (0,0554)(0,331) = 0,018 \frac{flameos}{año} \quad (4.13)$$

La línea dentro de la universidad técnica de Cotopaxi probablemente falle entre 0,018 veces al año por sobretensiones atmosféricas a causa de impacto directo de un rayo en alguna de las fases de la línea de distribución.

4.4 ENSAYOS DE AISLAMIENTO EN LABORATORIO

Un aislamiento se configura para mantener la corriente en movimiento por el conductor, conceptualmente a través del aislamiento no tendría que circular ningún tipo de corriente, pero en si los aislamientos no siempre son impecables los aditivos que se agreguen a estos disminuyen esta “perfección” de aislamiento; pero son inevitables para dar características extras a la hora de aislar eléctricamente [40]. A continuación, se detallan las pruebas realizadas al aislamiento eléctrico en el Laboratorio de Alto Voltaje F-CIYA.

4.4.1 Ensayos en Aisladores

Las primeras consideraciones que deben tener en cuenta para esta prueba es ver el estado actual del aislamiento (nuevos o usados), los aislamientos deben ser sometidos a distintos tipos de pruebas entre ella puede ser húmedo, seco, contaminado y a bajas temperaturas, para este proceso se seleccionará un aislador con las especificaciones técnicas del catálogo digital [41].

4.4.1.1 Prueba de contorneo en seco, húmedo, contaminado y a baja temperatura.

Generalidades

La prueba consiste en producir la tensión en los bornes del objeto entonces se reduce momentáneamente a cero o a un valor pequeño su soporte de aislamiento. Según las características del circuito el dieléctrico puede restablecer sus características, asimismo, la tensión de ensayo puede ser superada, esto en principio debe considerarse como una descarga disruptiva.

El término "contorneo" (flashover) se utiliza cuando una descarga se produce en la superficie de un dieléctrico en un medio gaseoso o líquido, pueden requerirse a veces variantes de los procedimientos de ensayo para obtener resultados producibles y significativos, que dependen de las particularidades del equipo que se ensaya [41], sin duda la contaminación afecta el desempeño de los aislamientos para uso exterior, sean estos de tipo cerámico o poliméricos; para el primer tipo existe variada referencia bibliográfica y normativa que permite una adecuada elección de los aisladores en función de la severidad de la contaminación del lugar donde deben ser instalados, que en muchos aspectos puede ser aplicada también a los orgánicos, dicha adecuada elección significa una mínima probabilidad de contorneo del aislador [41].

Este tipo de ensayos sirven para evaluar tanto el estado de aisladores retirados de servicio considerando las solicitudes que sobre ellos actuaron, como el criterio de elección de los mismos para la zona de instalación; y finalmente estudiar el desempeño de dichos aisladores a futuro bajo solicitudes similares.

Normativa

ANSI/IEEE Std 4-1978 Techniques for High-Voltage Testing [42]: Establece métodos estándar de medición de alto voltaje y técnicas de prueba básicas para su aplicación a todo tipo de aparatos para voltajes alternos y corrientes de impulso. Es una revisión nueva y muy ampliada de IEEE Std 4-1968, Técnicas para pruebas dieléctricas.

El aislador bajo prueba debe bañarse con agua y temperatura establecida por la norma, ANSI/IEEE 4-1978 [42], el agua debe caer en forma de gotitas impidiendo la bruma o niebla, debe ser orientado de manera que los elementos verticales y horizontales de la intensidad de la lluvia sean iguales.

Criterio de aceptación

El voltaje de ruptura en seco promedio del aislador debe ser igual o superior al 95% del voltaje de flameo en seco especificado en la norma ANSI C29.2 [43]. Para la clase de aislador correspondiente, de lo contrario, los aisladores no pasarán la prueba.

Para el desarrollo de la prueba se dispone del registro 03-AV-UTC-IELE (CONTORNEO DE AISLAMIENTO) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-03 (CONTORNEO DE AISLAMIENTO).

4.4.2 Ensayos en Transformadores

El conjunto de equipos e instalaciones eléctricas consideran unas características de aislamiento para permitir su funcionamiento con toda confianza, ya sea a nivel de conductores de conexión, de los equipos de seccionamiento y de protección o a nivel de las cargas como motores, generadores, el hermetismo (aislamiento) de los cables eléctricos se lleva a cabo ante la intervención de materiales que muestran una gran resistencia eléctrica para de esta forma limitar al extremo el flujo de corriente fuera de los cables.

Las condiciones de estos aislamientos se ven afectados al cabo del tiempo debido a las exigencias a las que es sometido los equipos o elementos, como consecuencia genera una reducción de la resistividad eléctrica de los aislantes que a su momento da lugar a un incremento de corrientes de fuga que pueden provocar consecuencias de alto nivel tanto para la seguridad de la persona como para las cargas conectadas en los sistemas de distribución [44].

4.4.2.1 Prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de potencia

Generalidades

Una prueba de resistencia de aislamiento en transformadores, consta de un instrumento que permite establecer la resistencia de aislamiento existente en estos equipos eléctricos, funciona en base a la generación temporal de una sobrecorriente eléctrica la cual se aplica al sistema hasta que se rompe su aislamiento al establecerse un arco eléctrico. La medición de la resistencia de aislamiento constituye una prueba de tensión directa (DC) el cual debe estar restringido a un valor apropiado para la clasificación de voltaje y las condiciones básicas de aislamiento es importante y de gran relevancia debido a que, si el voltaje de prueba es demasiado alto puede sobrecargar el

aislamiento y provocar fallas en él, para el caso de los transformadores, cada devanado forma un electrodo y existe una combinación de conexiones para ir probando los diferentes aislamientos [45].

Normativa

IEEE Std 43 -2013 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery [45]: normativa recomendada para el procedimiento de pruebas de voltaje de corriente continua para la medición de resistencia de aislamiento, índice de polaridad, devanado del rotor, devanado del estator y el voltaje que se debe aplicar en las máquinas eléctricas.

IEEE Std 43 -2013 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery [45]: las pautas para los voltajes de prueba se presentan las lecturas de la resistencia de aislamiento se toman después de aplicar el voltaje de prueba durante 1 min.

Criterio de aceptación

Índice de polaridad (PI): Los valores mínimos recomendados de PI para máquinas rotativas de CA y CC se enumeran en la Tabla 4.4 se basa en la clase térmica de los materiales aislantes, excepto devanados de campo no aislados, se aplica a todos los materiales aislantes, independientemente de la aplicación [45]:

Tabla 4.4. Límite de índice de polaridad [45].

Clasificación según la clase térmica ^{b, c, d}	Índice de polaridad (P.I.) mínimo
Clase (A)	1,5
Clase (B)	2,0
Clase (F)	2,0
Clase (H)	2,0

a) El PI no es aplicable a devanados de campo no aisladores
 b) IEC 60085-01
 c) IEEE std 1
 d) NEMA MG-1

Relación de absorción dieléctrica (DAR): Es el índice que muestra el nivel de absorción del aislamiento, dependiendo de que sea mayor, se considera que el aislamiento del equipo está en mejores condiciones de funcionamiento (más seco y menos contaminado). En la práctica, se sugiere que el índice de absorción sea superior a 1.5. A continuación, en la Tabla 4.5, se establece el índice de absorción [45]:

Tabla 4.5. Nivel de absorción dieléctrica [45].

Valor del DAR	Condición de aislamiento
< 1,25	Insuficiente
1,25 < DAR < 1,6	Aceptable
> 1,6	Excelente

Valor mínimo recomendado de índice de polarización

La resistencia de aislamiento mínima después de 1 min, R_{1min} , para pruebas de sobrevoltaje u operación de CA y CC los devanados del estator de la máquina y los devanados del rotor se pueden determinar a partir de la Tabla 4.6. La resistencia de aislamiento del devanado real que se utilizará para la comparación con R_{1min} es el aislamiento observado resistencia, corregida a 40 °C, obtenida aplicando una tensión continua constante a todo el devanado durante 1 min, la resistencia de aislamiento de una fase de un devanado de armadura trifásico probado con las otras dos fases conectado a tierra podría ser inferior a tres veces el de todo el devanado debido a las contribuciones de fase a fase a la corriente total [46].

Tabla 4.6. Resistencia de aislamiento mínima recomendada valores a 40 °C (todos los valores en $M\Omega$) [46].

Aislamiento mínimo	Especificaciones de la prueba
$R_{1min} = kV+1$	Para la mayoría de los devanados fabricados antes de 1970, todos los devanados de campo y otros no descritos a continuación
$R_{1min} = 100$	Para la mayoría de los devanados de ca construidos después de 1970 (bobinas enrolladas en forma)
$R_{1min} = 5$	La mayoría de las máquinas con bobinas de estator de bobinado aleatorio y bobinas de bobinado de forma clasificada por debajo de 1 kV y armaduras de CC.

NOTA 1: R_{1min} es la resistencia de aislamiento mínima recomendada, en megaohmios, a 40 °C de todo el devanado de la máquina (todas las etapas).

NOTA 2: kV es el voltaje nominal de línea a línea rms para máquinas trifásicas de CA, voltaje de línea a tierra para máquinas monofásicas, y tensión continua nominal para máquinas de CC o devanados de campo.

Para el desarrollo de la prueba utilizar el registro 02-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-02 (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES).

4.4.2.2 Prueba de relación de transformación

Generalidades

La relación de transformación de un transformador, es la razón entre el número de vueltas del devanado primario para el devanado secundario cuando el transformador posee taps, la medición se debe realizar en todas las posiciones y el devanado completo. Esta medición se realiza con el equipo TTR, para ello se registran lecturas para cada posición del conmutador de tomas.

La prueba de relación de transformación permite determinar fallas o causa por las cuales puede dar este problema por cortes como espiras abiertas, espiras cortocircuitadas, conexión indebida, cambiador de tomas o problemas internos del núcleo magnético. Para este tipo de pruebas existen diferentes equipos de comprobación de pruebas de relación de transformación ya que estos están diseñados especialmente para dichas aplicaciones en función del tipo de transformador y la relación a medir [44].

Normativa

ANSI/IEEE-C57.12.00-1980 *General requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating Transformers* [47]: normativa para criterios de aceptación para proceso de pruebas de relación de transformación en todos los transformadores sin carga y con voltaje nominal impreso en un devanado del transformador, todos los demás voltajes nominales deben ser correctos dentro del 0,5 % de las marcas de la placa de identificación, excepto en los casos en que el voltaje nominal o el voltaje de toma corresponda al voltaje del transformador más cercano.

Criterios de aceptación

En pruebas de relación de transformación en todos los transformadores sin carga y con voltaje nominal impreso en un devanado del transformador, todos los demás voltajes nominales deben ser correctos dentro del 0,5 % de las marcas de la placa de identificación, según la norma ANSI/IEEE-C57.12.00-1980 [48].

Para el desarrollo de la prueba, se dispone del registro 04-AV-UTC-IELE (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-04 (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN).

4.4.2.3 Prueba de rigidez dieléctrica de aceite para transformadores

Generalidades

El aceite como todos los componentes aislantes se envejece con la variación del tiempo e igual si se encuentra expuesto a condiciones extremas, puede sufrir una degradación más acelerada, como consecuencia afecta las propiedades eléctricas prematuramente, es por lo cual para lograr medir la degradación de las propiedades aislantes del aceite se tiene que realizar la medición de la rigidez dieléctrica, dicha medición o también conocida como tensión de ruptura dieléctrica de aceite, permite el determinar la capacidad aislante que soporta un esfuerzo eléctrico sin producir un arco [49].

Esta prueba es aquella que permite revelar la cantidad de agua, polvo o cualquier partícula conductora que pueda encontrarse contaminando la pureza dieléctrica del aceite y como consecuencia le impida seguir funcionando al cien por ciento de su función de aislamiento, este tipo de ensayo sirve para determinar que el aceite nuevo o instalado, tiene características aislantes requeridas para el correcto funcionamiento de los equipos [49].

Normativas

IEEE Std C57.106-2015 Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Mineral Oil in Electrical Equipment [49]: Recomendaciones con relación a las pruebas de aceite mineral y los procedimientos de evaluación. Esta guía se hacen referencias a métodos de reacondicionamiento y recuperación de líquidos aislantes dieléctricos derivados del petróleo (minerales); La intención de esta guía o esta normativa es ayudar al operador del equipo eléctrico a evaluar la capacidad de servicio del aceite mineral recibido en el equipo, aceite tal como se recibe del proveedor para llenar nuevos equipo en el sitio de instalación y aceite procesado en dicho equipo; El aceite mineral cubierto se usa en transformadores, reactores, cambiadores de tomas de carga y reguladores de voltaje.

El transformador se usa con la finalidad de obtener el voltaje de alta tensión necesario que pueda provocar el arco eléctrico en el aceite. Su salida debe ser de 0 a 60 kV y la rapidez con la que se debe aumentar el voltaje, dependiendo de la norma que se utilizara en esta prueba:

Para la **Norma IEEE Std C57.106 2015-ASTM D-877** [49], la velocidad de incremento de voltaje es de 3 kV por segundo.

Para la **Norma IEEE Std C57.106 2015 -ASTM D-1816** [49], la velocidad de incremento de voltaje es de 0.5 kV por segundo.

Para la **Norma IEEE Std C57.106 2015-ASTM D-877** [49], los electrodos deben ser planos y disponer de una separación de distancia de 2.5mm.

En la **Norma IEEE Std C57.106 2015 -ASTM D-1816** [49], los electrodos son semiesféricos están separados a una distancia de 1 mm, en este caso, la copa también tiene un agitador que asegura la circulación lenta del aceite, lo que lo hace más representativo de las condiciones a las que trabaja el aceite.

Criterios de aceptación

Los valores mínimos aceptables en este tipo de ensayos son de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEEE Std C57.106. Y se dice que para aceites dieléctricos nuevos (Luego de llenado y antes de la energización) como muestra la

Tabla 4.8 el valor mínimo es de 26 kV y para aceites dieléctricos (en servicio continuo) como se observa en la Tabla 4.7 el valor mínimo será de 23 kV. De lo contrario, la muestra de aceite debe rechazarse [49].

Tabla 4.7. Criterio de aceptación para límites de prueba para aceite mineral en servicio [49].

Método de prueba	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 kV	>69 ≤230 kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816 kV mínimo	≤69 kV	>69 ≤230 kV	≥230 kV
Separación de 1 mm	23	28	30
Separación de 2 mm	40	47	50

Tabla 4.8. Criterio de aceptación para límites de prueba para aceite mineral nuevo recibido[49].

Método de prueba	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 kV	>69 ≤230 kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816 kV mínima	≤69 kV	>69 ≤230 kV	≥230 kV
Separación de 1 mm	25	30	35
Separación de 2 mm	45	55	60

Para el desarrollo de la prueba, se dispone del registro 06-AV-UTC-IELE (RIGIDEZ DE ACEITES) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-06 (RIGIDEZ DIELECTRICA DE ACEITES).

4.4.3 Ensayos en Cables Eléctricos

Las pruebas eléctricas que se realizan durante una puesta en marcha, mantenimiento preventivo, correctivo y/o diagnóstico de los cables de distribución eléctrica; tienen como objetivo y finalidad el verificar las condiciones en que estos se encuentran, a fin de garantizar la continuidad y confiabilidad del sistema eléctrico de distribución de nuestro centro de trabajo, o empresa.

4.4.3.1 Prueba de resistencia de aislamiento en cables

Generalidades

La vida útil de los cables, dependen de varios factores uno de ellos es la calidad de los materiales aislantes. Estos materiales se degradan con el tiempo debido a las exigencias a la que están sometidas en el funcionamiento del sistema, además de la humedad y el polvo, llegando incluso a contaminarse por factores climatológicos. La suma de todas estas condiciones adversas, ocasionan una reducción de la resistividad eléctrica del aislante, que a su vez podría generar fallas en el funcionamiento del sistema eléctrico y al mismo tiempo producir costos adicionales de reparación o reposición. Por lo tanto, es necesario realizar mantenimientos y controles periódicos de los aislamientos para reducir la probabilidad que se produzcan fallas y garantizar la seguridad de las personas, los bienes y la continuidad del servicio eléctrico [50].

La prueba consiste en aplicar voltaje entre los electrodos y medir la corriente que circula por el circuito, el equipo de prueba está integrado por una fuente de corriente directa y un medidor de la corriente que circula por el circuito. Es decir, cuando se realiza la prueba de resistencia de aislamiento, lo que hace es medir el voltaje y la corriente que circula por el circuito y, utilizando la Ley de Ohm determina la resistencia del elemento bajo pruebas [50].

Normativa

IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants [51]: Especificaciones técnicas y criterios de aceptación para equipos a ser probado siempre que la identificación sea clara y evidentes.

Criterios de aceptación

Índice de polarización (IP): Si este valor está por debajo de 1 es inaceptable e indica que existe alta humedad en el aislamiento, si se encuentra entre 1 y 1,25 se debe investigar ya que esto indica una condición marginal, si este valor está por encima de 1,25 y por debajo de 2 indica buenas condiciones dieléctricas del aislamiento y si el valor supera 2, a pesar de indicar buenas condiciones dieléctricas, por lo general, es indicativo de resequedad y bajas propiedades mecánicas del aislamiento. Por lo tanto, el índice de polaridad aceptado debe estar entre 1,25 y 2 ($1,25 < IP < 2$).

Este índice provee información sobre el grado de deterioro del aislamiento, por efecto de la humedad y se calcula de la división de la resistencia registrada a los 10 minutos sobre la resistencia al primer minuto $IP = \left(\frac{R_{10}}{R_1}\right)$, como determina la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Límite de índice de polarización [52].

		Inaceptable	Marginal	Aceptable
Índice de polarización	R10/R1	< 1	1-1,25	1,25-2

Nivel de absorción dieléctrico (DAR): Es un índice adimensional. El valor se obtiene al dividir la resistencia registrada a los 60 segundos para el valor de la resistencia registrada a los 30 segundos de aplicado el voltaje, los cuales se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Nivel de absorción dieléctrica [52].

		Marginal	Aceptable
Índice de absorción	R1/R30	1-1,25	>1,25

Para el desarrollo de la prueba, se dispone del registro 01-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES 1F 3F) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-01 (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES).

4.4.3.2 Prueba de alto potencial para cables

Generalidades

Es una prueba destructiva en donde se aplica un voltaje por encima del nominal del cable, para obtener la corriente de fuga y la resistencia del aislamiento ya que esta prueba se realiza únicamente en cables de MT, cuyo voltaje nominal es $\geq 5\text{kV}$ [53].

Esta prueba verifica el aislamiento de un producto eléctrico para que sea capaz de proteger al usuario de un choque eléctrico de esta forma brindar la seguridad y confiabilidad en accesorios

terminados como cables, circuitos y motores. Durante esta prueba un alto voltaje es aplicado (dicho voltaje es más alto que el voltaje de una operación normal) entre los cables y su aislamiento.

El Hipot o la prueba de alta tensión es el cual monitorea la corriente que fluye a través del aislamiento o la corriente de fuga, la prueba intenta demostrar si el producto es seguro de usar o no, incluso cuando es sometido a una gran carga de alto voltaje si existe una fuga en el aislamiento esto puede causar que un producto se rompa, generando peligro para cualquiera que entre en contacto con un producto eléctrico en dichas condiciones [53], esta prueba puede ayudar a descubrir fallas de diseño, defectos, pequeños espacios entre piezas conductoras y tierra, cables sueltos, conductores contaminados, problemas de terminales, errores de tolerancia en cables, etc. La aplicación de tensión en el caso de una prueba HIPOT tiene que ser muy minucioso por lo cual en el ANEXO F en la Tabla 8.1 se presentan los valores de tensión aplicables según el tipo de aislamiento y su voltaje nominal, clasificados en dos etapas de mantenimiento y en servicio.

Normativa

IEEE Std 141 – 1993 Recommended practice for electric power distribution for industrial plants [53]: Recomendaciones técnicas para cables de media tensión, para materiales o conductores de uso común siendo de cobre y el aluminio.

Criterios de aceptación

Si, la corriente disminuye progresivamente mientras el voltaje se incrementa, aun cuando se supera el voltaje de operación, se considera que la prueba de Hi-Pot es exitosa.

Si, la corriente se mantiene constante cuando se aplica un voltaje mayor al de operación, se consideran aceptables las condiciones de aislamiento y por consiguiente la prueba.

Si, la corriente permanece constante, pero aumenta antes de alcanzar el voltaje de operación la prueba es rechazada. Si, la corriente de fuga aumenta con una pendiente similar al incremento de voltaje, la prueba es rechazada.

Para un mejor diagnóstico se debe considerar el historial del cable sometido a prueba y las recomendaciones del fabricante.

Para el desarrollo de la prueba, se dispone del registro 05-AV-UTC-IELE (HV HIPOT CABLES) en el ANEXO , donde se toma lectura de los resultados de la prueba. El procedimiento detallado está en la guía UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-05 (HIPOT EN CABLES).

4.5 MODELADO DE AISLAMIENTO

La degradación de los aisladores eléctricos es una de las principales razones de fallas de los elementos que se hallan en las redes eléctricas. Sus condiciones de operación (voltaje, temperatura, componentes del medio ambiente, etcétera) poseen un efecto importante en la vida útil de los elementos. Por consiguiente, se necesita modelar estas condiciones de operación, para determinar el estado del aislamiento eléctrico de sistemas de distribución.

4.5.1 Modelado de aisladores

El modelado de un aislador permite observar su comportamiento dinámico ante voltajes de operación nominal, sobretensiones de baja frecuencia, sobretensiones por maniobras o conmutación, sobretensiones atmosféricas por impactos directos o por voltajes inducidos en los cables de las fases y finalmente los instantes en que flaquean, considerando las sobretensiones atmosféricas como las de mayor incidencia en la operación de un aislador que presentan las estructuras tanto para niveles de 13,8 *kV* como para 69 *kV*, la herramienta utilizada para ejecutar el modelado de distintos tipos de aisladores es ATPDraw, herramienta especializada en análisis gráficos de transitorios electromagnéticos [54], todo efecto aislador está representado por una componente resistiva producto de la resistividad eléctrica del material y una componente capacitiva efecto de la permitividad del material. Los modelos de aisladores generalmente consideran dos componentes, una resistiva asociada a la resistividad eléctrica del material y una capacitiva que representa la permitividad eléctrica del material [32].

4.5.1.1 Cálculo de resistencia y capacitancia:

Estos dos componentes (R , C) al operar eléctricamente como dos elementos en paralelo dando como resultado el efecto aislador, las Ecuaciones para determinar cada uno de estos componentes son las (4.14) y (4.15) respectivamente [40]:

$$R = \left(\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot D_f} \right) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot D_f}{r} \right) \quad (4.14)$$

$$C = \left(\frac{\epsilon_r \cdot D_f}{2 \cdot \ln \left(2 \cdot \frac{D_f}{r} \right)} \right) \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^{-9}}{9} \right) \quad (4.15)$$

Donde:

ρ : Resistividad eléctrica del material ($\Omega * m$).

D_f : Distancia de fuga (m).

r : Radio geométrico del aislador (m).

ϵ_r : Permitividad relativa del material.

4.5.1.2 Nivel de soportabilidad de un aislador

Para aplicaciones en alta frecuencia (descargas atmosféricas) es necesario conocer el nivel de soportabilidad de un aislador, el mismo que está definido por la siguiente Ecuación (4.16) [32]:

$$V_{sop_{st}} = \left(400 + \frac{710}{t^{0,75}} \right) \cdot d \quad (4.16)$$

Donde:

$V_{sop_{st}}$: Voltaje de soportabilidad estándar (kV) para altas frecuencias.

d : Distancia o longitud de la cadena de aisladores (m).

t : Tiempo después del impacto del rayo (μs).

Una vez calculado el nivel de voltaje de soportabilidad con la Ecuación (4.16), se puede adjuntar y hacer un análisis más concreto teniendo en cuenta varios factores ambientales y tipo de aislador, lo cual se realiza con la Ecuación (4.17) [32]:

$$V_{sopcorr} = V_{sopst} \cdot \frac{F_a \cdot m \cdot F_{ll}}{F_h} \quad (4.17)$$

Donde:

F_a : Factor de corrección por densidad relativa del aire.

F_{ll} : Factor de corrección por lluvia.

F_H : Factor de corrección por humedad.

m : 0.5 para aisladores estándar 0.8 para FOG (neblineros).

Para baja frecuencia

El flameo es simulado directamente con un interruptor normalmente abierto que se cierra cuando el voltaje en los terminales de la impedancia (R, C) en paralelo supera la CFO (sea en húmedo o en seco) dada por el fabricante [30].

Para alta frecuencia

Para alta frecuencia (descargas atmosféricas), se debe medir el voltaje en los terminales de la impedancia (R-C-paralelo), compararla con el voltaje de soportabilidad ante descargas atmosféricas del aislador obtenido a partir de la Ecuación (4.16), y corregirlo por factores ambientales (4.17) [30].

4.5.2 Modelado en transformadores

Los transformadores monofásicos de distribución, permiten atender el requerimiento de electricidad de consumidores que demandan niveles de bajo voltaje, tales como 120 V, 127 V, 208 V, 240 V, entre otros, tomando como línea de alimentación niveles de medio voltaje, tales como: 7,97 kV, 13,8 kV, 22 kV, 34,5 kV, etc. Este requerimiento mayoritariamente ocurre en el sector

residencial (incluido alumbrado público), sin embargo, se puede encontrar ciertas aplicaciones en el sector comercial e industrial. La construcción de un transformador obedece a la Ley de inducción electromagnética de Faraday que viene dada por las Ecuaciones (4.18) a (4.20), que establecen una relación entre el voltaje, corriente y número de espiras entre los devanados [55]:

$$F = \frac{1}{N_1} \cdot \int v(t) \cdot dt \quad (4.18)$$

Donde:

F : Flujo magnético (Weber).

N_1 : Número de espiras primarias.

$v(t)$: Voltaje de aislamiento (Voltios)

$$fem_2 = -N_2 \cdot \frac{\delta F}{\delta t} \quad (4.19)$$

Donde:

fem_2 : Fuerza electromotriz inducida en el secundario.

N_2 : Número de espiras secundarias.

$$fem_1 = -N_1 \cdot \frac{\delta F}{\delta t} \quad (4.20)$$

Donde:

fem_2 : Fuerza electromotriz inducida en el secundario.

Por lo tanto, al combinar las Ecuaciones (4.19) y (4.20), se obtiene:

$$\frac{fem_1}{N_1} = \frac{fem_2}{N_2} \quad (4.21)$$

La diferencia entre la fuerza electromotriz inducida (fem_1 y fem_2) y el voltaje en los terminales de cada uno de los devanados del transformador (V_1 y V_2) es que la fem es el voltaje que de acuerdo a la ley de Faraday (Ecuación (4.18)) se induce en cada uno de los devanados del transformador, para lo cual es indispensable que exista flujo magnético variable con el tiempo, una fuente de

corriente continua aplicada al devanado primario del transformador generaría flujo magnético constante el mismo que de acuerdo a la Ecuación (4.19), la derivada de un valor constante es cero, esto significa que en el secundario no aparece o simplemente no se induce voltaje, esto explica por qué un transformador no funciona con corriente continua [55].

4.5.2.1 Cálculo de la fem rms

El valor de la fem rms, tanto primaria como secundaria es muy utilizada para la construcción de transformadores, que se define mediante la Ecuación (4.22) [32]:

$$fem_{rms} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot F_{rms} \cdot N \cdot K_d \quad (4.22)$$

Donde:

fem_{rms} : Fuerza electromotriz inducida rms (*Voltios*).

f : Frecuencia (*Hz*).

F_{rms} : Valor rms del flujo magnético (*Weber - Wb*).

N : Número de espiras del devanado.

K_d : Factor de devanado (Para transformadores = 1).

4.5.2.2 Cálculo del Flujo magnético

El flujo magnético es la cantidad de líneas de campo que atraviesan el área transversal y siguen la trayectoria del núcleo, de acuerdo a la Ecuación (4.18), el flujo obedece a la integral del voltaje aplicado al transformador, por lo tanto para un voltaje de tipo senoidal se obtiene un flujo de tipo senoidal desfasado 90 grados (cosenoidal), para aplicaciones en construcción de transformadores se utiliza el valor rms del flujo, el mismo que se obtiene de la Ecuación (4.23) [32]:

$$F_{rms} = B \cdot A \quad (4.23)$$

Donde:

B : Inducción electromagnética (*Tesla = $\frac{Wb}{m^2} = 10000 Gauss$*).

A: Área transversal del núcleo (m^2).

Inducción Electromagnética (B), es la propiedad magnética de las láminas o chapas con las cuales se construye el núcleo del transformador, normalmente se construyen núcleos con capacidad de inducción electromagnética.

$$B = 1, 1.1, \dots, 1.7 \text{ Teslas} = \frac{Wb}{m^2} = 10000 \text{ Gauss}$$

4.5.3 Modelado de Cables

Los cables son aquellos que, en menor o mayor medida son capaces de conducir energía eléctrica, estos tipos de materiales dan paso al desplazamiento libre y fluido de los electrones de un punto a otro si se conecta como un punto de tensión, Para el modelado del cable se tiene en cuenta lo siguiente [32]:

- Cables para las fases: 336,4 AWG - ACSR - 27/1 - Linnet - radio = 9,15 mm
- Cable para el neutro: 4/0 AWG - ACSR - 6/1 - Penguin - radio = 7,16 mm
- Cable para bajante a tierra: 2 AWG - Cobre - 7 hilos - radio = 3,7 mm

4.5.3.1 Impedancias características

Las impedancias características son importantes en un sistema ya que son conductores ante un pulso de alta frecuencia voltaje o corriente tipo rayo y se determina por medio de la siguiente Ecuación (4.24) [32]:

$$Z_c = (60) \cdot \ln\left(\frac{200 \cdot h}{r}\right) \quad (4.24)$$

Donde:

Z_c : Impedancia característica de la línea (fases) (Ω).

h: Altura del cable más alto, respecto al suelo (m).

r: radio del conductor (mm).

En las bajantes de puesta a tierra, para un pulso de alta frecuencia este cable se comporta como una impedancia RL, que se determina con las siguientes Ecuaciones (4.25) y (4.26) correspondientemente [32]:

$$R = \left(\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \right) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot l}{r} \right) \quad (4.25)$$

$$L = (2 \cdot l) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot l}{r} \right) \times 10^{-7} \quad (4.26)$$

Donde:

- R: Resistencia que presenta el conductor (Ω).
- L: Inductancia que presenta el conductor (Henrios)
- L: Longitud del conductor (m)
- r: Radio del conductor (m)
- ρ : Resistividad del material ($\Omega \cdot m$).
- ρ : Resistividad del cobre = $1,724 \times 10^{-8}$ ($\Omega \cdot m$).

La norma IEEE 1299-C62.22.1-1996 [56], propone para cables usados en conexiones de descargadores de sobretensión en la que se incluye bajantes de puesta a tierra sobre una composición de aislamiento aérea, usar un coeficiente inductivo de:

$$L = 1,31 \frac{\mu H}{m}$$

La componente resistiva tiene la posibilidad de despreciar, por consiguiente, los cables que se aplican para hacer las conexiones del descargador de sobretensión y la bajante de puesta a tierra únicamente se modelan por medio de su elemento inductiva, para un cable de 10 metros de longitud (bajante de puesta a tierra), su inductancia es dada en la Ecuación (4.27):

$$L_{bajantePT} = L \cdot 10 m = 1,31 \frac{\mu H}{m} \cdot 10 m = 13,1 \mu H \quad (4.27)$$

En el ANEXO F en la Figura 8.31, se presenta un esquema de la posición de los cables de fase y neutro con bajante de puesta a tierra, el sistema está formado por los alimentadores aéreos de media y baja tensión con sus respectivos elementos.

4.5.4 Modelado de postes

Las estructuras para redes de distribución utilizan postes de hormigón, hierro, madera, poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) (por asuntos ambientales la madera cada vez se utiliza menos) tradicionalmente las estructuras más utilizadas son las formadas por postes de hormigón y crucetas de hierro galvanizado por lo cual en la actualidad se construyen postes y crucetas de poliéster reforzado con fibra de vidrio con los cuales se busca subir el aislamiento de las estructuras al nivel recomendado por la IEEE 1410 – 2004 [57] de 300 kV (suelos con resistividades menores a 1000 $\Omega \cdot m$) y 420 kV (suelos con resistividades mayores a 1000 $\Omega \cdot m$), para disminuir el flameo en los aisladores causados por sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas y sobretensiones de frecuencia industrial sobre todo cuando los aisladores están superficialmente muy contaminados, flameos que terminan convirtiéndose en fallas a tierra y por ende salida de operación de la línea [32].

4.5.4.1 Postes de hormigón

El poste de Hormigón se considera como un elemento estático, con una impedancia al impulso eléctrico que se obtiene en base a la Ecuación (4.28) [32]:

$$Z_p = 60 \left(\ln \left(\frac{h}{r_{eq}} \right) - 1 \right) \quad (4.28)$$

Donde:

Z_p : Impedancia característica del poste.

h : Altura del poste.

r_{eq} : Radio equivalente obtenido de la geometría del poste.

El radio equivalente del poste se obtiene mediante la siguiente Ecuación (4.29) [32]:

$$r_{eq} = \frac{r_1 h_2 + r_2 h + r_3 h_1}{2h} \quad (4.29)$$

La altura equivalente del poste se obtiene mediante la aplicación de la Ecuación (4.30) [32]:

$$(h = h_1 + h_2) \quad (4.30)$$

Es por lo cual en la siguiente Figura 4.2 se define geoméricamente un poste de hormigón.

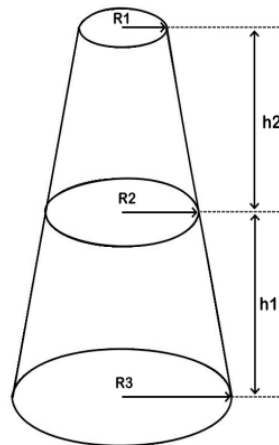


Figura 4.2. Geometría de un poste de hormigón [18].

4.5.5 Modelado de Crucetas

Las crucetas utilizadas en sistema de distribución a tensión nominal de 13,8 *kV*, actualmente en su mayoría son de hierro galvanizado, sin embargo, en la construcción de nuevas líneas en ciertas regiones se ha empezado a utilizar crucetas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio (PRFV) con el objetivo de subir el nivel de aislamiento de la estructura, hay que recalcar que las crucetas de madera por factores ambientales en la actualidad se utilizan poco [58].

- Las crucetas tipo universal están estandarizadas con longitudes de:

120 – 150 – 200 – 240 – 400 *cm*

- Para crucetas de hierro galvanizado, se utilizan perfiles de:

(65 · 65 · 6)*mm* o (75 · 75 · 6) *mm*

En la Figura 4.3 se muestra una cruceta de 2400 mm = 2,40 m, utilizada para una estructura trifásica semi-centrada.

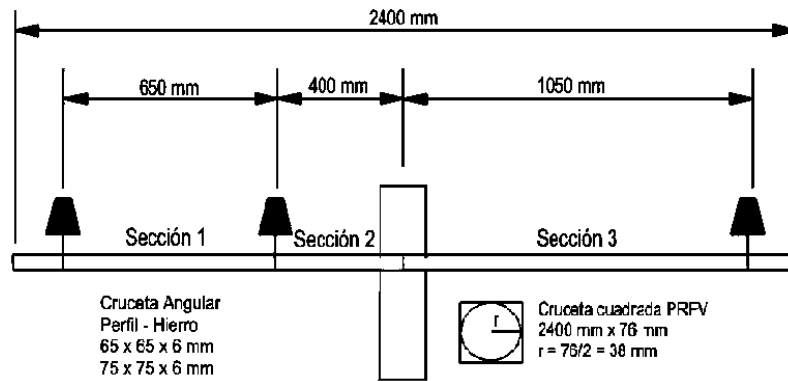


Figura 4.3. Cruceta de tipo universal para línea de 13.8 kV [32].

Para modelar una cruceta se utiliza el modelo aislador, de la siguiente manera una resistencia en paralelo con un capacitor y las Ecuaciones son (4.31) y (4.32) [32]:

$$R = \left(\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \right) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L}{r} \right) \quad (4.31)$$

Donde:

R: Resistencia de la cruceta (Ω).

ρ : Resistividad del material ($\Omega \cdot m$).

L: Longitud de la sección (m).

r: Radio de la sección (m).

$$C = \left(\frac{\epsilon_r \cdot L}{2 \cdot \ln \left(\frac{2L}{r} \right)} \right) \cdot \left(\frac{10^9}{9} \right) \quad (4.32)$$

Donde:

C: Capacitancia de la cruceta (F).

ϵ_r : Permitividad relativa o constante dieléctrica.

L: Longitud de la sección (m).

r: Radio de la sección (m).

Las crucetas de hierro galvanizado no muestran ningún aporte de aislamiento a la estructura, el hierro es un conductor de electricidad, por consiguiente, la conducta de esta clase de cruceta es la de un conductor. Las crucetas de PRFV o de madera son materiales que aportan al grado de aislamiento de la composición en funcionalidad de su geometría, la cruceta está dividida en 3 secciones, ver Figura 4.3, y cada una muestra una resistencia ($R1 - R2 - R3$) y una capacitancia ($C1 - C2 - C3$) [32].

4.5.6 Modelado de descargadores

Un descargador de sobretensión llamado también por algunos autores apartarrayos y en algunas ocasiones también pararrayo el cual es menos apropiado ya que estrictamente un pararrayo es definido como una punta captadora (atrae a los rayos) mientras que un apartarrayos se define como un elemento supresor de picos de voltajes, en la literatura especializada es aceptado como descargador de sobretensión (DPS) y se entiende como un elemento supresor de picos de voltaje [59].

Según IEEE 1410 – 2004 [57], el 9% de interrupciones temporales por sobretensiones atmosféricas se convierten en fallas permanentes si no es despejada por el disparo de protecciones tipo fusibles, además frente a una descarga atmosférica la acción correcta de interruptores o conmutadores re energizan con éxito la línea, no obstante por el momento no es suficiente frente al incremento de cargas propensos a interrupciones mínimas, convirtiéndose una necesidad urgente e imprescindible la custodia de las líneas frente a sobretensiones atmosféricas.

Un descargador de sobretensión es un elemento que presenta una alta impedancia sin sobretensión (no permite el paso de corriente) excepto una mínima corriente de fuga (1 mA), pero al existir una sobretensión su impedancia baja y tiende a cero de esta manera permite el paso de corriente de la línea a tierra provocando la descarga de la sobretensión [60].

Los elementos que permiten este comportamiento son resistores no lineales construidos con óxidos metálicos empaquetados en pastillas llamados varistores, que tienen un diámetro y una altura, el diámetro me permite dimensionar la amplitud de corriente que se puede descargar (A/mm^2) y la altura el voltaje de operación, de esta manera en el interior del descargador se forma una columna de varistores, para voltajes de 400 kV, 500 kV y 700 kV se construyen descargadores

de más de una columna [61]. La relación entre el voltaje en los terminales y la corriente que pasa por el descargador obedece a la siguiente Ecuación (4.33) [60]:

$$I = B \cdot U^m \quad (4.33)$$

Donde:

I: Corriente de descarga

B: Factor proporcional a la superficie y altura de cada varistor

U: Voltaje residual (voltaje en los terminales del DPS)

m: Factor de no linealidad (entre 30 a 50 para DPS de ZnO, de SiC entre 2 y 6)

Región de alta resistencia, es un estado capacitivo del descargador, se crean corrientes de fuga (mA), aquí se definen las tensiones de servicio (U_s -fase), tensiones de operación continua, tensiones asignadas o nominales (U_r), la función de sobretensiones temporales (TOV), es una región dependiente de la temperatura ambiente (A más grande temperatura ambiente más grande corriente de fuga), es el motivo por la que en épocas de alta temperatura los descargadores incrementan su corriente de fuga, en esta región la conducta del DPS es el de un factor aislador compuesto por un resistor y un capacitor en paralelo, la corriente de fuga es el resultado de la sumatoria de la corriente resistiva más la capacitiva, la corriente resistiva resulta enormemente distorsionada ya que tiene un elemento del tercer armónico bastante significativa, este criterio es bastante usado para identificar el estado de salud del descargador [61]. Una aproximación del comportamiento de esta región se define por medio de las ecuaciones válidas para el modelado en baja frecuencia de un aislador, la resistencia y la capacitancia de la envolvente del descargador se determina de acuerdo a las Ecuaciones (4.34) y (4.35) [32]:

$$R = \left(\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot Df} \right) \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot Df}{r} \right) \quad (4.34)$$

$$C = \left(\frac{\epsilon_r \cdot Df}{2 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot Df}{r} \right)} \right) \cdot \left(\frac{1 \times 10^{-9}}{9} \right) \quad (4.35)$$

Donde

R: Resistencia de la envolvente del descargador

C: Capacitancia de la envolvente del descargador

ρ : Resistividad del material ($\Omega \cdot m$).

Df : Distancia de fuga (m).

r: Radio del DPS (m).

ϵ_r : Permitividad relativa del material.

4.6 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

La coordinación de aislamiento implica la elección de la rigidez dieléctrica del equipo en relación con las sobretensiones que pueden aparecer en el sistema, teniendo en cuenta el entorno en el que se encuentra el equipo de protección ante dichas sobretensiones, los equipos e instalaciones eléctricas están sujetos a posibles daños de aislamientos o de provocar averías o fallas, la elección de la ubicación de los diversos medios de protección no puede ocurrir sólo si se conoce su comportamiento ante sobretensiones [26], por ende para mantener los niveles de aislamiento adecuados para cada uno se debe considerar que el nivel de aislamiento depende de agentes externos como la humedad y su temperatura.

En la Figura 4.4, se indica el comportamiento y cómo se puede obtener la curva de voltaje/tiempo y los criterios de coordinación de aislamiento aplicables individualmente a cada equipo. En la parte superior de la figura, se indican las tensiones soportadas de impulsos atmosféricos mientras que en la parte inferior se indica la tensión soportada a frecuencia industrial en el orden de coordinación correcto, para la coordinación de aislamiento es importante anticipar la probabilidad de que suceda una determinada sobretensión y el valor máximo que pueda aparecer, es decir, es necesario darse cuenta la frecuencia con la que se presenta las distintas sobretensiones.

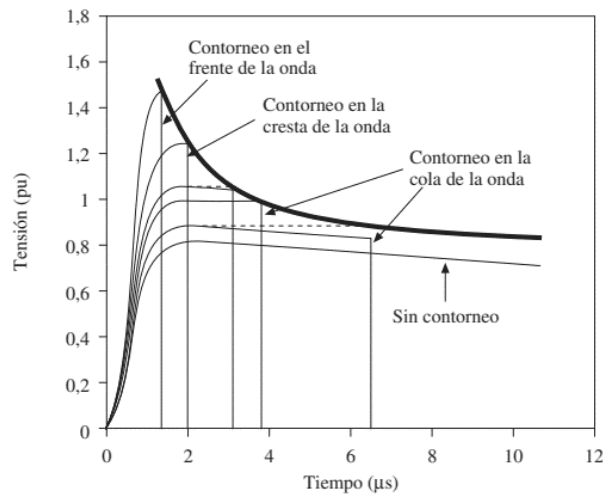


Figura 4.4. Curva de tensión – tiempo [27].

4.6.1 Aislamiento interno

Es el aislamiento que existe entre las partes internas de un equipo eléctrico, los aislamientos internos pueden ser sólido, líquido o gaseoso, los cuales son afectados por efectos atmosféricos como la contaminación, humedad y condiciones externas, por lo cual es importante el cálculo de la tensión soportada de coordinación ante sobretensiones para aislamientos internos con la Ecuación (4.36) [28].

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \cdot \frac{L}{(L_{sp} + L_a)} \quad (4.36)$$

Donde:

U_{cw} : Tensión soportable de coordinación al impulso atmosférico.

U_{pl} : Nivel de protección al impulso tipo rayo del pararrayos.

A : Factor de comportamiento de la línea ante las descargas eléctricas.

n : Número mínimo de líneas conectadas a una subestación.

L : Separación equivalente entre el pararrayos más cercano y el equipo en consideración.

Para las líneas de distribución, las tensiones A son más bajas que para una línea de transmisión de cable único, ya que en las líneas de distribución se producen contorneo entre fases o contorneos múltiples entre fase y tierra que conducen a una distribución de la corriente incluso a una limitación de amplitud de la onda incidente en el caso de la cruceta conectada a tierra, en la Tabla 4.11 se muestra los distintos tipos de voltaje dependiente de las líneas sea para distribución o transmisión de las cuales se puede hallar el factor de comportamiento de la línea ante las descargas eléctricas A .

Tabla 4.11. Factor de comportamiento de la línea ante una descarga eléctrica [29].

Tensiones soportadas de coordinación		A (kV)
Líneas de distribución (contorneos entre fases)	Con cruceta puesta a tierra (contorneo a tierra para tensiones bajas)	900
	Líneas con postes de madera (contorneo a tierra para tensiones altas)	2700
Líneas de transporte (contorneo monofásico a tierra)	Conductor único	4500
	Haz de dos conductores	7000
	Haz de cuatro conductores	11000
	Haz de seis u ocho conductores	17000

4.6.2 Aislamiento externo

Es el aislamiento que existe entre las partes externas de un mismo aislamiento que están expuestas a la influencia de condiciones o agentes que pueden ser el polvo, impureza, etc. El aislamiento externo de los componentes del sistema de distribución es el aire, la resistencia del aislamiento disminuye con respecto a la humedad absoluta y con la altura, es decir, con el aumento de la altura sobre el nivel del mar la rigidez dieléctrica será menor. Por lo tanto; las peores consideraciones para el análisis es tener baja humedad absoluta, baja presión o densidad del aire y alta temperatura. En el campo de trabajo no es necesario tener en cuenta las tres condiciones al mismo tiempo, por lo tanto, se debe considerar las condiciones ambientales promedio de donde se instalará o evaluará [28]. Otra de las cuestiones que se da en un aislador externo es la descarga por contaminación ambiental o denominado (*tracking*), esto forma una capa de material contaminante en la superficie del aislamiento, esto se puede dar por lluvias esporádicas, rocío o nieblas formando

bandas secas del aislamiento en las que se tiene un voltaje aplicado mayor que en el resto de aislamiento, por lo cual es importante el cálculo de la tensión soportada de coordinación ante sobretensiones para aislamientos externos con la Ecuación (4.37) [28]:

$$U_{cw} = 2 \cdot U_{pl} \quad (4.37)$$

4.6.2.1 Nivel Cerámico

El nivel cerámico de un área geográfica está determinada por el número promedio de días con tormentas eléctricas anuales, basado en mediciones con contadores de descargas atmosféricas, uno de los problemas fundamentales para este diseño de aislamiento en redes aéreas de distribución, es tener en cuenta la determinación de número de descargas que pueden ocurrir sobre las redes aéreas en un año [28]. La tasa de salida por descargas atmosféricas en redes aéreas de distribución depende del nivel cerámico dónde se encuentra la red: es decir, si el nivel cerámico es alto entonces la tasa de salida por descargas atmosféricas en líneas aéreas de distribución depende del nivel cerámico dónde se encuentra la línea, si las descargas atmosféricas son altas el nivel de cerámico en la zona también son altas.

4.6.2.2 Nivel de aislamiento debido a efectos del medio ambiente

El comportamiento del elemento aislante externo es variable, la presión, temperatura y humedad cambia el efecto de la contaminación. Se considera condiciones normales los siguientes parámetros:

- Temperatura: 15 °C
- Humedad: baja
- Presión atmosférica: 1 atmósfera (540 mmHg)
- Contaminación: baja

Para condiciones atmosféricas diferentes a las normales, el efecto para corregir la densidad relativa del aire (δ), se puede determinar con las siguientes Ecuaciones (4.38) y (4.39) [28].

$$\delta = \frac{0,298b}{273 \cdot t} \text{ corrección a } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.38)$$

$$\delta = \frac{0,298b}{273 \cdot t} \text{ corrección a } 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.39)$$

Donde

b : Presión atmosférica en milibares

t : Temperatura ambiente en $^\circ\text{C}$

4.6.3 Selección del Nivel de Aislamiento Normalizado

Según [30], La amplitud, la forma de onda y la duración de las tensiones de tensión se determinan típicamente por medio de análisis transitorios del sistema que incluyen las características de los dispositivos limitadores de sobretensión en ubicaciones seleccionadas, es por lo cual el estrés de sobrevoltaje se puede caracterizar de las siguientes formas:

4.6.3.1 Selección según la distancia de fuga requerida

Según [31], la línea de fuga es la distancia que se halla entre las fuerzas conductoras de las que está compuesto el aislador, en las condiciones que son requeridas para los ensayos de tensión disruptiva, la cuál se mide sobre la superficie del aislador, también es la línea de fuga necesaria por la cadena de aisladores para solventar con las necesidades de aislamiento de la línea, esta es determinada de acuerdo al nivel de contaminación del sitio.

Para el cálculo de una cadena de aisladores es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Nivel de contaminación ambiental (K_c).
- Densidad relativa del aire (K_a).

El nivel de contaminación ambiental se cuantifica por medio de un factor llamado de contaminación (Kc) que se define en base a la densidad equivalente de contaminantes en el aire, para cuatro niveles de contaminación las normas IEC e IEEE presentan el correspondiente valor de Kc (mm/kV), según indica la Tabla 4.12 [32].

Tabla 4.12. Factor de contaminación ambiental [33].

Nivel	IEC	IEEE
Ligero	16	27,7
Medio	20	34,6
Fuerte	25	43,3
Muy fuerte	31	53,7

Relación entre IEC y IEEE: $K_{C_{IEEE}} = \sqrt{3} \cdot K_{C_{IEC}} \left(\frac{mm}{kV}\right)$

Según [32], para definir la densidad relativa del aire (Ka), la norma IEC 61869-1, recomienda la siguiente Ecuación (4.40) [32]:

$$K_a = (1.02) \cdot e^{-m \cdot \frac{h-1000}{8150}} \quad (4.40)$$

Donde:

m: es igual a 1 para impulsos tipo rayo y 0.75 para impulsos tipo maniobra.

h: determina la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Por lo cual la distancia de fuga total necesaria está dada bajo los factores Ka, Kc y la tensión máxima de línea a línea ($V_{ll_{max}}$), dada por la Ecuación (4.41) [32]:

$$D_{fuga.total} = \frac{Kc \cdot V_{ll_{max}}}{\sqrt{K_a}} \quad (4.41)$$

Para el cálculo del número total de aisladores que dispondrá la cadena de aisladores, en función de la distancia de fuga de cada aislador dado en valores estándares ($D_{fuga.estandar}$), en las hojas de datos por lo cual se determina la siguiente Ecuación (4.42) [32]:

$$N_{aisl} = \frac{D_{fuga.total}}{D_{fuga.estandar}} \quad (4.42)$$

Para el cálculo del factor de lluvia (K_{ll}) se propone la siguiente metodología en la cual, la selección se da según la gráfica de la Figura 4.5 según el nivel de precipitación se procede a seleccionar el factor K_{ll} [32], es primordial el saber el nivel de precipitación de la zona para poder seleccionar correctamente el factor de lluvia:

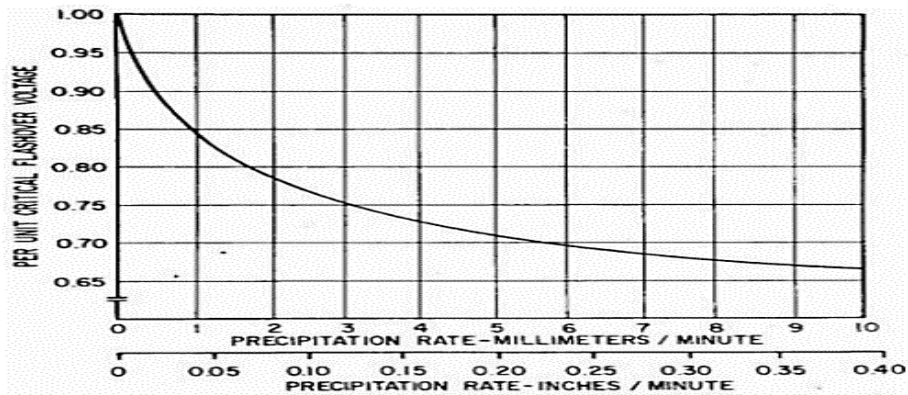


Figura 4.5. Factor de Lluvia. mm/minuto

4.6.3.2 Selección según la tensión crítica de flameo (CFO)

La tensión crítica de flameo es un nivel de voltaje que representa un 50% de probabilidad que superado este valor ocurra el paso de corriente de una fase a tierra o viceversa y se define mediante la Ecuación (4.40) en función del nivel básico de aislamiento estándar (BIL_{st}) [30]:

$$CFO_{st} = \frac{BIL_{st}}{0.961} \quad (4.43)$$

El nivel de aislamiento estándar del equipo generalmente viene dado por un conjunto de dos voltajes soportados estándar. Para equipos en Clase I (15 kV a 242 kV), el nivel de resistencia de aislamiento estándar viene dado por lo siguiente [30]:

- La tensión soportada de baja frecuencia y corta duración.
- El nivel de aislamiento de impulso de rayo básico (BIL).

Las tensiones soportadas estándar para equipos de Clase I se proporcionan en la Tabla 4.13, dichas tensiones se toman de ANSI C84.1-2006 [34], con la excepción de que para medias tensiones la tabla comienza con 15 kV en lugar de 1 kV.

Tabla 4.13. Tensiones soportadas estándar para Clase I ($15 \text{ kV} \leq V_m \leq 242 \text{ kV}$) [30].

Máximo voltaje del sistema (fase a fase) V_m (kV), rms	Nivel básico de aislamiento (fase a tierra) BIL, kV Cresta	Baja frecuencia, resistencia de corta duración (fase a tierra) kV, rms
15	95	34
	110	
26,2	125	40
	150	50
36,2	150	50
	200	70
48,3	250	95
72,5	250	95
	350	140
121	350	140
	450	185
	550	230
145	550	185
	650	230
	750	275
169	550	230
	650	275
	750	325
242	650	275
	750	325
	825	360
	900	395
	975	480
	1050	

Los voltajes soportados en la Tabla 4.13, son voltajes de fase a tierra. Con algunos equipos, la tensión soportada de fase a fase, puede ser la misma que la tensión soportada de fase a tierra como ejemplo los transformadores trifásicos, en cambio con otros equipos, el nivel de aislamiento de fase a fase no está definido (aisladores de apoyo), y el voltaje soportado está dictado por el diseño del conjunto, es necesario establecer el nivel de aislamiento fase a fase, o las distancias requeridas, mediante el procedimiento de coordinación de aislamiento [30]. De igual forma hay que recalcar que el BIL se refiere a los niveles de aislamiento de equipos individuales.

El nivel básico de aislamiento tanto para impulsos tipo rayo como para maniobras debe ser corregido por factores ambientales, densidad relativa del aire (altura, presión, temperatura), por humedad y por lluvia, dada en la Ecuación (4.44) [32]:

$$BIL_{corr} = BIL_{st} \cdot \frac{K_a^{0.5} \cdot K_{ll}}{KH} \quad (4.44)$$

Por ende, para la corrección para la CFO está dado por la Ecuación (4.45):

$$CFO_{corr} = \frac{BIL_{corr}}{0.961} \quad (4.45)$$

Si se reemplaza la ecuación (4.44) en (4.45) se obtiene como resultado la Ecuación (4.46):

$$CFO_{corr} = \frac{BIL_{st} \cdot \frac{Ka^{0.5} \cdot kll}{KH}}{0.961} \quad (4.46)$$

4.6.3.3 Selección según distribución estadística de valores de cresta y valor estadístico de sobretensión

Según [35], el método estadístico se basa en la frecuencia de ocurrencia de una sobretensión específica, la distribución de probabilidades de sobretensión que pertenece a este origen y la probabilidad de descarga de aislamiento. Alternativamente, el riesgo de falla se puede determinar combinando los cálculos de probabilidad de sobretensión y descarga al mismo tiempo, paso a paso, teniendo en cuenta la naturaleza estadística de las sobretensiones y descargas por medio de procedimientos adecuados, por ejemplo, utilizando en método de Monte Carlo.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se evalúan los resultados que se obtuvieron mediante pruebas de laboratorio, simulaciones y cálculos realizados. En la Sección 5.1 se presenta el análisis en aisladores, para determinar el nivel de soportabilidad o el punto crítico de disrupción del aislamiento para los diferentes tipos de aisladores sometidos a prueba. Luego, en la Sección 5.2 se encuentra el análisis en transformadores, en el cual dispone de los resultados en ensayos de relación de transformación, resistencia de aislamiento, junto con el modelado. En la Sección 5.3 se muestra el análisis de cables, en función de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia de aislamiento y presenta el modelo para cables de tipo XLPE y preensamblado, con el fin de poder analizar los límites térmicos de los cables. Finalmente, en la Sección 5.4 se plantea un caso de estudio, donde se modela un tramo de media tensión, para identificar si el aislamiento ha sido correctamente dimensionado.

5.1 ANÁLISIS EN AISLADORES

En la presente Sección se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de aisladores realizados en laboratorio, con la finalidad de determinar la diferencia del CFO en los aisladores analizados entre valores calculados, simulados y registrados, teniendo en cuenta los factores ambientales en un sistema de distribución de MT.

5.1.1 Modelo de pruebas ante sobretensiones temporales

Para el modelado de las pruebas se tiene la caracterización del ambiente, de igual forma la determinación de condiciones a las cuales estará sometido el equipo, es por lo cual las siguientes características son parámetros generales para todos los aisladores, dichos parámetros son seleccionados en función a los factores ambientales presentes en Latacunga sector San Felipe, en la universidad Técnica de Cotopaxi:

Tensión de red ($V_{ll_{max}} = 13.8 \text{ kV}$)

Factor de densidad relativa de aire ($ka = 0.87$)

Factor de lluvia ($k_{ll} = 0.72$)

Factor de humedad ($k_H = 1$)

Factor de contaminación ($k_c = 20$)

Los parámetros anteriormente mencionados son los que se ocupan para el correcto funcionamiento del modelado general del aislador como se puede observar en la Figura 5.1, mediante las Ecuaciones (4.14) y (4.15) se determina los valores de la resistencia y capacitancia usada para el modelado del aislador.

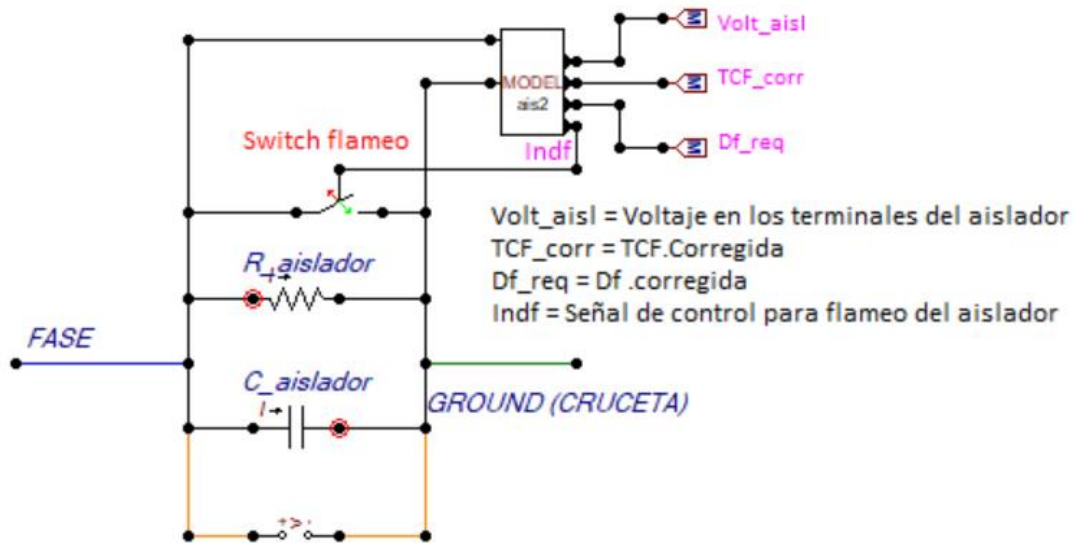


Figura 5.1. Modelo general del aislador a frecuencia industrial.

En la Tabla 5.1 se muestran las características estándares con las que se analizó cada uno de los equipos, obtenidos en función a cálculos y condiciones de aisladores en la provincia, el análisis previo es realizado ante la presencia de frecuencia industrial, de la misma manera se describen parámetros generales que son tomados en consideración para el análisis.

Tabla 5.1. Datos característicos de los aisladores analizados.

Aislador	Resistencia (Ω)	Capacitancia (F)	Distancia de fuga (mm)	Material	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	7.0308E+12	5.2819E-11	305	Porcelana procesada en húmedo	7,00E+12
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	6,53E+12	5,6903E-11	330	Porcelana procesada en húmedo	7,00E+12
Aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	9,15E+12	4,058E-11	178	Porcelana procesada en húmedo	7,00E+12
Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	1,807E+13	2,055E-11	77.5	Porcelana procesada en húmedo	7,00E+12
Aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	1,91E+13	1,9486E-11	57.15	Porcelana procesada en húmedo	7,00E+12
Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI ds-15, 15 kV (6)	1,21E+11	4,375E-11	355	Polímero resistente a diferentes condiciones climatológicas	1,00E+11

En la Figura 5.2, se puede ver un esquema de conexión de clase ANSI 55-5, compuesto por una fuente alterna la cual internamente es configurable ante parámetros y condiciones que se requiera, luego dispone el modelo agrupado del aislador (Figura 5.1), el cual internamente está constituido por parámetros y factores según el caso de estudio y finalmente está compuesto por una resistencia que simula el sistema de puesta a tierra en casos de estudio más amplios se requiere hacer un análisis de dicho elemento.

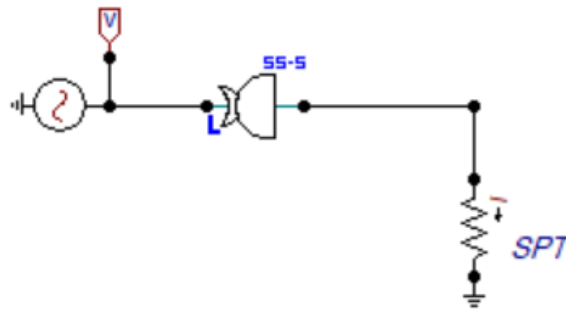


Figura 5.2. Módulo de conexión y prueba para aisladores en condición de frecuencia industrial.

Para el análisis del aislador depende de valores estándares y factores ambientales, por lo cual una vez condicionado los equipos y fuentes al punto crítico de análisis se puede observar el punto de disrupción si cumple o no bajo las consideraciones pertinentes que se le otorgue, las cuales se visualizan en la siguiente manera en la Figura 5.3.

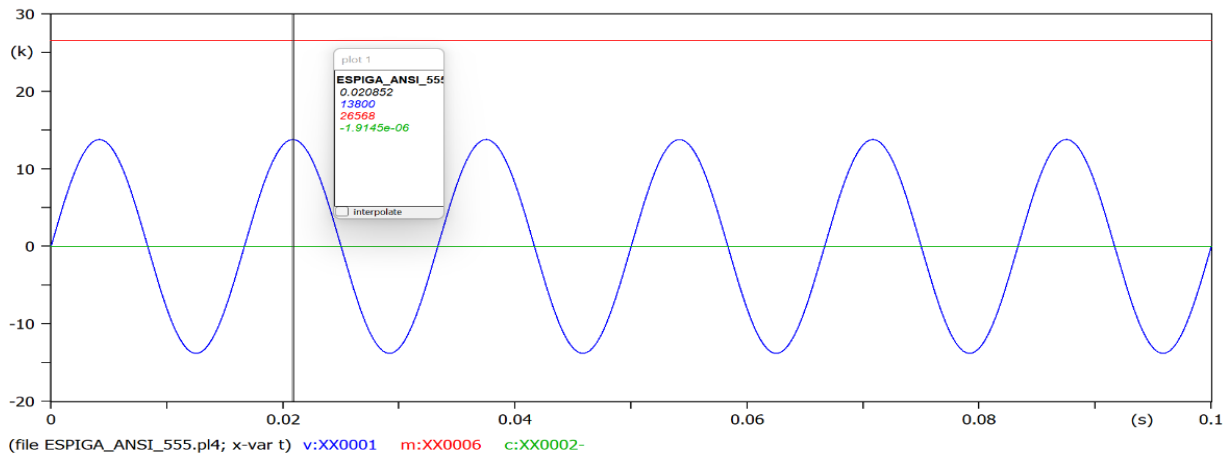


Figura 5.3. Comportamiento del aislador en condiciones normales.

Como se observa en la Figura 5.3, se ve la forma de actuar del aislador bajo condiciones normales, la curva de color azul muestra la tensión aplicada en el aislador la cual por el caso es de 13,8 kV como sería en una red de distribución convencional dentro de la zona, la línea de color rojo junto a su valor de 26.568 kV determina el límite máximo de tensión crítica de flameo, por lo cual no existe una variación en la curva de la línea verde la cual presenta el comportamiento de corrientes de fuga ante sobretensiones en el aislador, y se observa que el valor es de 0A, razón por la cual se define que el aislador está actuando en condiciones normales.

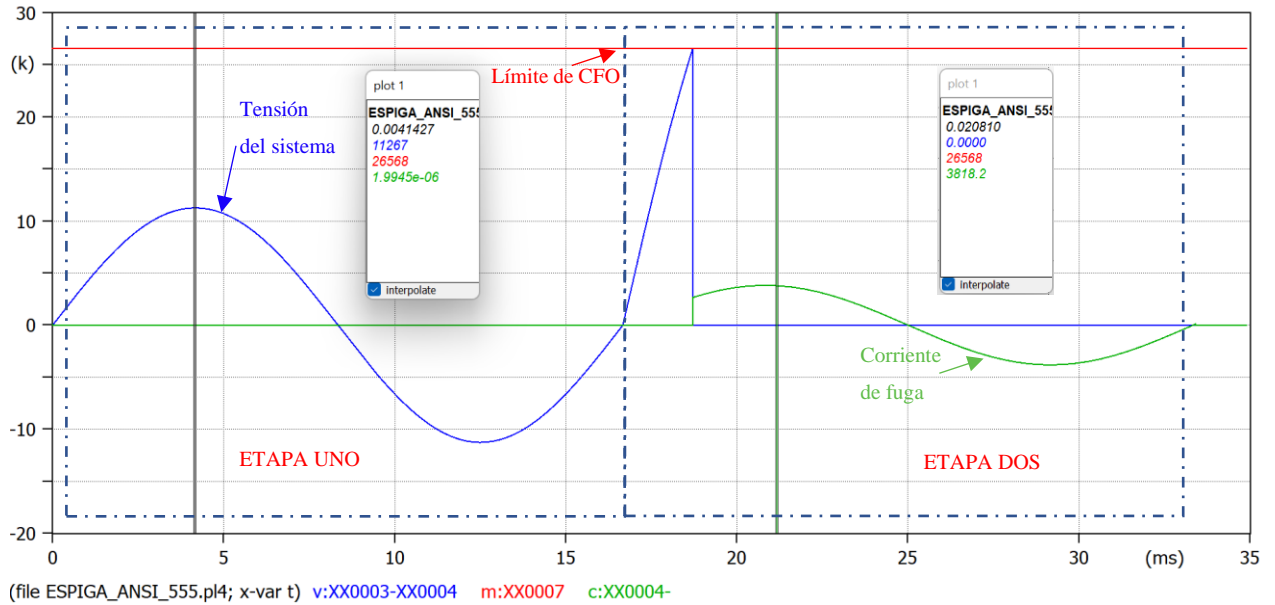


Figura 5.4. Comportamiento del aislador bajo condiciones de una sobretensión de tipo maniobra.

En la Figura 5.4, se presenta el comportamiento del aislador en un tiempo de 35 ms, la señal de color azul es la tensión pico de 11,267 kV en bornes del aislador en la etapa uno (de 0 a 16 ms), el cual se encuentra trabajando bajo condiciones normales (Figura 5.3), en la etapa dos la tensión máxima de interrupción tiene un valor constante de 26.568 kV (Limite de CFO), cuando la tensión aplicada en bornes supera mencionado limite se da el proceso de interrupción del aislador llevando a un valor de 0 V, este proceso da inicio a los 16 ms permitiendo la presencia de corrientes de fuga con un valor de 3.8 kA en su cresta, mostrada por la señal de color verde.

A partir de las indicaciones anteriores se procede a realizar la Tabla 5.2 en la que están presenta los resultados de tensión critica de flameo (CFO) en función al tipo de aislador, sus tensiones son calculadas y simuladas, todos estos resultados a su vez son analizados en condiciones secas y húmedas.

Tabla 5.2. Tensión crítica de flameo para diferentes tipos de aisladores

Tipo de aislador	Valores calculados		Valores de simulación	
	Tensión crítica de flameo en seco (kV)	Tensión crítica de flameo en húmedo (kV)	Tensión crítica de flameo en seco (kV)	Tensión crítica de flameo en húmedo (kV)
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	50,4113	28,3563	47,23	26,568
aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	59,8634	37,8085	56,08	35,42
aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	37,8085	18,9042	35,42	17,71
aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	15,7535	9,4521	14,76	7,084
aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	22,5493	11,3425	22,43	10,62
aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV (6)	53,7100	38,7900	53,13	38,37

En la Figura 5.5, se puede observar que el error absoluto entre los valores calculados y simulados en ATPDraw es inferior al 3,78 kV. Esto se debe a que el modelo es una simplificación del aislamiento físico, lo cual implica que los resultados no van a coincidir.

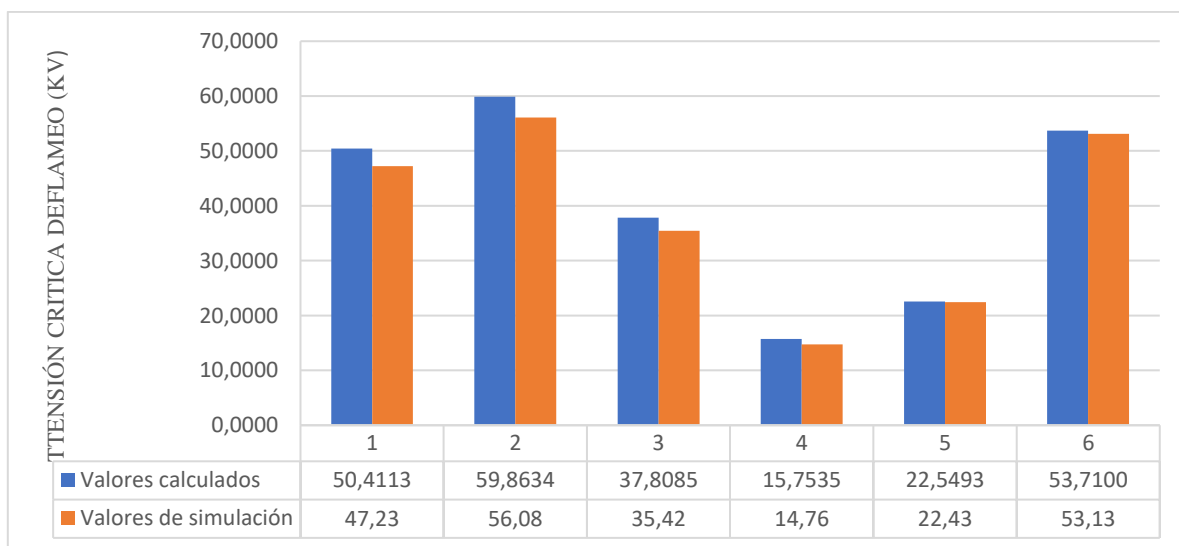


Figura 5.5. Variación entre valores calculados y simulados.

La Tabla 5.3, se presentan los resultados obtenidos en pruebas del laboratorio de los aisladores los cuales, en el laboratorio de Alto Voltaje, se dispone de equipos nuevos y usados en su gran parte, una de las limitaciones es el equipo de inyección de tensión (HV HIPOT *control Unit*) para la prueba ya que tiene un máximo de tensión aplicable de 60 kV, y según los valores estándares de los aisladores son superiores a dicha tensión disponible, es el caso de aislador (1), (2), (3) y (6), que su CFO en condiciones secas son superiores a 60 kV, de igual forma no se dispone de todos los equipos nueva o usada bajo las mismas características, es por lo cual no se procedió a realizar el ensayo correspondiente en función a la disponibilidad, a continuación con los aisladores que se realizaron las pruebas se realiza el análisis según la gráfica creada en la Figura 5.6.

Tabla 5.3. CFO en aisladores nuevos y usados ante condiciones seca y húmeda.

Tipo de aislador	Valores de pruebas de laboratorio				Valores estándares	
	Tensión crítica de flameo en seco nuevo (kV)	Tensión crítica de flameo en seco usado (kV)	Tensión crítica de flameo en húmedo nuevo (kV)	Tensión crítica de flameo en húmedo usado (kV)	Tensión crítica de flameo en seco (kV)	Tensión crítica de flameo en húmedo (kV)
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	-	-	52	48,8	80	45
aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	-	-	-	-	95	60
aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	-	-	29,5	-	60	30
aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	31,1	26,8	17,1	12,7	25	12
aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	36,9	-	21,9	-	38	18
aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV (6)	-	-	-	-	90	65

Para poder visualizar los resultados obtenidos en el laboratorio en la Tabla 5.3 se puede dirigir al ANEXO B en el cual se encuentran todos los registros realizados en el laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi, estos registros se encuentran subdivididos por el nombre

de cada aislador analizado es por lo dentro de ello se pueden encontrar cada una de las pruebas realizadas como por ejemplo 01-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_USADO) el cual corresponde a la prueba de contorneo en un aislador ANSI 55-5 en condiciones húmedas y estado usado.

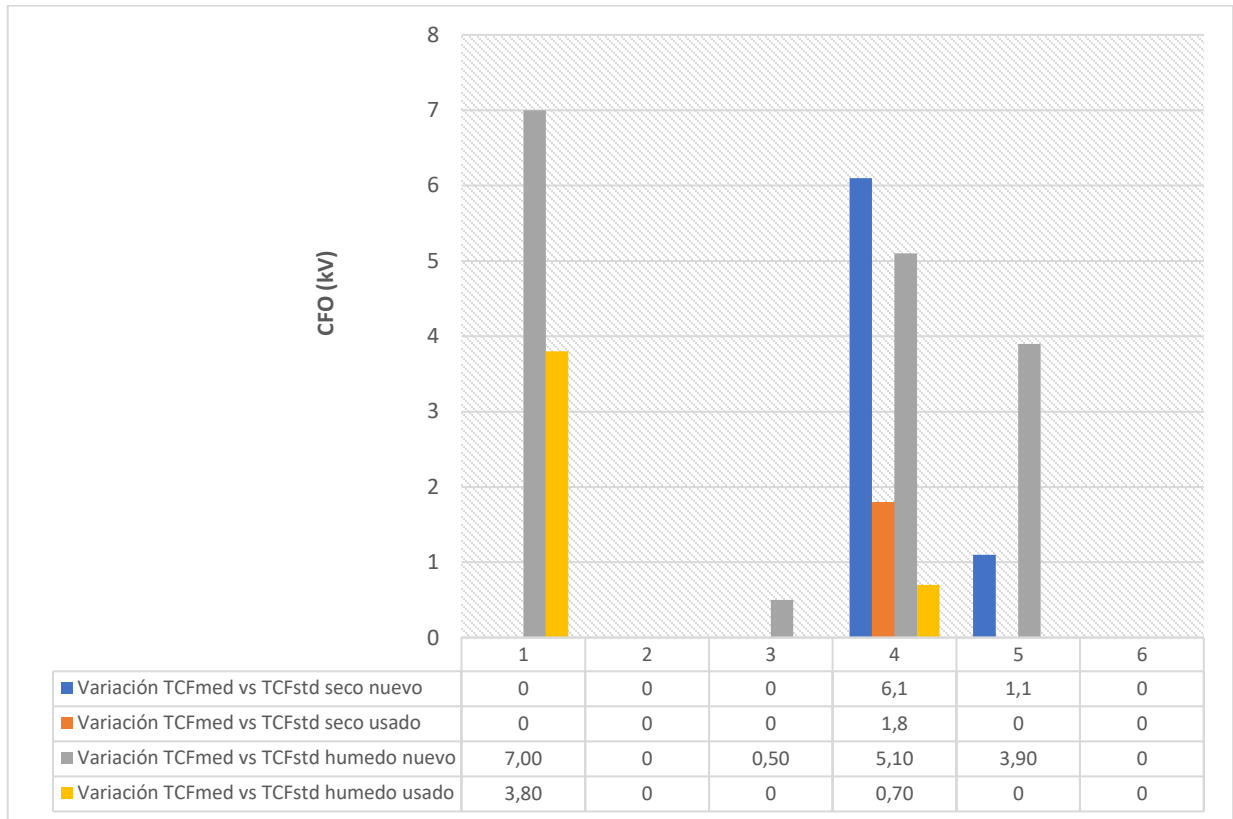


Figura 5.6. Variación CFO del resultado de laboratorio vs valores estándares según condiciones secas y húmedas.

En la Figura 5.6 se puede observar la variación que se da entre valores medidos en laboratorio y valores estándares que vienen dados por los fabricantes en catálogos, es por lo cual según la normativa y el criterio de aceptación para esta prueba dice que, si el aislador disrumpe 95%, antes de su valor estándar el aislador debe ser rechazado en dicho ensayo, según la posibilidad de análisis se puede hacer de 4 aisladores el (1), (3), (4) y (5), en lo cual el (3) presenta un valor negativo ya que es menor al de tensión estándar, pero por ello no es rechazado ya que tiene un valor superior al 95% en su tensión de disrupción permitiendo aprobar la prueba, es el mismo caso en el aislador (5) pero en condiciones húmedas, en el caso de los demás aisladores disponen de valores positivos

esto significa que están en óptimas condiciones de funcionamiento e incluso superan el valor estándar de tensión del fabricante.

Tabla 5.4. CFO de aisladores bajo condiciones de contaminación y bajas temperaturas.

Tipo de aislador	Valores de pruebas de laboratorio			
	Tensión crítica de flameo en baja temperatura nuevo (kV)	Tensión crítica de flameo en baja temperatura usado (kV)	Tensión crítica de flameo en contaminación nuevo (kV)	Tensión crítica de flameo en contaminación usado (kV)
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	49,4	48,5	34,5	25,1
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	-	-	-	-
Aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	12,5	-	27,2	-
Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	21,9	20,9	29,2	10,7
Aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	17,1	-	15,2	-
Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI ds-15, 15 kV (6)	-	-	-	-

En la Tabla 5.4, se presentan resultados de pruebas adicionales las cuales fueron sometidas a baja temperatura (6°C aproximadamente), y contaminación en la cual para el estudio los aisladores fueron sometidos en agua y a su vez tierra simulando una fuerte contaminación con materiales del ambiente, como se dijo en los análisis anteriores la principal causante de deterioro de los aislamientos son los factores ambientales por lo cual en dichas pruebas fue comprobado ya que a la existencia de menor temperatura el aislador tiende a disrumpir de un tiempo más rápido y a una tensión mucho menor a la estándar es el caso del aislador (3), que bajo condiciones de baja temperatura se dio una disrupción a los 12,5 kV siendo la tensión estándar 60 kV es de esta forma en la que se comprueba lo anterior mencionado, en el caso del análisis bajo contaminación los aisladores tuvieron un comportamiento al análisis de húmedo ya que su tensión de disrupción se

asemeja, pero en este caso se presentó una variante notable la cual es el umbral audible, que se presentó a una menor tensión.

5.1.2 Modelo de pruebas ante sobretensiones transitorias

En la Tabla 5.1 se muestran las características estándares con las que se analizó cada uno de los equipos, obtenidos en función de cálculos y consideraciones de aisladores bajo condiciones de la provincia, el análisis previo es realizado ante altas frecuencias, por lo cual dichos datos son los que se ocupan para el correcto funcionamiento del modelo general de aislador, ver Figura 5.7, ante sobretensiones transitorias.

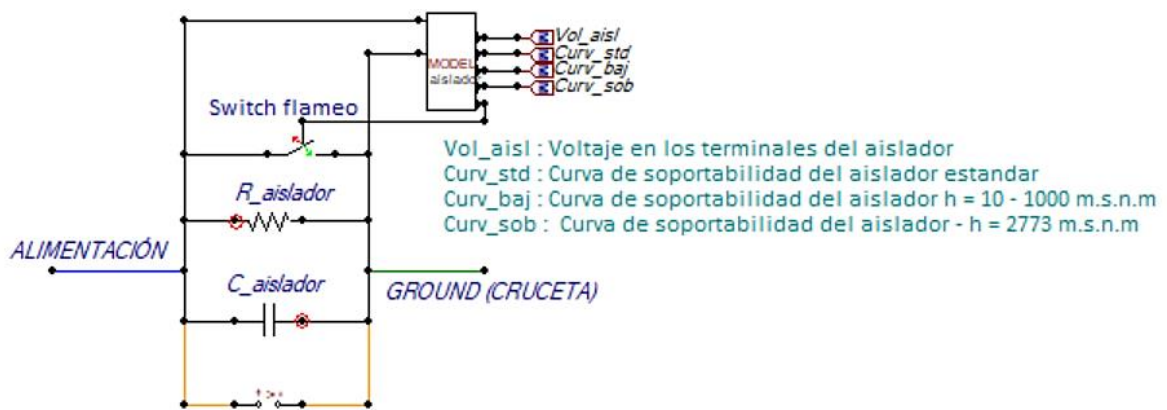


Figura 5.7. Modelo general del aislador ante altas frecuencias.

Como se puede ver en la Figura 5.8, es un esquema el cual está compuesto por una fuentes normadas de sobretensiones de varios tipos, dichas fuentes son configurables a parámetros y condiciones que se requieran, luego dispone el modelo agrupado del aislador el cual internamente se ve en la Figura 5.7, este está constituido por parámetros y factores según el caso de estudio y finalmente está compuesto por una resistencia que simula el sistema de puesta a tierra en casos de estudio más amplios se requiere hacer un análisis de dicho elemento.

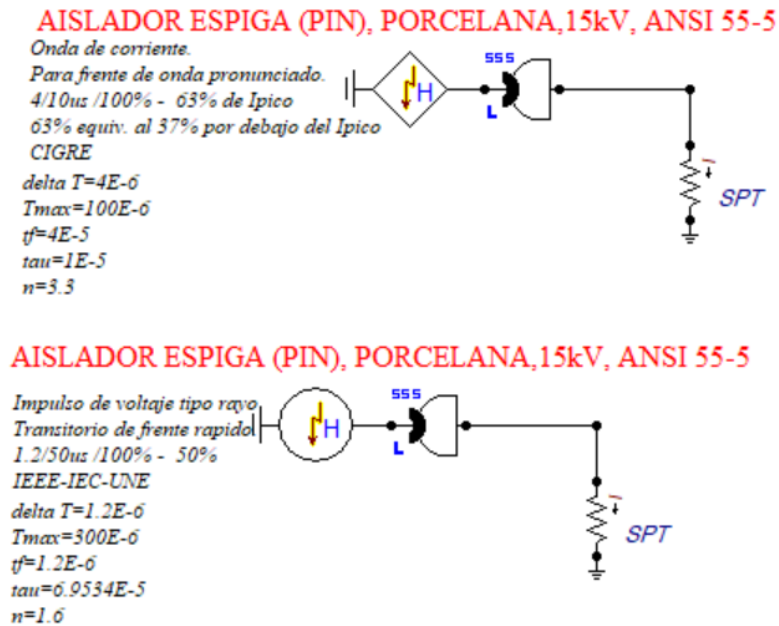


Figura 5.8. Módulo de conexión y prueba para aisladores en condiciones de altas frecuencias.

Dicho módulo está constituido por varias fuentes, las cuales simulan la magnitud y tiempo que existe ante cada tipo de sobretensión que se tiene en consideración, al momento de activar una de ellas se debe tener en cuenta el parámetro de tiempo de integración ya que esta varía dependiendo a la fuente que se analice, luego se dispone de un elemento agrupado el cual está internamente constituido por el modelo de la Figura 5.7, finalmente se tiene a disposición un sistema de puesta a tierra el cual es una resistencia aterrizada en dicho elemento es el que nos permite determinar si existen corrientes de fuga ante la presencia de las sobretensiones aplicadas.

A partir de las indicaciones anteriores se procede a realizar las Tabla 5.5 y Tabla 5.6 las cuales presentan los distintos resultados en función al tipo de aislador y sus condiciones de análisis, teniendo el criterio en consideración las condiciones de seco y húmedo.

Tabla 5.5. CFO resultantes en fuentes de sobretensiones transitorias parte 1.

Tipo de aislador	Valores de simulación					
	CFO (kV) en Onda de corriente tipo rayo para impacto indirecto 8/20 us	CFO (kV) Onda de corriente tipo rayo para impacto directo 10/350 us	CFO (kV) Onda de corriente tipo maniobra 30/60 us	CFO (kV) Onda de tipo escarpado 4/10 us	CFO (kV) Onda de corriente tipo rayo para impacto indirecto 8/20 us	CFO (kV) Onda de corriente tipo rayo para impacto directo 10/350 us
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	611,1	715,5	330,1	780,8	530,5	1190
aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	754,6	834,6	429,7	903,5	621,65	1490,6
aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	298,67	501,4	198,5	609,54	311,8	645,8
aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	242,36	469,73	187,83	593,35	269,28	564,60
aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	519,3	618,4	296,5	629,6	486,2	1034,8
aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV (6)	796,24	767,07	405,17	665,85	703,12	1505,00

En la Tabla 5.5 y Tabla 5.6 se muestran las tensiones críticas de flameo obtenidas ante sobretensiones de tipo transitorias, es por lo cual el análisis se da en las CFO ya que esto depende del tipo de onda a la que está siendo sometido, dentro de las normas de la IEEE IEC y la CIGRE hay ondas de carácter normalizado el cual permite el estandarizar este tipo de eventos, como en este caso en las tablas se determinan valores de CFO en kV siendo el soporte de mayor magnitud es el caso del aislador (6), ante una onda de Impulso de voltaje tipo rayo 1,2/50us da como resultado una tensión de disrupción de 1150,12 kV, ante los datos de catálogo son un valor muy bueno ya que todo dependerá del materia y especificaciones para soportar dichas tensiones, en cuestión al resto de aisladores actúan de la misma forma teniendo la diferencia la CFO a la cual estarán

disruptando su aislamiento, los para metros que en consideración se tienen en este tipo de eventos es que tipo de fuente se va usar ante el análisis de sobretensión ya que estas fuentes tiene dos características esenciales en un impulso el primero es un tiempo de subida al punto máximo en μs y el segundo un tiempo de bajada, hasta la mitad del máximo, en μs .

Tabla 5.6. CFO resultantes en fuentes de sobretensiones transitorias parte 2.

Tipo de aislador	Valores de simulación					
	CFO (kV) Impulso de voltaje tipo rayo 1,2/50 us	CFO (kV) Impulso de voltaje tipo maniobra 250/2500 us	CFO (kV) Impulso de voltaje tipo rayo 1,2/50 us CIGRE	CFO (kV) Impulso de voltaje tipo maniobra 250/2500 us CIGRE	CFO (kV) Onda de corriente tipo maniobra 30/60 us	CFO (kV) Onda de corriente tipo maniobra 30/60 us CIGRE
Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV (1)	938,7	211,5	627,5	188,7	225,3	659,7
aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-1, 25 kV (2)	1240,65	302,48	843,9	356,7	376,9	743,6
aislador de suspensión, de porcelana, clase ANSI 52-1, 7,5 kV (3)	876,04	176,4	543,98	78,65	132,81	298,18
aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV (4)	675,4	99,56	432,33	45,66	225,30	659,70
aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-3 (5)	912,76	228,02	612,78	148,3	186,22	530,6
aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV (6)	1150,12	356,48	793,23	250,94	147,14	401,50

5.2 ANÁLISIS EN TRANSFORMADORES

Los transformadores son equipos eléctricos que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica, habitualmente incrementando o reduciendo los valores de tensión y de corriente eléctrica a la misma frecuencia del sistema. Un transformador que al recibir energía y al devolverla

lo hace a una tensión más alta, se le llama transformador elevador, o puede devolverla a una tensión más baja, a esta clase de transformador se le nombra transformador reductor, por lo cual es fundamental analizar el estado en las que está los transformadores.

5.2.1 Resistencia de aislamiento en transformadores de distribución

En esta parte se determinará el nivel de aislamiento que contienen los transformadores de distribución que se encuentran ubicados en el laboratorio de alto voltaje F-CIYA, estos transformadores cuentan con los terminales en buen estado para realizar las pruebas de resistencia de aislamiento y para la prueba de relación de transformación no cuenta con el terminal de taps por lo que no se realizará dicha prueba.

A continuación, se muestra los pasos importantes que hay que revisar antes de proceder a realizar dicha prueba, posteriormente revisar las conexiones pertinentes para cada caso de medición de resistencia de aislamiento para finalmente tomar lectura, así como se menciona en el literal 3.

1. Revisar la fecha de calibración del megóhmetro a utilizar en la prueba.
2. Realizar la conexión correspondiente para cada caso.
3. Tomar lecturas de la resistencia de los devanados cada 10 segundos para el primer minuto de prueba, posteriormente cada minuto hasta completar los 10 minutos de prueba.

Para realizar esta prueba se utilizó el megóhmetro digital de la marca Fluke 1555 1550 C de la Figura 5.9.



Figura 5.9. Medidores de aislamiento Fluke 1555 y 1550C.

Para la medición de resistencia de aislamiento se aplicó las condiciones según Tabla 5.7 datos específicos del transformador según las normas estudiadas y la temperatura ambiente en el momento de la prueba, tomando en cuenta las conexiones presentadas en el registro 02-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN).

Tabla 5.7. Voltaje y tiempo aplicado al equipo de medición para los transformadores

Modelo	Transformador monofásico 3024292 Ecuatran 25kVA			Transformador monofásico 6325199 Ecuatran 3kVA			Transformador monofásico 12551310 Ecuatran 25kVA			Transformador trifásico PadMounted de 2 kVA 220V – 480V		
	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra
Voltaje de prueba	5000	5000	1000	5000	5000	5000	5000	5000	1000	500	500	500

Al realizar la prueba se van tomando lecturas cada diez segundos hasta el primer minuto y posteriormente cada minuto hasta completar los diez minutos de prueba y se aplicó un voltaje recomendado. Las lecturas tomadas para este caso se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Resistencia de aislamiento en transformadores de laboratorio y criterio de aceptación.

Modelo	Transformador monofásico 3024292 Ecuatran 25 kVA			Transformador monofásico 6325199 Ecuatran 3 kVA			Transformador monofásico 12551310 Ecuatran 25 kVA			Transformador trifásico PadMounted de 2 kVA 220V – 480V		
	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra	Alta vs Baja	Baja vs Alta	Baja vs Tierra
IP	1,000	1,000	1,000	1,101	1,244	1,030	1.101	1.101	1.101	2.080	2,163	2,074
DAR	1,000	1,000	1,000	1,077	1,039	1,040	1.077	1.077	1.077	1,552	1.848	1,538
Aprobó.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI

Los resultados mostrados en la Tabla 5.8, presentó en tera ohmios durante el minuto de prueba, estos valores fueron constantes desde el inicio de la prueba hasta el final. En los tres casos de la prueba nos arrojó los mismos resultados. Gracias a los resultados de la prueba se procedió a calcular y analizar IP y el DAR estos parámetros se calculó con las ecuaciones especificadas en la Sección 4.4.2.

Tomando en cuenta los criterios de aceptación de la Sección 4.4.2 se determina que los transformadores evaluados en laboratorio presentan un índice de polarización (IP) igual 1 y la prueba está en un rango de 1 a 2 y el índice de absorción (DAR) igual a 1 que nos indica que la prueba está en un rango de 1 a 1,25 y considerando la tabla realizada en la Sección 4.4.2, se dice que todos los transformadores puestos en prueba son marginales. Con esto se verificó que los transformadores puestos en prueba no cumplen con los criterios de aceptación del IP ni del DAR, excepto el transformador PAD MOUNTED, el cual cumple con los criterios de aceptación tanto del índice de polarización como en el índice de absorción dieléctrica, por lo que se identifica que el transformador pasa la prueba y es aceptado.

5.2.2 Modelado de Transformadores

Para el modelado de transformadores se consideró los datos de la placa para el cálculo de los parámetros a utilizar en el modelado de los transformadores, este proceso se aplicó para todos los transformadores de la Tabla 5.7, con el fin de poder visualizar los voltajes de la entrada y de salida, e identificar si los voltajes cumplen con los datos de la placa, ya que estos transformadores se tomarán en cuenta en el tramo escogido para el caso de estudio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

En la Tabla 5.9 se puede identificar los parámetros de resistencia, inductancia, resistencia magnetización e inductancia de magnetización que será utilizado en el modelado de los transformadores en ATPDraw.

Tabla 5.9. Datos calculados para el modelado de transformadores en ATPDraw.

Transformador monofásico				Transformador monofásico				Transformador monofásico			
3024292 Ecuatran 25 kVA				6325199 Ecuatran 3 kVA				12551310 Ecuatran 25 kVA			
Media Tensión (22860 V)		Baja Tensión (240 V)		Media Tensión (7620 V)		Baja Tensión (240 V)		Media Tensión (7620 V)		Baja Tensión (240 V)	
R1 (Ω)	0,01152	R2 (Ω)	0,0115	R1 (Ω)	96,774	R2 (Ω)	96,774	R1 (Ω)	11,61	R2 (Ω)	11,61
L1 (mH)	0,1039	L2 (mH)	0,1039	L1 (mH)	949,79	L2 (mH)	949,79	L1 (mH)	40,05	L2 (mH)	40,05
Rm (Ω)	576			Rm (Ω)	19354 8			Rm (Ω)	592493, 8		
Lm (mH)	153,807			Lm (mH)	1047,0 7			Lm (mH)	314,918		

En la Tabla 5.10 se tiene los valores de cargas para cada modelo de transformador dependiendo con las especificaciones de la placa del fabricante, de la misma manera estos cálculos se repiten para todos los modelos de los transformadores.

Tabla 5.10. Datos de la carga para cada modelo de transformador.

Transformador monofásico		Transformador monofásico		Transformador monofásico	
3024292 Ecuatran 25 kVA		6325199 Ecuatran 3 kVA		12551310 Ecuatran 25 kVA	
Pc	20 kW	Pc	2,40 kW	Pc	20 kW
Qc	15 kVA-inductivo	Qc	1,8 kVAR-ind	Qc	15 kVA-inductivo
Rc (Ω)	0,4623	Rc (Ω)	3870,96	Rc (Ω)	1864,008
Xc (Ω)	0,3467	Xc (Ω)	2903,22	Xc (Ω)	1397,81
Lc (mH)	0,9197	Lc (mH)	7701,03	Lc (mH)	3698,38

En la Figura 5.10 se muestra el modelo equivalente del transformador monofásico referido a lado de, 22860 V a frecuencia industrial, el modelado cuenta con un voltaje pico de entrada de, 32328,1 V resistencias e inductancias y estos valores están especificados en la Tabla 5.10.

El modelado cuenta también con cargas inductivas y capacitivas en la salida del transformador y los valores están especificados en la tabla 4 este modelado se hizo con el fin de ver el

comportamiento del voltaje de entrada y salida, con lo cual se verá si está cumpliendo con los voltajes adquiridos en la placa.

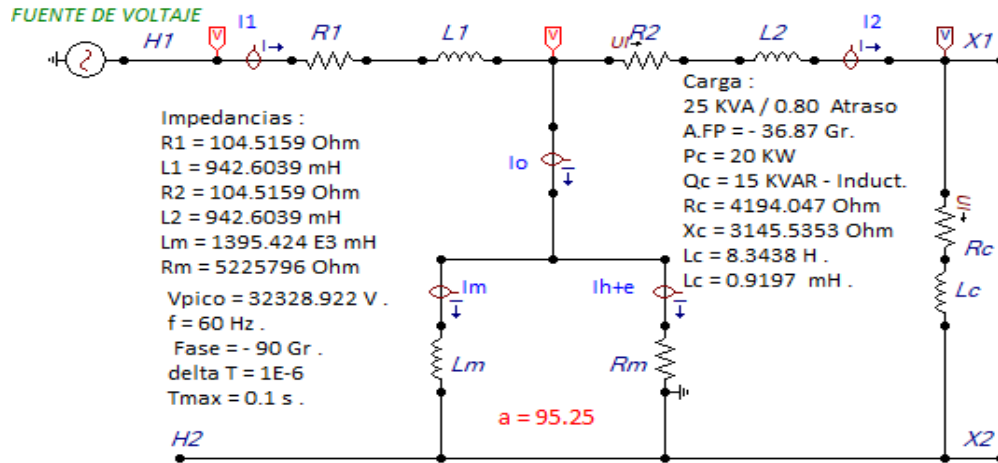


Figura 5.10. Modelado de un transformador monofásico referido al lado de 22860 V.

También se tiene el modelado del transformador ahora referido al lado de baja tensión como se muestra en la Figura 5.11, que cuenta con resistencias e inductancias en el lado de media y baja tensión, de la misma manera cuenta con las cargas en la salida del transformador, estos datos están especificados en la Tabla 5.9.

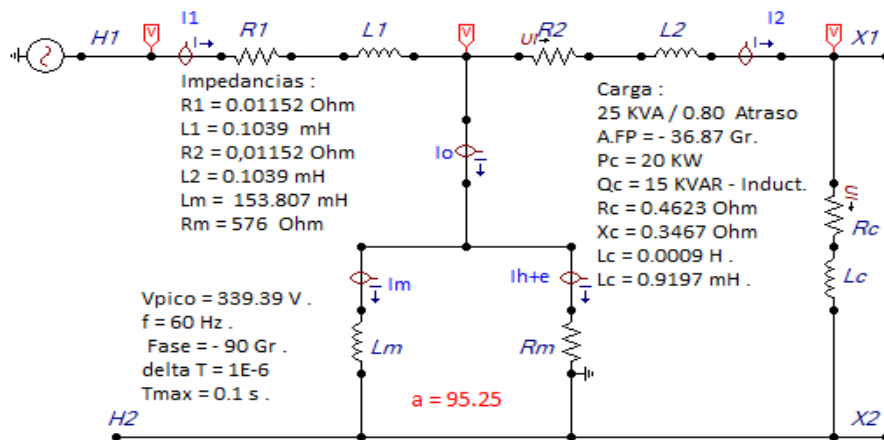


Figura 5.11. Modelado de un transformador monofásico referido al lado de 240 V.

El modelado presenta voltajes de entrada y salida del transformador sin carga, por lo cual, la onda de color rojo presenta el voltaje de entrada en el lado de media tensión dado en pico y la onda de color verde presenta el voltaje de salida en el lado de baja tensión dado en voltaje pico. Con esto se puede verificar que el modelado cumple con los voltajes dados en la placa.

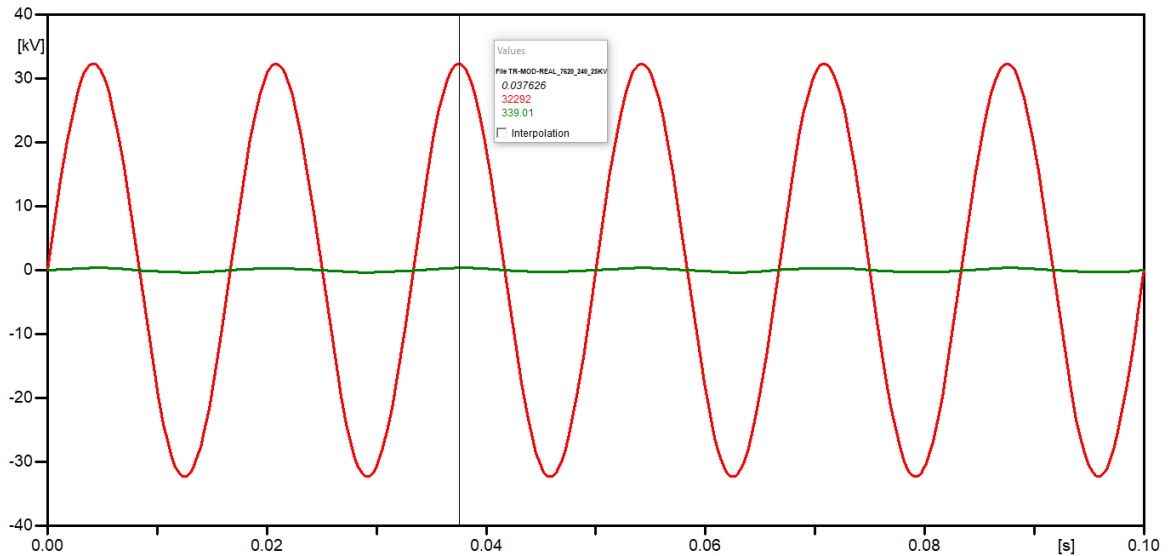


Figura 5.12. Voltaje pico de entrada y salida del transformador 25 kVA.

En la Figura 5.12 se tiene el modelado del transformador, para este modelo se está utilizando un transformador ideal que nos presenta el mismo ATP con el fin de poder visualizar la corriente de energización o corriente Inrush al energizar los transformadores puestos en prueba.

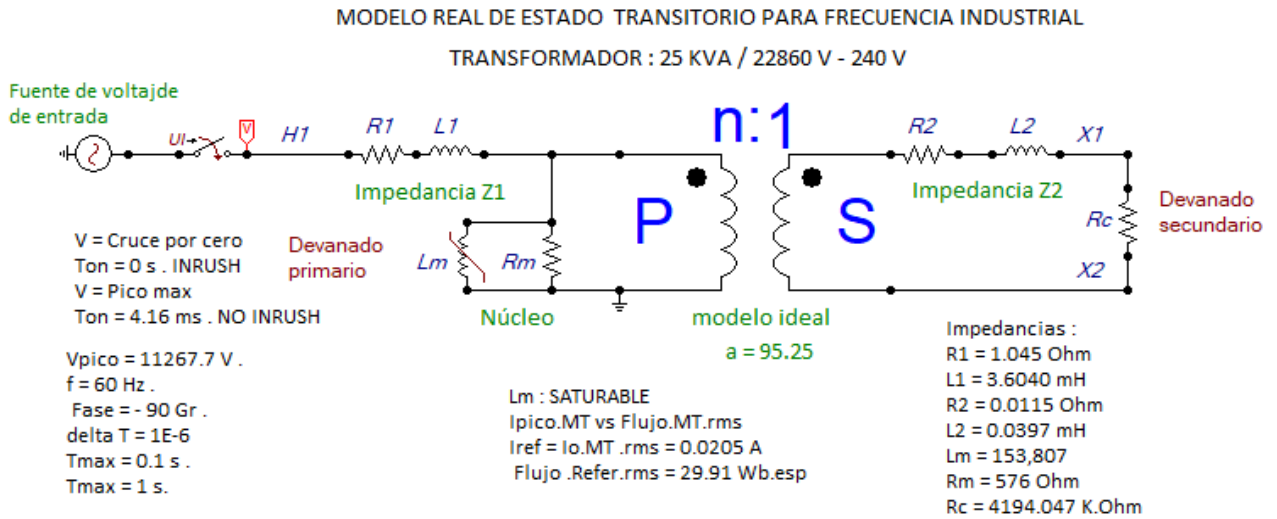


Figura 5.13. Módulo de conexión del transformador de 25 kVA.

La corriente Inrush o también llamado corriente de avalancha, es una condición transitoria que se muestra rápidamente luego de la energización de un elemento eléctrico; como un transformador o un circuito de distribución.

Una vez que un transformador se energiza por primera vez o es re-energizado luego de una interrupción, el transformador experimenta una corriente de Inrush del sistema, porque la magnetización del núcleo puede no estar sincronizado con el voltaje. Y la corriente de Inrush puede aproximarse a valores de cortocircuito, valores cercanos a 40 veces la corriente de carga del transformador, por esta razón se modeló el transformador de la figura 4 con el fin de poder ver el comportamiento de la corriente Inrush en el transformador puesto a prueba, así como se puede ver en la Figura 5.14, esta corriente se presenta cuando el voltaje cruza por cero apareciendo una corriente Inrush y se demora aproximadamente 0.2 s en estabilizar. La corriente presenta un pico máximo de 92.582 A al ejecutar el transformador.

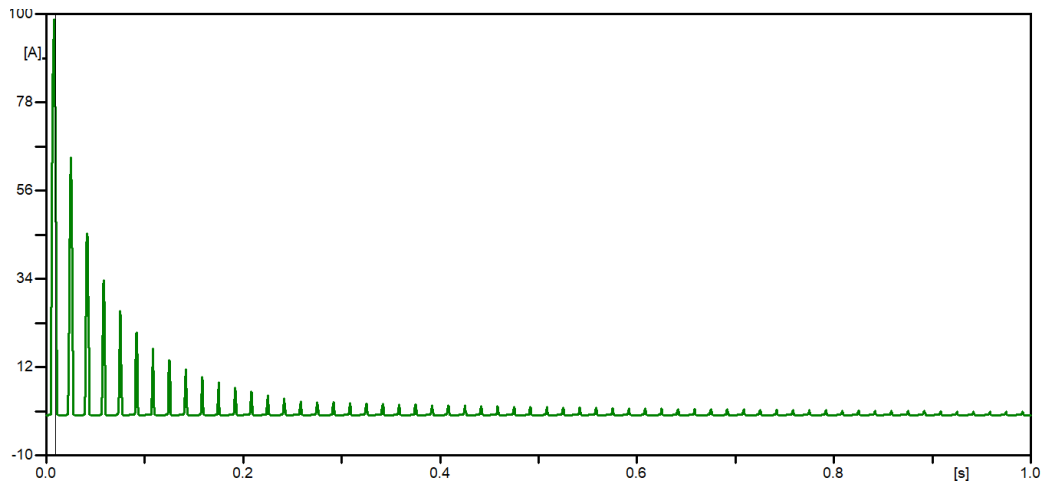


Figura 5.14. Corriente de energización en el transformador de 25 kVA.

Las corrientes de energización en se da en todos los transformadores, por lo que es necesario ver el comportamiento de esa corriente en todos transformadores que fueron puestos a prueba en laboratorio, por esa razón se utilizó una tabla de resumen con las corrientes Inrush en los transformadores, con lo que se determinó el pico de corriente al energizar y el tiempo que se demora en estabilizar la corriente de esta manera se creó la Tabla 5.11 con las respuestas pertenecientes a cada transformador puestos en prueba. Estas simulaciones se encuentran en la parte de anexos con los modelos correspondientes para cada transformador junto con la gráfica de la corriente Inrush.

Tabla 5.11. Corriente de energización en los transformadores puesto en prueba en laboratorio.

	Transformador monofásico			Transformador monofásico			Transformador monofásico		
Modelo	3024292 Ecuatran 25 kVA			6325199 Ecuatran 3 kVA			12551310 Ecuatran 25 kVA		
Análisis	Corriente Pico (A)	Corriente de Estabilidad (mA)	Tiempo de estabilización (ms)	Corriente Pico (A)	Corriente de Estabilidad (mA)	Tiempo de estabilización (ms)	Corriente Pico (A)	Corriente de Estabilidad (mA)	Tiempo de estabilización (ms)
Energiz.	92,5	22	0,37	17	14	0,40	97,05	27	0,40

Relación de transformación

En la prueba de relación de transformación se puede identificar que el transformador de tipo Pad Mounted presenta una relación de transformación aceptable, ya que en ninguna fase y para cada paso del tap no existe diferencias mayores a lo establecido la normativa ANSI/IEEE-C57.12.00-1980, que es del 0,5%, como se analiza en la Tabla 5.12 entonces la prueba es aceptada

y pasa, por otra parte, se comprueba que no hay devanados con polaridades encontradas, derivaciones sin continuidad o en cortocircuito.

Tabla 5.12. Resultados de relación de transformación obtenidos en el transformador PAD MOUNTED.

tap	medido			calculado	% error		
	fase H1	fase H2	fase H3	relación	fase H1	fase H2	fase H3
1/A	1,321	1,321	1,323	1,325	-0,301	-0,377	-0,15
2/B	1,267	1,229	1,286	1,289	0,155	0,077	-0,23
3/C	1,257	1,261	1,262	1,256	-0,079	0,398	0,47
4/D	1,225	1,295	1,23	1,228	-0,244	0,244	0,16
5/E	1,197	1,991	1,195	1,198	-0,083	0,091	-0,25

En la Figura 5.15, se presenta el modelado del transformador Pad Mounted, en esta simulación hay vigentes transformadores trifásico en conexión delta estrella, de la misma forma se determinó los datos necesarios para ingresar en el transformador resistencias, inductancia, resistencia de magnetización e inductancia de magnetización que serán ingresados dentro del transformador esto con el fin de ejecutar y ver los voltajes de entrada y de salida y ver si cumple con los datos de la placa. También se verá corriente inrush que tiene el transformador al momento de energizar.

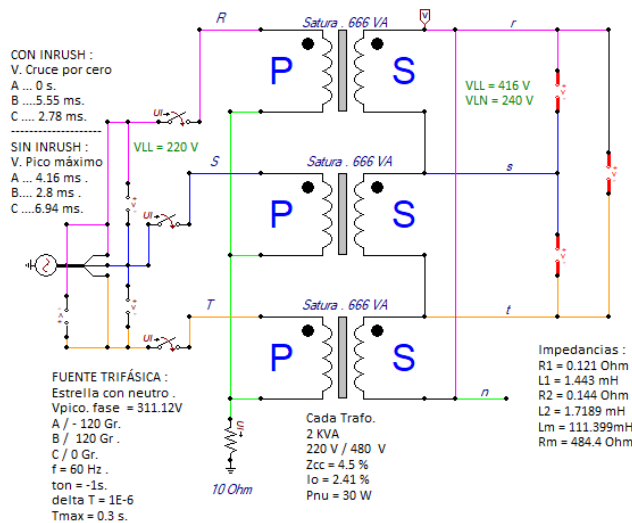


Figura 5.15. Modelo de transformador Pad Mounted de 2 kVA.

En la Figura 5.16 se puede ver los voltajes de entrada y de salida, la onda de color verde pertenece al voltaje de entrada línea a línea de 310,31 dados en voltaje pico y la onda de color azul muestra

el voltaje pico de 678,65 en la salida del transformador, entonces dividiendo para la raíz nos da en voltajes rms de 220 en la entrada y 480 en la salida. Entonces, comparando con los datos de la placa y el modelado en ATP cumple con los voltajes de entrada y de salida.

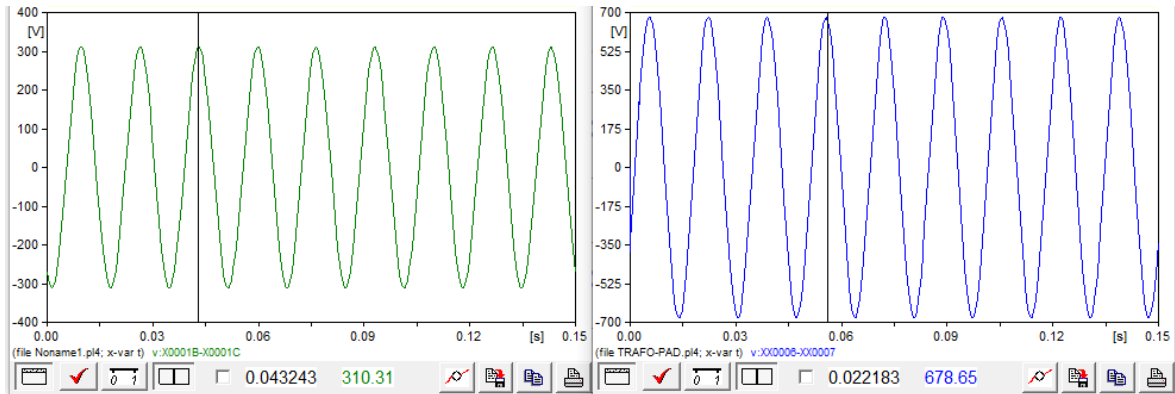


Figura 5.16. Voltaje de entrada (verde) y salida (azul) del transformador Pad Mounted 2 kVA.

La corriente Inrush, es una condición transitoria que se muestra rápidamente luego de la energización de un elemento eléctrico; como un transformador o un circuito de distribución. Por esa razón se modeló el transformador con el fin de ver la corriente Inrush presente y ver el pico de corriente al momento de ser ejecutado y el tiempo que se demora en estabilizarse la corriente, así como se puede ver en la , las corrientes de Inrush se ejecutó en los siguientes tiempos 0 ms, 5,55 ms y 2,78 ms. Presentando una corriente de entrada pico en la fase A de 36,44, fase B 17,045 y fase C 33,40. El pico máximo de esta corriente se presentó en los siguientes tiempos 1,02 ms, 1,26 ms y 1,16 ms.

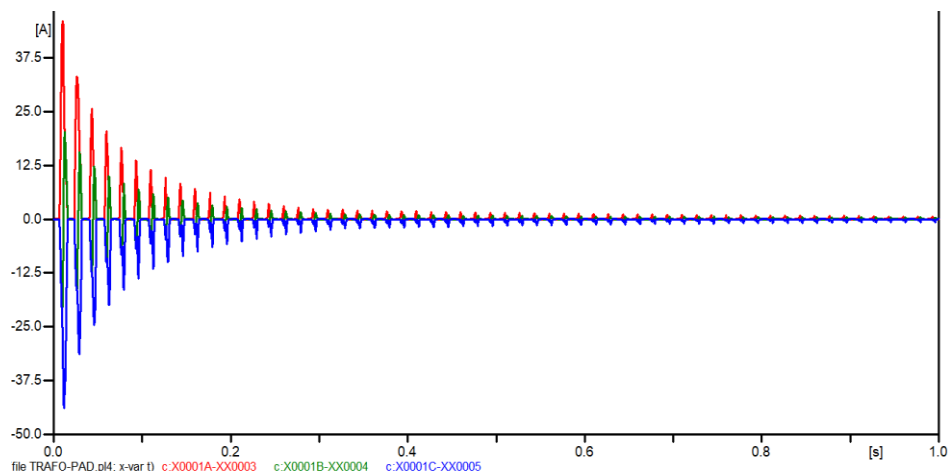


Figura 5.17. Corrientes Inrush trifásicas presentes en el transformador Pad Mounted.

5.3 ANÁLISIS EN CABLES

Análisis de resultados de los cables

Análisis de resultados de los cables en media tensión se usan para distribución de energía eléctrica y conectan los transformadores de subestaciones con los transformadores para bajar la tensión a niveles de usuario final. Su instalación puede ser al aire, en ductos subterráneos, canaletas, enterrado directo o bandejas porta cables. Para realizar las pruebas en cables eléctricos se tomó en cuenta los siguientes procedimientos:

1. Revisar la fecha de calibración del megóhmetro a utilizar en la prueba.
2. Realizar la conexión correspondiente para cada caso.
3. Tomar lecturas de la resistencia de los devanados cada 10 segundos para el primer minuto de prueba, posteriormente cada minuto hasta completar los 10 minutos de prueba establecidos en la Sección 4.4.3.

De la misma manera, para esta prueba se usó el megóhmetro de la marca fluke 1555 1550 C de la Figura 5.9. En la Tabla 5.13 se muestra los voltajes que se aplicó en el equipo de medición para el cable, este proceso se repitió para los dos casos que se tiene en la tabla configuraciones.

Tabla 5.13. Datos de análisis en cables.

Fase (aislante rojo)		Fase (chaqueta)	
Programación de tensión(V):	5000	Programación de tensión(V):	5000
Duración de la prueba	10 _{MIN}	Duración de la prueba	10 _{MIN}

Para la medición de resistencia de aislamiento en los cables se utilizó la Tabla 5.13 esto con el fin de identificar el voltaje que hay que aplicar a la prueba, de la misma manera se utilizó el registro 01-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES 1F 3F) para tomar lecturas de los datos arrojados el equipo, y poder calcular el índice de polaridad y el nivel de absorción dieléctrica así como se muestra la Tabla 5.14, se muestra el IP y el DAR para el análisis de criterios de aceptabilidad y ver si el cable está en buenas condiciones o no.

Prueba en el cable XLPE al 90°C 4/0 AWG de 15 kV 133%

Las pruebas de resistencia de aislamiento son de suma importancia debido a que permiten verificar el estado del cable, en este caso en el laboratorio de Alto Voltaje se procede hacer análisis de resistencia de aislamiento en cable XLPE, dando como resultados la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento en cable XLPE.

Modelo	Cable XLPE al 90°C 4/0 AWG de 15 kV 133%	
	Análisis (aislante rojo)	(chaqueta)
IP	1,88	1,86
DAR	1,56	1,56
Aprobación	SI	SI

Tomando en cuenta los criterios de aceptación de la Sección 4.4.3. se determina que el cable evaluado en laboratorio presenta un índice de polarización (IP) igual 1,88 entre la fase y el aislante y 1,86 entre la fase y la chaqueta y la prueba está en un rango de 1,25 a 2 y el índice de absorción (DAR) igual a 1,56 fases aislante y 1,56 fases chaqueta que nos indica que la prueba está en un rango de 1 a 1,25 y considerando los criterios de la Sección 4.4.3. y la normativa IEEE Std 141 1993 [52], se dice que el cable puesto en prueba según IP entre fase chaqueta es aceptable y entre fase aislador es marginal y según DAR para las dos configuraciones es marginal entonces el cable puesto a prueba en laboratorio pasa la prueba.

Modelado del límite térmico del cable XLPE al 90°C 4/0 AWG de 15 kV 133%

El límite térmico del cable de fábrica viene dado en escalas logarítmicas, entonces para poder modelar en ATP es necesario que las estacas estén de forma lineal, este modelado se realizó con el fin de poder verificar las corrientes que efectúan en el límite térmico correspondiente al tiempo.

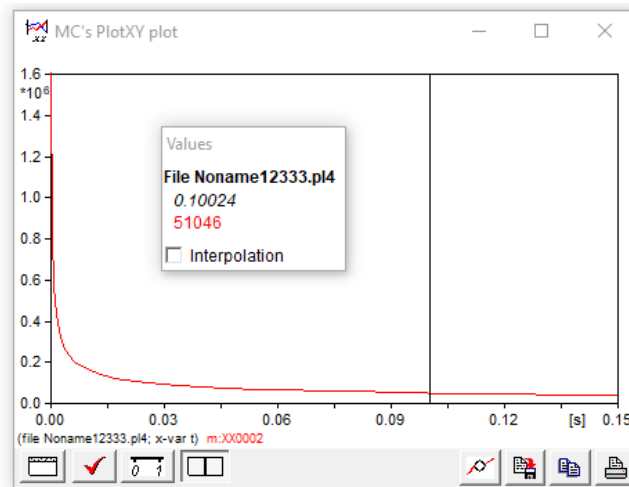


Figura 5.18. Modelado del límite térmico del cable cobre XLPE 15 kV.

En la Figura 5.18 se muestra el módulo de conexión del cable junto con la onda de límite térmico en el eje x se puede ver el tiempo y en el eje y está la corriente, Entonces el límite térmico visto en los 100 ms nos presenta una corriente de 51046 antes de destruirse o fundirse y cumple con el límite térmico dado en el catálogo.

Prueba en Cable XLPE aluminio a 90°C 0,6 ACSR de 1 kV

El voltaje que se aplicó en la prueba de resistencia de aislamiento para el cable XLPE de aluminio a 1 kV es de 500, según la normativa IEEE Std 141 1993 [52]. En la Tabla 5.15 se muestra el resumen de la prueba en los cálculos de IP y el DAR para el análisis de criterios de aceptación para el cable puesto en prueba.

Tabla 5.15. Resultados de la prueba de resistencia de aislamiento en el cable XLPE aluminio de 1 kV.

Modelo	Cable XLPE aluminio a 90°C 0.6 ACSR de 1 kV			
Análisis	Cable A	Cable B	Cable C	Cable D
IP	1,77	1,94	1,93	1,94
DAR	1,83	1,69	1,60	1,5
Aprobación	SI	SI	SI	SI

Tomando en cuenta los criterios de aceptación de la Sección 4.4.3. se determina que el cable evaluado en laboratorio presenta un índice de polarización (IP) igual 1,77 cable A, 1,94 cable B, 1,93 cable C y 1,94 en el cable 4 D entonces el rango está entre 1,25 a 2 y el índice de absorción (DAR) es igual a 1,83 cable A, 1,69 cable B, 1,60 cable C y 1,5 en el Cable D fase chaqueta que nos indica que la prueba está en un rango es mayor a 1,25. Entonces, considerando los criterios de aceptación de la Sección 4.4.3. y la normativa IEEE Std 141 1993 [52], se dice que el cable puesto en prueba según IP del cable A, B, C, D es aceptable y según DAR los cables A, B, C y D es aceptable entonces los cables puestos a prueba en el laboratorio cumplen con todos los criterios de aceptación y pasa la prueba de aislamiento.

Modelado de límite térmico para cable XLPE aluminio a 90 °C 0.6 ACSR de 1 kV

Se muestra en la Figura 5.19, se puede identificar la simulación del límite térmico de los 4 cables junto al tipo de conductor, los modelados de los cables para ver el límite térmico son esenciales porque muestran las corrientes dependiendo al tiempo antes de ser fisurado en la Figura 5.19 se puede ver la onda de límite térmico para cada uno de los cables, de esa manera se puede ver que todos cumplen el mismo límite y la corriente efectuada en el tiempo de 100ms con una corriente de 3506 A, esto cumple con el límite térmico del catálogo.

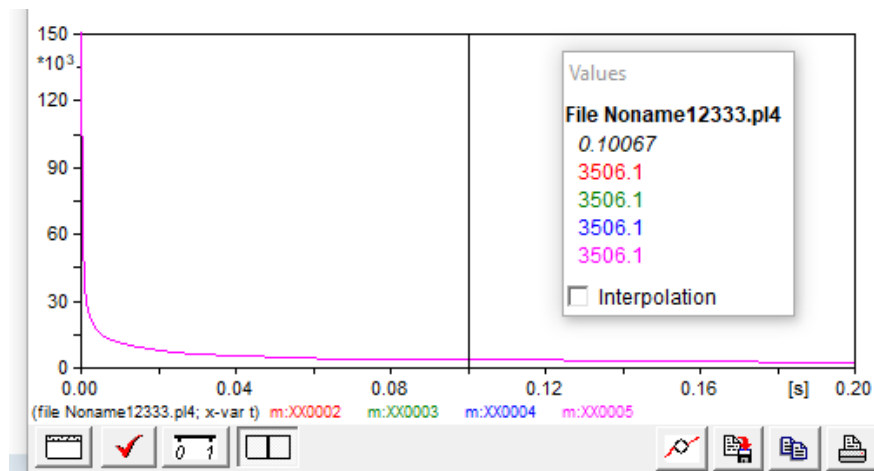


Figura 5.19. Límite térmico en los cables XLPE aluminio de 1 kV.

5.4 ANÁLISIS DE CASO DE ESTUDIO

Para el análisis de caso de estudio se realizó previo a la elaboración varias investigaciones en las cuales se logró determinar parámetros de la red eléctrica (revisar Sección 4.2) según el tramo seleccionado, también se determinó factores ambientales que afectan según la ubicación geográfica, es por lo cual en la siguiente Sección se implementa todas las condiciones, normativas, restricciones que se investigó con la finalidad visualizar mediante el software ATPDraw el comportamiento en el sistema del caso de estudio.

5.4.1 Operación Ante Sobretensión de Tipo Maniobra

5.4.1.1 Sin carga

Para esta prueba se aplicó una fuente *HEIDLER* con una corriente de 5 kA configurada con parámetros para que simule la acción de una maniobra en el sistema es por lo cual se ve el comportamiento de cada uno de los elementos.

Al momento de ejecutar una sobretensión tipo maniobra se tiene fugas de voltaje más notorios, ya que el voltaje pico que presenta la señal de color azul en la Figura 5.20 es de aproximadamente 27,068 voltios dando a entender que por esta sobretensión se puede ver voltajes pico más altos, de igual manera se observa en la señal de color rojo que luego de un tiempo de operación normal hay la aparición de tensión durante un periodo esto se da el momento de la disrupción del aislador.

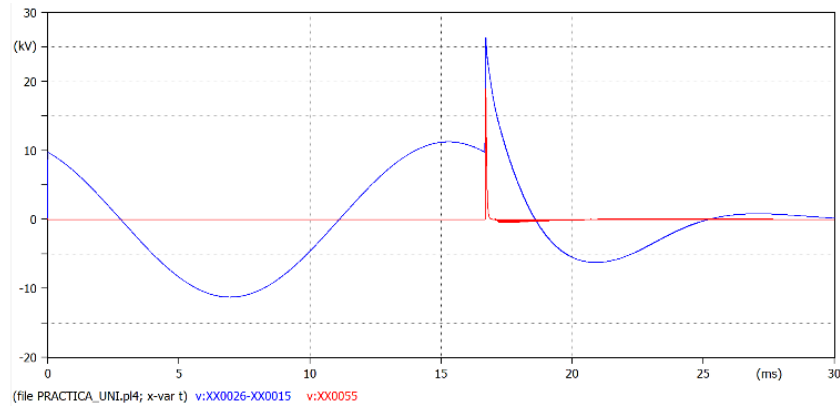


Figura 5.20. Comportamiento en aisladores.

Las crucetas y postes son elementos esenciales en el sistema de distribución, ya que son dedicados a sujetar todo tipo de equipos eléctricos, por esa razón se aplicó una sobretensión de tipo maniobra en el sistema con el fin de ver el afecto que tiene al momento de energizar, se puede notar que la corriente en la cruceta es de un aproximado de ,12 A y en el poste de 0,55 A, a pesar de que por estos elementos no debe existir ningún tipo de tensión ni corriente por la gran magnitud de la sobretensión estos se ven de igual forma afectados pero no en mayor escala.

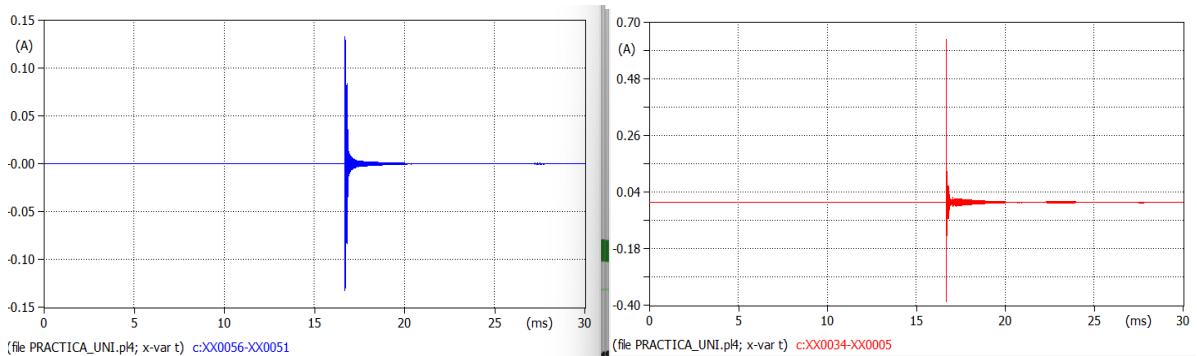


Figura 5.21. Comportamiento en la cruceta (azul) y el poste (rojo).

Los fusibles cuentan con una función importante que es para proteger las líneas o esencialmente a los transformadores, por esa razón se puede visualizar las corrientes por qué este equipo trabaja a condiciones de la temperatura, pero al aplicar la sobretensión de tipo maniobra nos muestra que los fusibles cuentan con una corriente pico de 287 amperios en el intervalo de tiempo desde 0.0166

hasta 0.0167 milisegundos, se puede notar que esa corriente es en el intervalo que el interruptor se abre y da paso al voltaje.

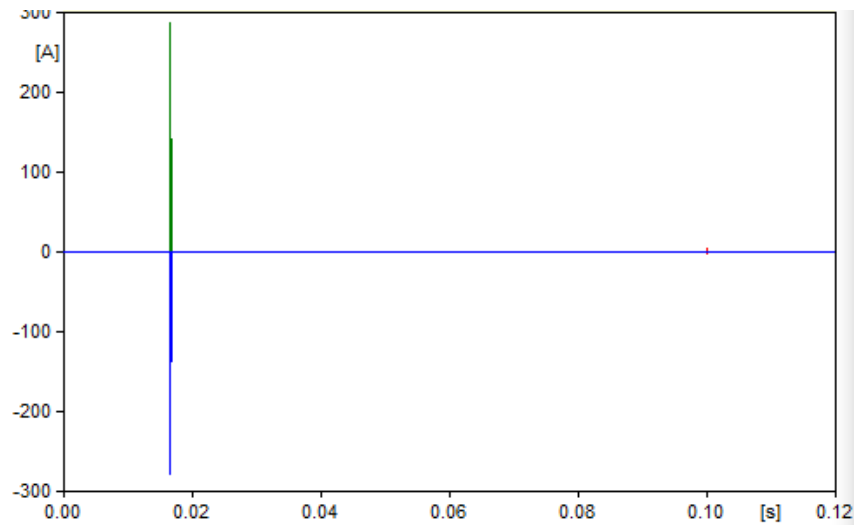


Figura 5.22. Corrientes en los fusibles de protección 5K.

Los transformadores son equipos reductores para hacer llegar voltajes hacia los usuarios finales, el transformador trifásico que entra a la Universidad Técnica de Cotopaxi puesto a prueba ante una sobretensión de tipo maniobra el voltaje en el transformador sin carga es dependiente a la fase que se realice la medición en el caso de la fase que circula o más cercano al eje en cero da un valor aproximado de 2 p.u. dando cuenta que el transformador se eleva el doble de voltaje línea a neutro.

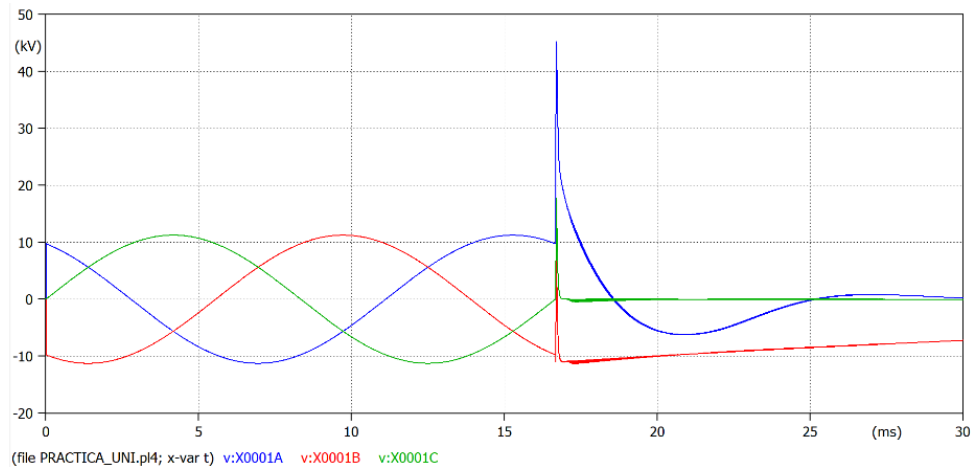


Figura 5.23. Voltaje en los terminales del transformador trifásico sin carga.

Los descargadores cumplen una función importante, el trabajo esencial de ellos es proteger a los transformadores ante las posibles sobretensiones que se puedan generar en el sistema, es el caso de la Figura 5.24 , la cual muestra cómo protege al sistema el descargador soportando una elevada tensión y disipando a tierra ya que estos equipos son conectados de forma directa a ella.

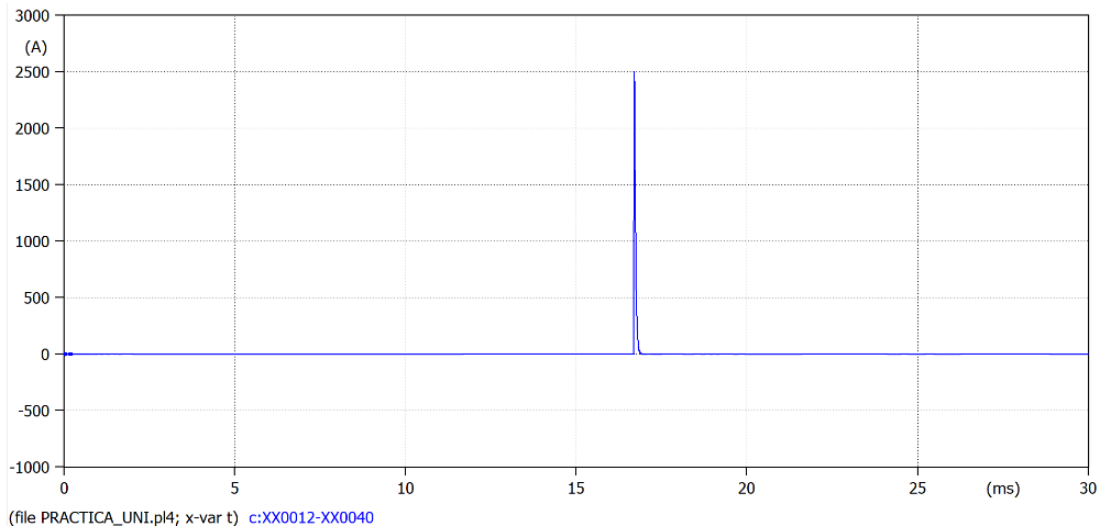


Figura 5.24. Voltaje en los descargadores PDV modelo IEEE.

5.4.1.2 Con carga

Para este análisis se tomó en cuenta las cargas resistivas, capacitiva e inductivas conectados al transformador de 300 kVA y 15 kVA, con el fin de ver el comportamiento que tiene cada uno de los elementos eléctricos modelados en el sistema de distribución aplicando una sobretensión de tipo maniobra, y de esta manera poder visualizar los voltajes en los aisladores, postes, crucetas, fusibles, descargadores y transformadores, en la Figura 5.25 se puede ver los voltajes en los aisladores, tomando en consideración que los aisladores presentan un voltaje pico máximo de 11,267 kV en el tiempo de 0,01667, antes de ocurrir la sobretensión, posterior de dicho evento se produce un pico aproximado de 26,3 kV con una distorsión en el transitorio creado por las cargas en los transformadores dando a entender que afectan a todo el sistema por lo que es necesario realizar el análisis de cada elementos.

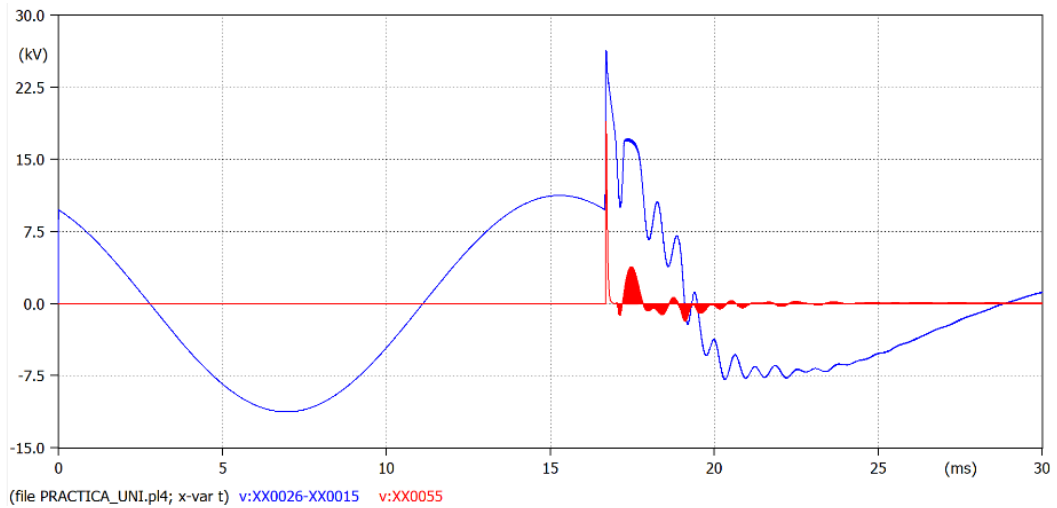
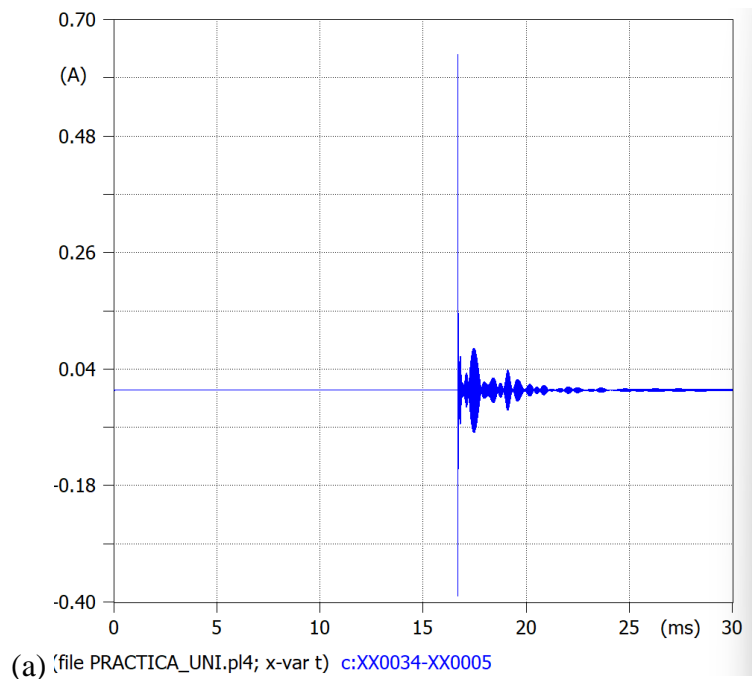


Figura 5.25. Comportamiento en aisladores para una sobretensión tipo maniobra con carga.

En el caso de los postes y crucetas se ve en la Figura 5.26, que a pesar de que son equipos que no deben presentar ni corriente y tampoco voltajes son elementos también alterados por parte de la sobretensión, cabe recalcar que en este caso se ve afectado por la carga disminuyendo las corrientes de fuga que se presentan en dichos elementos.



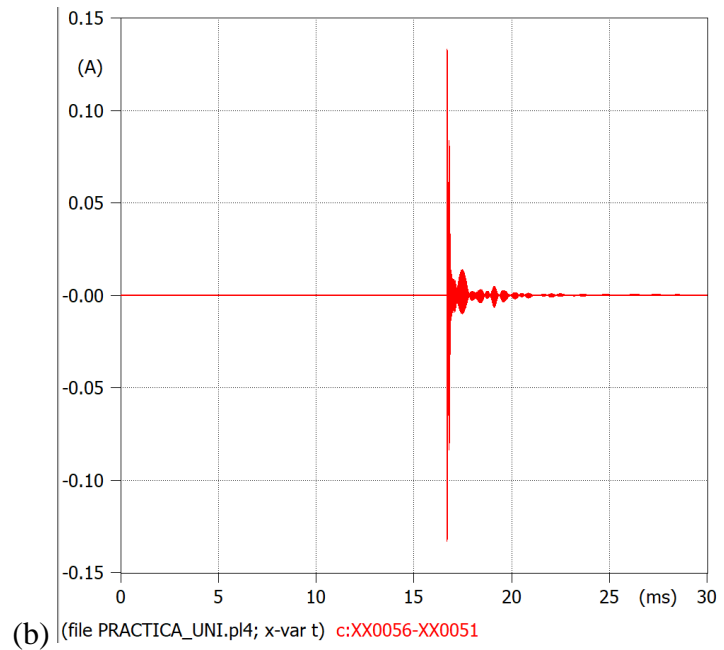


Figura 5.26. Comportamiento en la cruceta (a) y el poste (b).

Los fusibles presentan una corriente máxima de 287 A en un intervalo de tiempo desde 0,0166 hasta 0,016603 milisegundos, así como se ve en Figura 5.27.

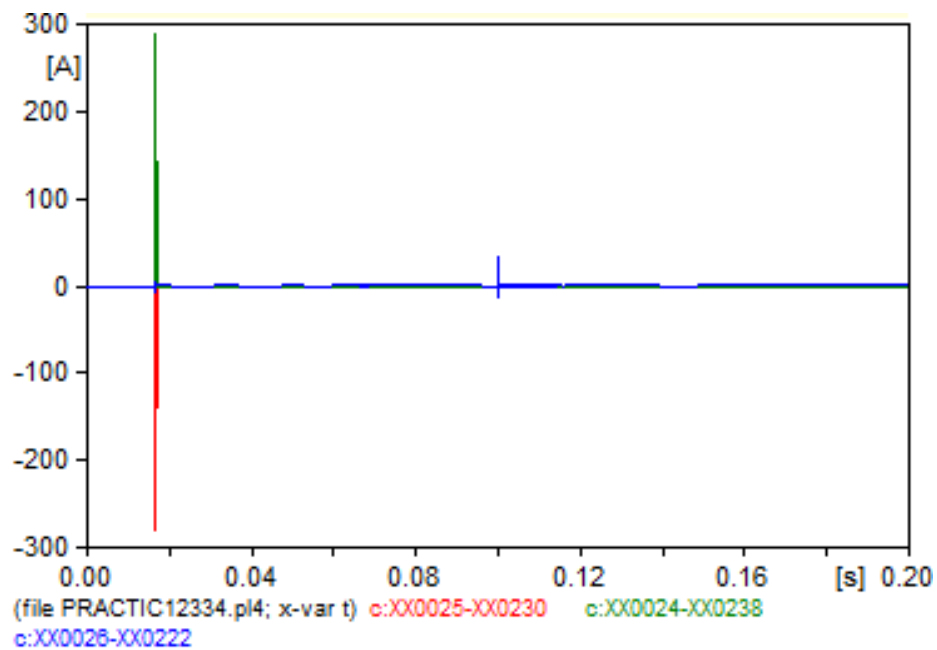


Figura 5.27. Corrientes en los fusibles de protección 5K.

Los descargadores cumplen una función importante en el sistema de distribución, ya que ayuda a disipar sobretensiones en el sistema, es por lo cual Figura 5.28 se puede identificar el comportamiento de dichos elementos ante una sobretensión de tipo maniobra e igual forma el tiempo que demora en disipar este tipo de sobrecorrientes creadas por realizar alguna maniobra dentro del sistema.

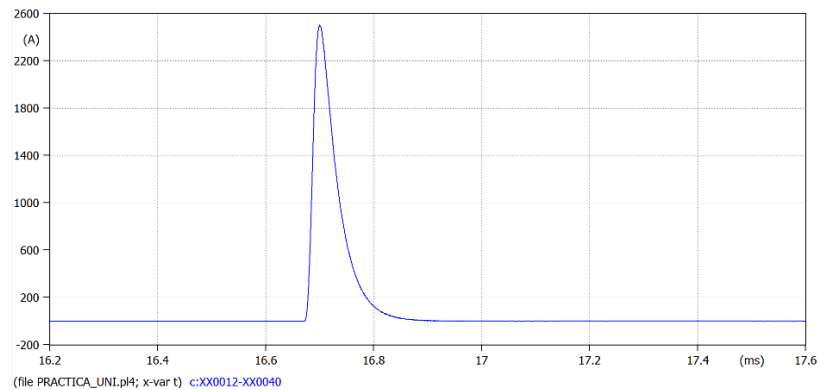


Figura 5.28. Comportamiento en el descargador modelo IEEE.

El transformador trifásico de 300 kVA cuenta con una carga resistiva, capacitiva e inductiva, con el fin de ver el voltaje de salida hacia los usuarios, por lo cual en la Figura 5.29 se puede ver el voltaje de entrada de 11,267 kV pico que se ve alterado por la sobretensión de tipo maniobra e igual por la carga, la cual crea transitorios en todas las fases del sistema.

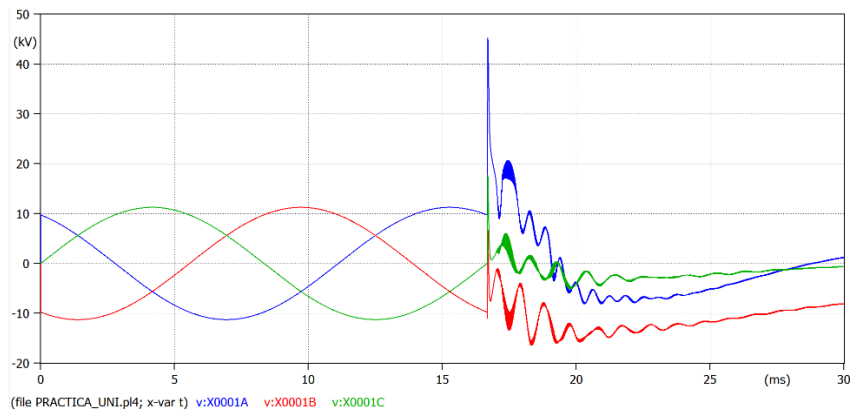


Figura 5.29. Voltaje en las cargas de la salida del transformador de 300 kVA.

El transformador monofásico de 15 kV está conectado a cargas resistivas e inductivas, según la Figura 5.30 se puede ver que el transformador al ser sometido a una sobretensión altera su voltaje de salida, de igual forma ya que está conectado una carga se crea un transitorio más inestable durante un tiempo aproximado de 6 milisegundos en el cual se logra estabilizar.

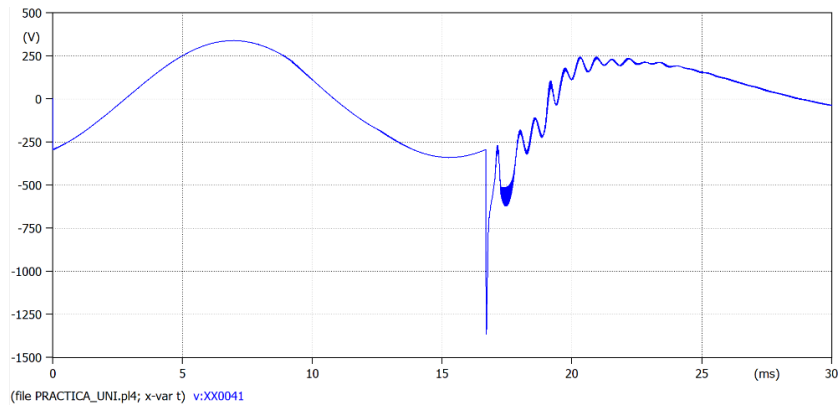


Figura 5.30. Voltaje de salida en el transformador de 15 kVA.

5.4.2 Operación ante Sobretensión Atmosférica

Para este análisis se tendrá que usar una fuente tipo *Heidler* la cual es configurada para tener una magnitud 5 kA y parámetros que simulan la fuerza de una sobretensión atmosférica, también el campo más descubierto en un sistema de distribución es la línea, por lo cual el punto de impacto será en dicho lugar. Una vez se cumpla con las condiciones anterior mencionado se puede realizar el análisis y ver el comportamiento de cada elemento que constituye el sistema, se puede ver la disrupción del aislador ya que este es capaz de soportar cierto nivel de tensión, las corrientes de fugas en los equipos, el actuar de los descargadores, entre otras acciones.

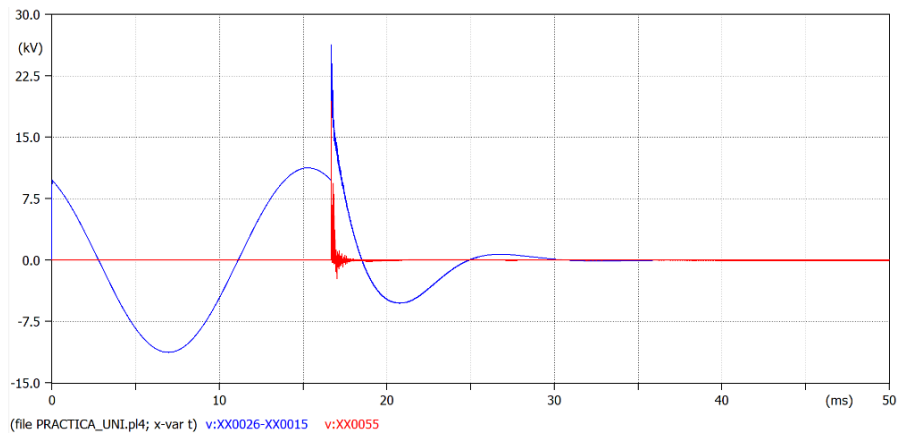


Figura 5.31. Comportamiento del aislador ante una sobretensión atmosférica.

En la Figura 5.31 se observa en la señal de color azul el comportamiento del aislador durante los primeros 0,01667 segundos el cual tiende a mantener la onda de origen generada, pero luego de ello se da la presencia de una sobretensión logrando alterar dicha señal, generando un pico de tensión de aproximadamente 25 kV y un transitorio que demora en estabilizarse 24 milisegundos, la señal de color rojo permite ver el paso de tensión luego del aislador ya que cumple con su límite de disrupción y por ende tiende a permitir el flujo de tensión.

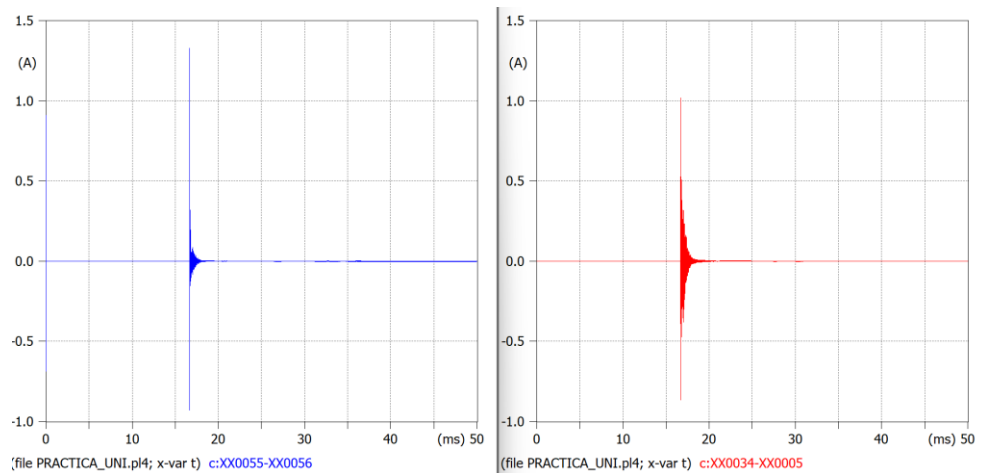


Figura 5.32. Comportamiento de la cruceta (azul) y el poste (rojo).

En la Figura 5.32, se ve el comportamiento de las corrientes de fuga que hay por la cruceta y poste ante un periodo de 0,01667 segundos, en dichos elementos en condiciones normales no deben tener presencia de voltajes ni corrientes tal como se presenta al inicio de la simulación, la señal de

color azul (crucecita) tiene un valor de 1,3 A durante un tiempo de 2 milisegundos posterior a la sobretensión, el poste de igual forma tiene una magnitud 1 A durante una duración de 3 milisegundos luego de la sobretensión, dichas corrientes son mínimos a comparación del actuar de otros equipos pero de igual manera son afectados.

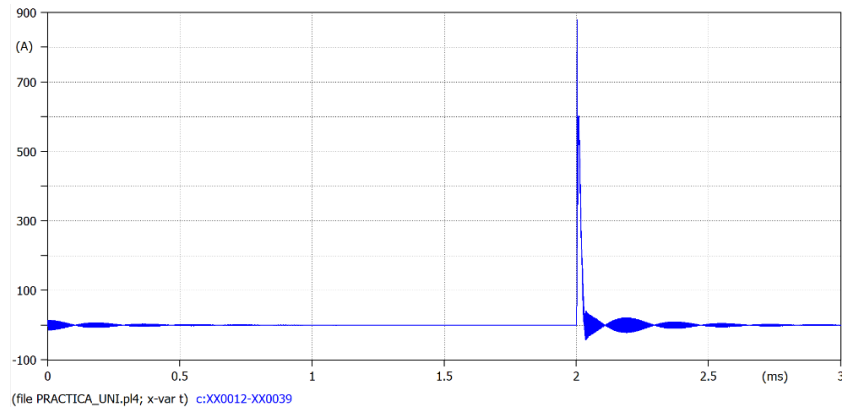


Figura 5.33. Comportamiento del descargador ante una sobretensión atmosférica.

En la Figura 5.33, se muestra el actuar del descargador el cual durante los primeros dos milisegundos actúa de forma normal, una vez existe la presencia de una sobretensión procede a realizar la descarga de la sobrecorriente a tierra, este proceso dura un aproximado de 0,5 milisegundos en producirse por lo cual se entiende que el descargador tiene un proceso y actuar muy rápido.

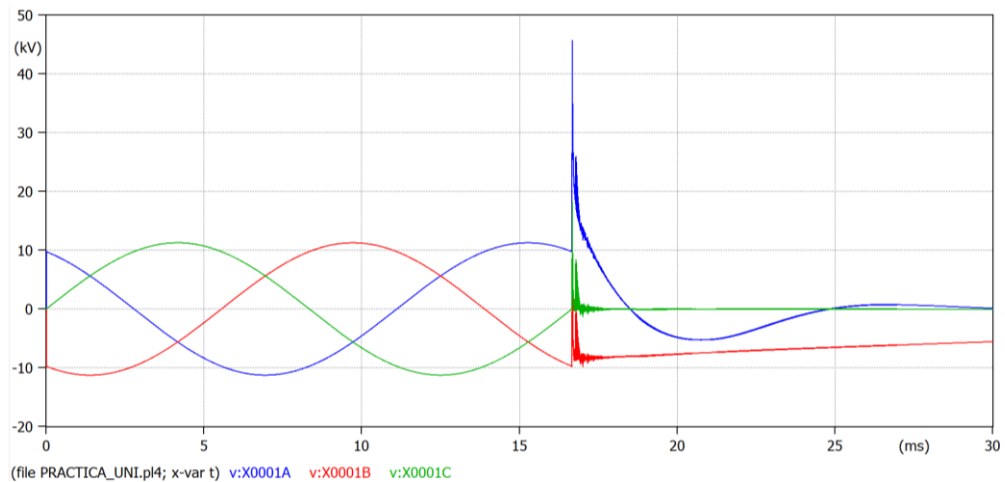


Figura 5.34. Comportamiento del transformador trifásico ante una sobretensión atmosférica.

En la Figura 5.34, se puede observar la señal trifásica de valor de 11,267 kV, valor pico fase neutro, que se encuentra en bornes de entrada del transformador trifásico, el cual durante los 0,01667 segundos se comporta de manera normal pero al finalizar un ciclo se inyecta una sobretensión de magnitud de 5 kA creando una distorsión en el sistema, alterando su tensión nominal de operación a un aproximado de 2 p.u., de esta manera igual se comprende que las tres fases del sistemas se verán afectadas sin importar en cuál de ellas caiga la sobretensión, de igual manera se evidencia que la sobretensión cae sobre la fase A la cual es la más afectada por que es la que más distorsión presenta con una duración mayor.

Finalmente, utilizando la metodología de la Sección 4.6 se identificó que el BIL es de 95 kV según la norma IEEE Std C.62.82.1-2010, lo cual coincide con el nivel de aislamiento instalados en la red, cumple con los cálculos y criterios de aceptación.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar este trabajo de investigación se presenta el siguiente capítulo el cual contiene las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

6.1 CONCLUSIONES

Los ensayos en los transformadores seleccionados permiten identificar que, tres de los cuatro transformadores no se encuentran en condiciones aceptables, dado que, en los tres casos los resultados del ensayo de resistencia de aislamiento están fuera de los límites aceptables definidos en la IEEE Std 43-2013. Solo el transformador tipo Pad Mounted seco, registra condiciones aceptables en todos los ensayos, pese a que se evidencia deterioro en su resistencia de aislamiento respecto a los resultados de fábrica.

El ensayo de contorno de aislamiento se realizó en seis aisladores de distintos tipos, donde, todos cumplieron con los criterios de aceptabilidad según la norma ANSI/IEEE Std 4-1978 en condiciones de ambiente seco y húmedo. Se verificó que los niveles de CFO de los aisladores nuevos son ligeramente superiores a los niveles de CFO de los aisladores usados y que, altos niveles de contaminación reducen el voltaje de disrupción del aislamiento eléctrico.

Se identificó que el efecto de los ensayos con voltajes superiores al nominal en el cable de polietileno reticulado de 15 kV es negativo, ya que afectó directamente al índice de polarización en pruebas posteriores. Mientras que, el cable preensamblado de 1 kV mantiene su nivel de resistencia de aislamiento ya que no fue sometido a estrés eléctrico.

En el caso de estudio, se simula una descarga atmosférica de impacto directo utilizando una fuente de tipo *Heidler*, la cual origina una sobretensión de aproximadamente 3 p.u. en los bornes de alto voltaje del transformador trifásico, evidenciándose que, los descargadores cumplen su funcionamiento, al disipar a tierra una corriente de 2,3 kA en un tiempo aproximado de 0,3 milisegundos.

6.2 RECOMENDACIONES

Para la ejecución de las pruebas de laboratorio, para aisladores, transformadores y cables, se debe tener en cuenta que los equipos de medición que van a ser utilizados, tienen una fecha de calibración (comúnmente un año) la cual se debe revisar antes de comenzar cualquiera prueba, en el caso de que esté sobrepasada la fecha de calibración es de suma importancia el notificar al encargado de mantener los equipos, para que realice el proceso correspondiente de calibración.

Todas las pruebas que lo permitan, dentro del laboratorio se procede a realizar en la jaula de Faraday, con la finalidad de precautelar y asegurar de mejor manera a la persona que está ejecutando la prueba, conjunto a ello también se debe disponer de una pértiga la cual se encuentra aterrizado y debe ser usada al finalizar cualquier ensayo que involucre alta tensión.

Para el caso de estudio en ATPDraw se utilizaron medidas aproximadas, tanto para las distancias de poste a poste, bajantes de transformadores, longitudes de las líneas, usando un software de medición, por lo cual se puede implementar medidas exactas dentro del sistema simulado, con la finalidad de obtener resultados más concretos y de mayor exactitud.

Para próximos proyectos se recomienda hacer el análisis implementando el modelado de los cables de guarda, ya que en este estudio no se los tomó en consideración debido al nivel de tensión con el que se está trabajando en la localidad.

En el caso de transformadores se tiene como parte importante su aislamiento interno, este viene dado por el tipo de aceite con el que se lo llene, por lo cual, es importante el realizar un estudio de aislamientos líquidos más a profundidad y de esta manera lograr modelar este tipo de aislamientos.

El método estadístico se basa en la frecuencia de ocurrencia de una sobretensión específica, la distribución de probabilidades de sobretensión que pertenece a este origen y la probabilidad de descarga de aislamiento. Alternativamente, el riesgo de falla se puede determinar combinando los cálculos de probabilidad de sobretensión y descarga al mismo tiempo, paso a paso, teniendo en cuenta la naturaleza estadística de las sobretensiones y descargas por medio de procedimientos adecuados, por ejemplo, utilizando el método de Monte Carlo.

7 REFERENCIAS

- [1] D. S. P. Jácome, “Análisis y planteamiento de estudios eléctricos en estado estable y estado dinámico para la fijación de parámetros necesarios en la implementación de un código de red para el sistema eléctrico ecuatoriano proyecto,” 2015.
- [2] C. A. Group, “Guía de la medición de aislamiento,” *2010 Ed.01*, p. 27, 2010.
- [3] U. N. D. LA PLATA, “Tipos de soldadura. Soldadura por arco eléctrico.,” *Prosecretaría de políticas Social*, p. 8, 2020.
- [4] W. T. Marco Soto and E. P. Nacional, “Programa digital para el estudio y simulación del cálculo de fallas por apantallamiento y flameo inverso en líneas de transmisión,” 2006.
- [5] Ministerio del Ambiente, “Plan nacional de la calidad del aire,” no. 17–18, p. 71, 2020.
- [6] L. E. Correa and E. Velilla, “Evaluación del desempeño de aisladores de porcelana recubiertos con películas de dióxido de titanio para disminuir el ensuciamiento Performance evaluation of ceramic insulators coated with titanium dioxide ® lms to reduce,” 2013. doi: 10.4067/S0718-07642017000200002.
- [7] H. E. Rojas and H. D. Rojas, “Evaluación del desempeño de aisladores eléctricos de distribución cerámicos y poliméricos bajo biocontaminación por hongos,” *Informacion Tecnologica*, vol. 28, no. 2, pp. 3–14, Apr. 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000200002.
- [8] S. Jaime and C. Ramíre, “Desarrollo de una norma de pruebas en alta tensión basada en el generador de impulsos de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador,” 2009.
- [9] S. Ludpa and P. Yutthagowith, “Curve fitting for lightning impulse tests according to standard IEC 60060-1:2010 by levenberg-marquardt algorithm,” *Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2018*, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/AUPEC.2018.8757872.
- [10] O. H. A. Fernandez *et al.*, “Aging characterization of electrical insulation papers impregnated with synthetic ester and mineral oil: Correlations between mechanical properties, depolymerization and some chemical markers,” *IEEE Transactions on*

Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 25, no. 1, pp. 217–227, 2018, doi: 10.1109/TDEI.2018.006317.

- [11] B. S. Tapia Cárdenas and D. G. Criollo Tacuri, “Aplicación de ensayos disruptivos para la determinación del BIL a través de esferas espinterométricas en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana,” 2018.
- [12] P. R. Barrionuevo Guerra, “Ayuda computacional para la coordinación de aislamiento en el diseño de subestaciones eléctricas,” 2014.
- [13] F. Mario and S. Jhonny, “Determinación de características dieléctricas en crucetas de poliéster reforzado con fibra de vidrio en diversas condiciones ambientales mediante ensayos en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca,” *Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca*, p. 94, 2020.
- [14] C. Macul and Z. Yanve, “Análisis del nivel de aislamiento utilizados en sistemas de distribución y subtransmisión aéreas mediante el Software ATP-DRAW,” 2021.
- [15] J. Antonio Martínez Velasco, *Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión*. 2008.
- [16] Astudillo Yan ve Otto Washington, “Modelo matemático para mejorar la prco de un descargador eléctrotección contra descargas atmosféricas en transformadores monofásicos de distribución eléctrica considerando sobre tensiones,” 2021.
- [17] J. K. Kuffel, E. W.S Zaengl, *High Voltage Engineering fundamentals*. Typeset by Laser Words, Madras, India, 2000.
- [18] J. Antonio Martínez Velasco, *Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión*. 2008. [Online]. Available: <https://toaz.info/doc-view>
- [19] K. Verdugo, L. Aires, and H. Merchán, “Contribución para la Implementación de una Red de Detección de Rayos en Ecuador,” 2018.
- [20] E. Camm *et al.*, “Modeling Guidelines for Switching Transients Report Prepared by the Switching Transients Task Force of the IEEE Modeling and Analysis of System Transients Working Group.”

- [21] “NORMA CEI INTERNACIONAL IEC 60071-1: “coordinación de aislamientos.””
https://www.academia.edu/39368113/NORMA_CEI_INTERNACIONAL_IEC_60071_1
(accessed May 08, 2022).
- [22] IEEE, “IEEE Std 4-2013 (Revision of IEEE Std 4-1995) IEEE Standard for High-Voltage Testing Techniques,” *IEEE Std 4-2013 (Revision of IEEE Std 4-1995)*, vol. 2013, no. May, pp. 1–213, 2013.
- [23] J. A. Guamán Seis, “Análisis de sobrevoltajes a frecuencia industrial y por maniobra en líneas de transmisión a nivel de 500 kv,” 2015.
- [24] A. A. O. Washington, “Modelo matemático de un descargador eléctrico para mejorar la protección contra descargas atmosféricas en transformadores monofásicos de distribución eléctrica considerando sobre tensiones,” 2018.
- [25] chaj ramirez edgar estuardo, “Análisis De Sobretensiones Debido a Transitorios Por Maniobras En Sistemas Eléctricos De Potencia Mayores De 300 Kv,” 2009.
- [26] D. G. Montaluisa Estuardo, “Análisis de coordinación de aislamiento para primarios de distribución,” 2010.
- [27] J. Martínez, *Coordinación de Aislamiento en Redes Eléctricas de Alta Tensión*, I. Madrid: MC Graw Hill, 2008.
- [28] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 2002.
- [29] ICE/IEEE 60076, “International Standard International Standard,” *61010-1* © Iec:2019, vol. 2019, p. 268, 2019.
- [30] S. Protective Devices Committee of the IEEE Power and E. Society, “IEEE Standard for Insulation Coordination-Definitions, Principles, and Rules Sponsored by the Surge Protective Devices Committee IEEE Power & Energy Society,” 2011.
- [31] G. M. Rueda, F. Julián, Z. Gómez, and M. Rueda, “Criterios para la selección de aisladores en líneas de EHV y UHV bajo condiciones de contaminación,” 2005. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica

- [32] Astudillo Estuardo Otto Washington, “Modelo matemático de un descargador eléctrico para mejorar la protección contra descargas atmosféricas en transformadores monofásicos de distribución eléctrica considerando sobretensiones,” 2021.
- [33] *1999 IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination.*
- [34] “American National Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hertz).”
- [35] D. Mauricio and V. Noriega, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA COMPARACIÓN ENTRE NORMAS IEEE E IEC SOBRE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO (EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN HASTA 69kV) PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.”
- [36] Subsecretaría de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica, “Aisladores”, Accessed: Aug. 03, 2022. [Online]. Available: https://www.unidadespropiedad.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=679
- [37] Subsecretaría de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica, “Transformadores”, Accessed: Aug. 03, 2022. [Online]. Available: <https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/CHME/Transformadores.pdf>
- [38] D. Control, *Transmission Line Reference Book, 345 Kv and Above.* 1987.
- [39] IEEE 1410, “IEEE guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines,” *IEEE Std 1410-2010 (Revision of IEEE Std 1410-2004)*, vol. 2010, no. January, pp. 1–73, 2011.
- [40] ANSI, “ANSI/NEMA C29.2 American National Standard for Insulators - Wet Process Porcelain and Toughened Glass - Suspension Type Toughened Glass-,” vol. 1992, 2012.
- [41] ANSI/NEMA C29.18-2013, “American National Standard For Composite Insulators—Distribution Line Post Type,” no. May 2013, p. 9, 2014.
- [42] P. S. I. and M. Committee, “ANSI/IEEE Std 4-1978,” *6th Edition*, p. 127, 1978.

- [43] ANSI, “ANSI/NEMA C29.2 American National Standard for Insulators - Wet Process Porcelain and Toughened Glass - Suspension Type Toughened Glass-,” vol. 1992, 2012.
- [44] A. Hernández Acevedo, R. Ledesma Vilchis, and E. Perera Martínez, “Manual de Pruebas a Transformadores de Distribución,” 2007.
- [45] IEEE Std 43 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery, “IEEE Std 43-2013,” vol. 2013, p. 37, 2013.
- [46] IEEE Industry Applications Society. Power Systems Engineering Committee., *IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994.
- [47] A. C57.12.00, “liquid-immersed distribution , power ,general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers,” 1980.
- [48] A. C57.12.00, “liquid-immersed distribution , power ,general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers,” 1980.
- [49] IEEE Std C57.106TM-2002, *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment*, vol. 2002, no. April. 2003.
- [50] I. E. T. Association, “Standard NETA ATS-2003: Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Distribution Equipment and Systems,” 2003.
- [51] IEEE Industry Applications Society. Power Systems Engineering Committee., *IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994.
- [52] “IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants Sponsor Power Systems Engineering Committee of the Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society,” 1993.
- [53] C. B. Cooper, *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, vol. 2, no. 2. 1988. doi: 10.1049/pe:19880018.
- [54] G. Lee and C. Goldsworthy, “Introduction to the Alternative Transients Program (ATP) IEEE SPDC Spring Meeting,” 2004.

- [55] A. B. Soler and R. Cano González, “Circuitos Eléctricos en Régimen Transitorio Teoría y problemas resueltos Volumen I.”
- [56] IEEE Power Engineering Society. Insulated Conductors Committee., IEEE Power Engineering Society. Surge Protective Devices Committee., American National Standards Institute., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE Standards Board., *IEEE guide for the connection of surge arresters to protect insulated, shielded electric power cable systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [57] IEEE Power Engineering Society., *1410-2004 IEEE guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines : lines*. IEEE, 2004.
- [58] “ENCICLOPEDIA CEAC ENCICLOPEDIA CEAC ELECTRICIDAD ELECTRICIDAD.”
- [59] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 2002.
- [60] *2009 2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System*. I E E E, 2009.
- [61] R. Singh and T. V. P. Singh, “INFLUENCE OF POLLUTION ON THE PERFORMANCE OF METAL OXIDE SURGE ARRESTERS.”

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A

8.1.1 FORMATOS REGISTROS DE PRUEBAS

- 1) 01-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES 1F 3F)
- 2) 02-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN)
- 3) 03-AV-UTC-IELE (CONTORNEO DE AISLAMIENTO)
- 4) 04-AV-UTC-IELE (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN)
- 5) 05-AV-UTC-IELE (HV HIPOT CABLES)
- 6) 06-AV-UTC-IELE (RIGIDEZ DE ACEITES)



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN
01-AV-UTC-IELE



Ingeniería
Eléctrica

ASIGNATURA:		CICLO:	
CARRERA:		FACULTAD:	
REG. No.:		HORA:	
PRÁCTICA:		FECHA:	

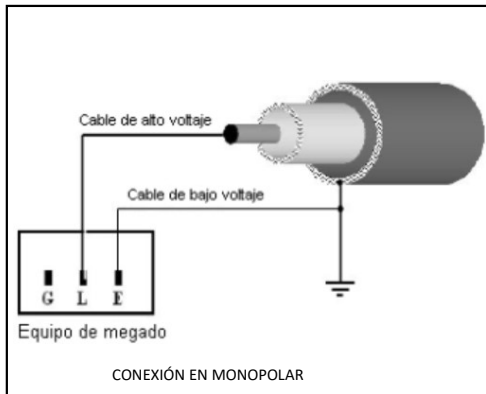
Datos del Conductor

Fabricante:		Tensión Nominal (kV):		Peso (kg):	
Calibre:		Tipo de aislamiento (%):		Temperatura ambiente (°C):	
Diámetro:		Espesor:		presión(hPa):	
Número de conductores:		Material de enchaquetado:		Altura (m.s.n.m.):	
Longitud del cable:		Voltaje de prueba:		Humedad (%):	

NOTA 1: para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección K, dado en la norma IEEE Std 2013.

EQUIPO DE MEDICIÓN

Marca:		Serie:		Modelo:	
--------	--	--------	--	---------	--



TIEMPO	FASE A	
	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA
0:00:15	SEG.	
0:00:30	SEG.	
0:01:00	MIN.	
0:02:00	MIN.	
0:03:00	MIN.	
0:04:00	MIN.	
0:05:00	MIN.	
0:06:00	MIN.	
0:07:00	MIN.	
0:08:00	MIN.	
0:09:00	MIN.	
0:10:00	MIN.	
	PI	
	DAR	

Gráfica de Resistencia vs Tiempo



Criterios de aceptación:

- Se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
- Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
- Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN



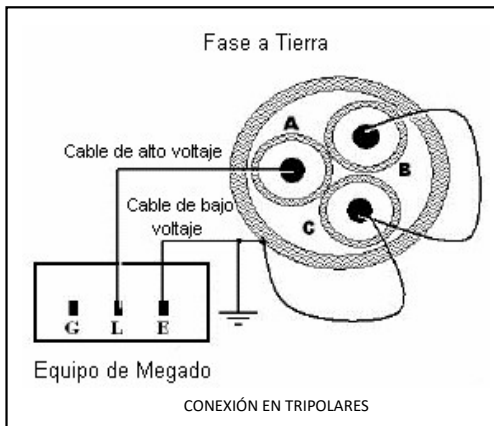
Ingeniería
Eléctrica

ASIGNATURA:		CICLO:	
CARRERA:		FACULTAD:	
REG. No.:		HORA:	
PRÁCTICA:		FECHA:	

Datos del Conductor			
Fabricante:	Tensión Nominal (kV):	Peso (kg):	
Calibre:	Tipo de aislamiento (%):	Temperatura ambiente (°C):	
Diámetro:	Espesor:	presión(hPa):	
Número de conductores:	Material de enchaquetado:	Altura: (m.s.n.m.):	
Longitud del cable:	Voltaje de prueba:	Humedad (%):	

NOTA 1: para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección K, dado en la norma IEEE Std 2013.

EQUIPO DE MEDICIÓN			
Marca:	Serie:	Modelo:	



TIEMPO	FASE A		FASE B		FASE C	
	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA
0:00:15	SEG.					
0:00:30	SEG.					
0:01:00	MIN.					
0:02:00	MIN.					
0:03:00	MIN.					
0:04:00	MIN.					
0:05:00	MIN.					
0:06:00	MIN.					
0:07:00	MIN.					
0:08:00	MIN.					
0:09:00	MIN.					
0:10:00	MIN.					
	PI		PI		PI	
	DAR		DAR		DAR	

Gráfica de Resistencia vs Tiempo



Criterios de aceptación:

- Se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
- Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
- Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



**REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN EN TRANSFORMADORES**

04-AV-UTC-IELE

ASIGNATURA:
CARRERA:
REG. No.:
PRÁCTICA:

CICLO:
FACULTAD:
HORA:
FECHA:



Ingeniería
Eléctrica

Datos del transformador			
Fabricante:		Potencia Nominal (kVA):	Temperatura del aceite (°C):
Grupo de conexión:		Impedancia (%):	Peso (kg):
Identificación del transformador:		Voltaje primario (kV):	Temperatura ambiente (°C):
Serie:		Voltaje secundario (kV):	Presión (BAR):
Clase de Aislamiento:		Corriente primario (A):	Altura: (m.s.n.m.):
Tipo:		Corriente secundario (A):	Humedad (%):

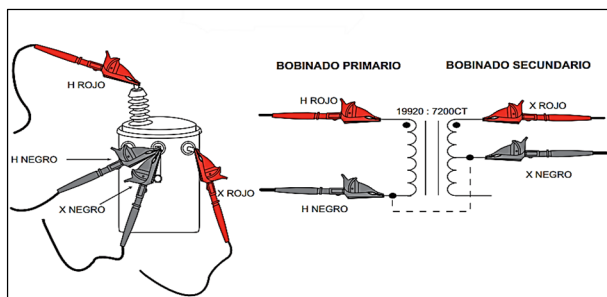
EQUIPO DE MEDICIÓN			
Marca:		Serie:	Modelo:

TAP	MEDIDO			CALCULADO RELACIÓN	% ERROR		
	FASE H1	FASE H2	FASE H3		FASE H1	FASE H2	FASE H3
1/A							
2/B							
3/C							
4/D							
5/E							

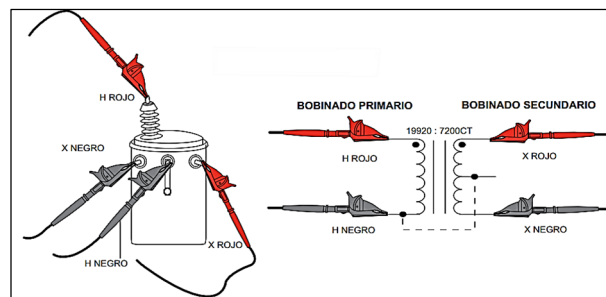
CRITERIO DE ACEPTACIÓN:

1. En pruebas de relación de transformación en todos los transformadores sin carga y con voltaje nominal impreso en un devanado del transformador, todos los demás voltajes nominales deben ser correctos dentro del 0,5 % de las marcas de la placa de identificación según la norma ANSI/IEEE-C57.12.00-1980.

Conexiones:



Conexión de relación 2,767:1 en transformador monofásico.



Conexión de relación 1,383:1

Observaciones y notas correctivas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA TRANSFORMADORES

02-AV-UTC-IELE

ASIGNATURA:

CARRERA:

REG. No.:

PRÁCTICA:

CICLO:

FACULTAD:

HORA:

FECHA:



Ingeniería
Eléctrica

Datos del transformador

Fabricante:	Potencia Nominal (kVA):	Peso (kg):
Grupo de conexión:	Impedancia (%):	Temperatura ambiente (°C):
Serie:	Voltaje primario (kV):	Presión (BAR):
Clase de aislamiento:	Voltaje secundario (kV):	Altura: (m.s.n.m.):
Tipo:	Corriente primario (A):	Humedad (%):
	Tensión de prueba (V):	Tiempo de prueba (minutos):

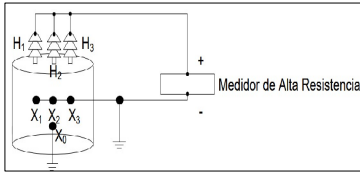
Equipo de medición

Marca:	Serie:	Modelo:
--------	--------	---------

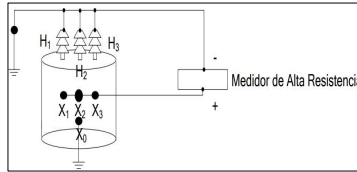
TIEMPO	Alta tensión vs Tierra		Baja tensión vs Tierra		Baja tensión vs Alta tensión	
	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA
0:00:15	SEG.					
0:00:30	SEG.					
0:01:00	MIN.					
0:02:00	MIN.					
0:03:00	MIN.					
0:04:00	MIN.					
0:05:00	MIN.					
0:06:00	MIN.					
0:07:00	MIN.					
0:08:00	MIN.					
0:09:00	MIN.					
0:10:00	MIN.					
	PI		PI		PI	
	DAR		DAR		DAR	

NOTA 1: Para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección según la normativa IEEE Std 400-2001, en función a la temperatura actual del transformador.

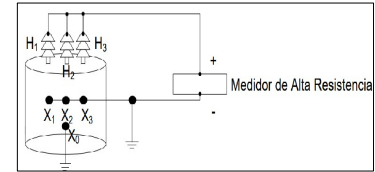
Conexiones:



Alta tensión vs Tierra

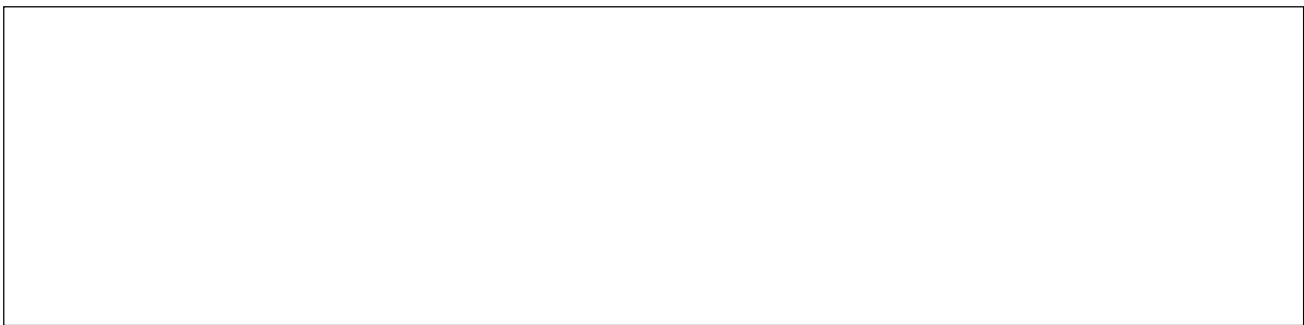


Baja tensión vs Tierra



Baja tensión vs Alta tensión

Gráfica de resistencia vs tiempo:



CRITERIOS DE ACEPTACION:

1. se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
2. Por el valor del índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
3. Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:		CICLO:	
CARRERA:		FACULTAD:	
REG. No.:		HORA:	
PRÁCTICA:		FECHA:	

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: _____ meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:		Norma de Fabricante:	
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:		Tension nominal:	
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:		Distancia de arco:	
Resistencia al esfuerzo transversal:		Clase de aislamiento:	
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:		Temperatura (°C):	
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:		Humedad (%):	
Material:	Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio <input type="checkbox"/>	Resultados:	Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/>

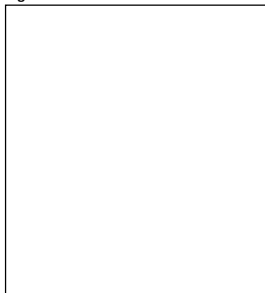
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

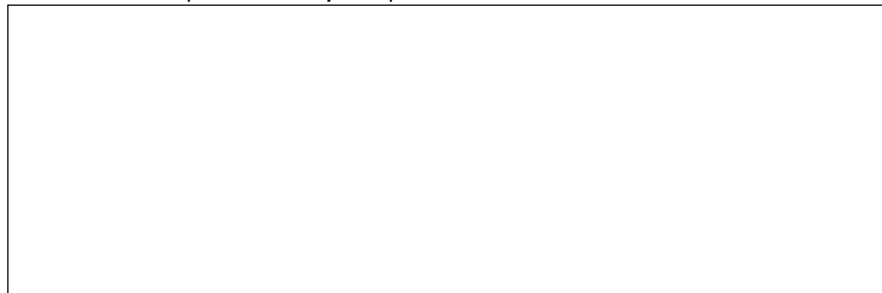
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):		Voltaje de Disrupción (kV):	
------------------------------	--	-----------------------------	--

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

06-AV-UTC-IELE

ASIGNATURA:		CICLO:	
CARRERA:		FACULTAD:	
REG. No.:		HORA:	
PRACTICA:		FECHA:	



Datos del aceite dieléctrico			
Fabricante :		Viscosidad a 40 °C:	
Potencia Nominal :		Punto de congelación °C:	
Factor de pérdida dielectricas 90 °C :		Punto de inflamación °C:	
Densidad a 20 °C :		Temperatura ambiente °C:	
Norma de tension de ruptura dieléctrica :		Altura msnm:	
Tensión de ruptura (sin tratar) :		Humedad %:	
Tensión de ruptura (tratar) :		Presión BAR:	
Aceite :	Nuevo <input type="checkbox"/>	Filtrado <input type="checkbox"/>	En Servicio <input type="checkbox"/>
Resultados:			Acceptable A
			Inacceptable I

EQUIPO DE MEDICIÓN

Marca:		Serie:		Modelo:		Fecha de calibración:	
--------	--	--------	--	---------	--	-----------------------	--

	N° PRUEBA	RESULTADOS (kV)
Norma de prueba:	1	
Duración de la prueba (min):	2	
Tensión media (kV)	3	
Std. Dev. (kV)	4	
SD Media:	5	

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN:

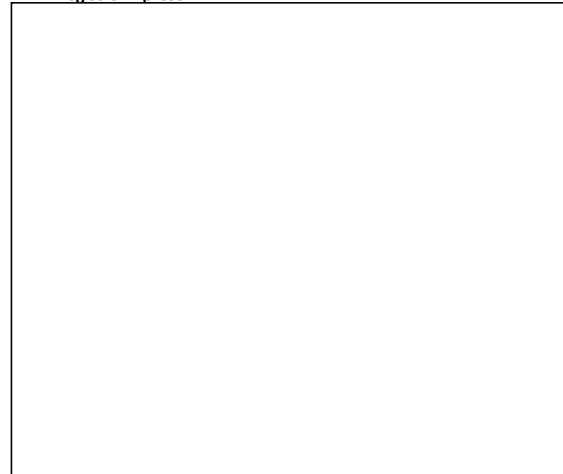
Suggested limits for continued use of in-service mineral oil

Test and method	Value for voltage class		
	≤69 kV	>69 –<230 kV	≥230 kV
Dielectric breakdown voltage ASTM D1816 kV minimum			
1 mm gap	23	28	30
2 mm gap	40	47	50

Test limits for new mineral oil received in new equipment after filling, prior to energization

Test and method	Value for voltage class		
	≤69 kV	>69 –<230 kV	≥230 kV
Dielectric breakdown voltage ASTM D1816 kV minimum			
1 mm gap	25	30	35
2 mm gap	45	55	60

Registro impreso:



Observaciones y notas correctivas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____
7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				



ASIGNATURA:		CICLO:	
CARRERA:		FACULTAD:	
REG. No.:		HORA:	
PRÁCTICA:		FECHA:	

Datos del Conductor

Fabricante:		Tensión Nominal (kV):		Peso (kg):	
Calibre:		Tipo de aislamiento (%):		Temperatura ambiente (°C):	
Diámetro:		Espesor:		presión(hPa):	
Número de conductores:		Material de enchaquetado:		Altura: (m.s.n.m.):	
Longitud del cable:		Voltaje de prueba:		Humedad (%):	

EQUIPO DE MEDICIÓN

Marca:		Serie:		Modelo:	
--------	--	--------	--	---------	--

NOTAS:

- Antes de desarrollar esta prueba, se debe hacer la prueba de resistencia de aislamiento. Registro
- Las pruebas de voltaje mostradas abajo deberán ser realizadas en 5 incrementos iguales.
- Luego de cada incremento de voltaje, deberá permitirse estabilizar la corriente de fuga durante el intervalo de 1 minuto. Si el intervalo de 1 minuto es insuficiente para estabilizar la corriente, el cable deberá ser descargado y repetir la prueba con nuevos intervalos de mayor duración.
- Registrar la corriente de fuga estabilizada en microamperios, al final de cada intervalo de tiempo.
- Permitir que el voltaje permanezca constante en toda la prueba de voltaje y registrar la corriente de fuga por 5 minutos.
- Leer el manual de instrucciones del equipo antes de probar el cable.

VOLTAJE Y TIEMPO DE ESPERA PARA CADA PASO:

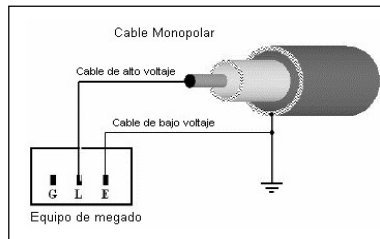
Segundos	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	t	kV	
Fase A																					
Fase B																					
Fase C																					

CORRIENTE DE FUGA EN MICROAMPERIOS

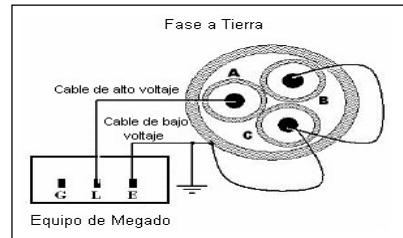
TIEMPO	Seg.	Seg.	Seg.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
	15	30	45	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fase A													
Fase B													
Fase C													

Valores máximos aceptables al proyecto: (corriente de fuga al final de 10 minutos)

RANGO DE VOLTAJE DEL CABLE (kV)	MÁXIMO ACEPTABLE	
	VOLTAJE DE PRUEBA (kV)	CORRIENTE DE FUGA (uA)



Conexión prueba monopolar



Conexión prueba multipolar

Gráfica de tensión vs tiempo



Criterios de aceptación

-

Observaciones y notas correctivas:

- _____
- _____
- _____
- _____
- _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:				
FIRMA:				
FECHA:				

8.2 ANEXO B

RESULTADOS DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN EL LABORATORIO

Los resultados de pruebas de resistencia de aislamiento se muestran en los registros, el índice a continuación muestra la numeración de los registros según el tipo de aislador:

8.2.1.1 AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

- 1) 01-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_USADO)
- 2) 02-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_NUEVO)
- 3) 03-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_USADO)
- 4) 04-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_NUEVO)
- 5) 05-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_USADO)
- 6) 06-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_NUEVO)

8.2.1.2 AISLADOR DE SUSPENSIÓN, PORCELANA, 7,5 kV, ANSI 52-1

- 7) 07-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_NUEVO)
- 8) 08-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_NUEVO)
- 9) 09-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_NUEVO)

8.2.1.3 AISLADOR ROLLO, PORCELANA, 0,25 kV, ANSI 53-2

- 10) 10-03-AV-UTC-IELE (SECO_USADO)
- 11) 11-03-AV-UTC-IELE (SECO_NUEVO)
- 12) 12-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_NUEVO)
- 13) 13-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_USADO)
- 14) 14-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_USADO)
- 15) 15-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_NUEVO)
- 16) 16-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_NUEVO)
- 17) 17-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_NUEVO)

8.2.1.4 AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-3

18) 18-03-AV-UTC-IELE (SECO_NUEVO)

19) 19-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_NUEVO)

20) 20-03-AV-UTC-IELE (HÚMEDO_CONTAMINADO_NUEVO)

21) 21-03-AV-UTC-IELE (BAJA_TEMPERATURA_NUEVO)



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	003-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:22:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	10 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55- 5	Norma de Fabricante:	ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

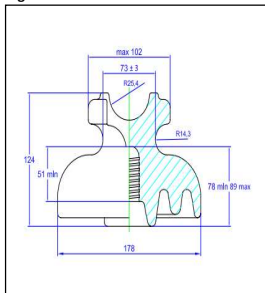
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,7	0,2	0	57	0
10	1,5	0,3	0,1	57,2	10
20	3,8	0,7	0,2	57,8	20
30	5,9	0,8	0,2	60	30
40	8,1	0,7	0,2	68,4	40
50	10,4	0,9	0,3	69,2	50
60	12,9	1,2	0,4	70,3	60
70	15,4	1,4	0,4	75,9	70
80	17,4	1,5	0,4	84,56	80
90	20,1	2,3	0,5	85,3	90
100	22,2	1,2	0,5	86,4	100
110	24,7	1,4	0,5	87	110
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

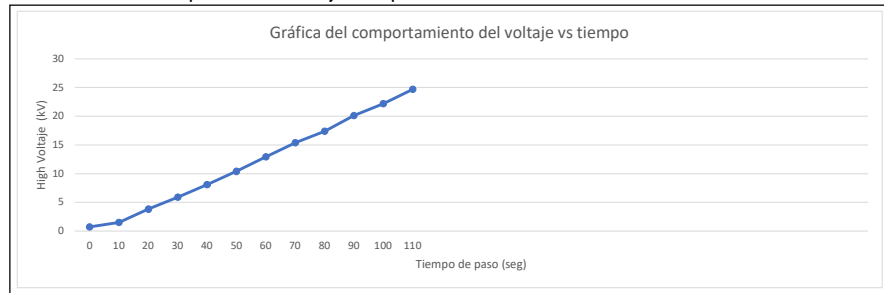
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	8,1	Voltaje de Disrupción (kV):	24,7
-------------------------------------	-----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de junio 2022	10 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	001-03-AV-UTC-IELE	HORA:	11:44:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	10 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55-5		Norma de Fabricante: ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho <input type="checkbox"/> Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

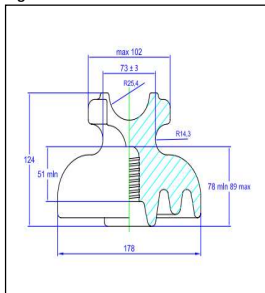
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,7	0,1	0	57	0
10					
20	3,8	0,2	0,1	57,8	10
30					
40	8,3	1,4	0,4	68,4	20
50					
60					
70					
80	17,5	1,5	0,5	84,56	30
90					
100					
110					
120	27,2	1,7	0,6	88,65	40
130					
140	32,1	1,5	0,6	91,3	50
150					
160	36,7	0,5	0,5	92,4	60
170					
180	41,1	0,5	0,5	92,2	70
190					
200					
210	48,8	0,5	0,5	92,8	80
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

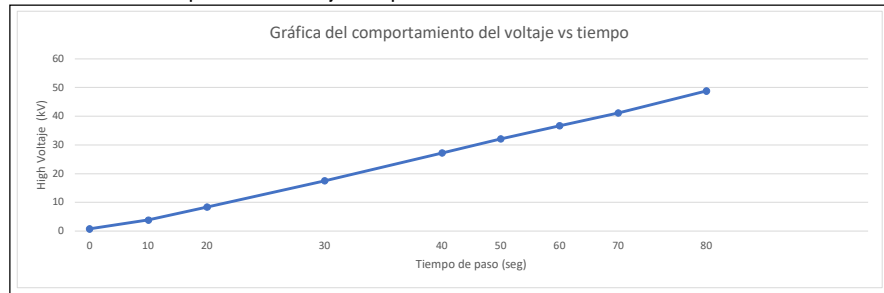
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	17,5	Voltaje de Disrupción (kV):	48,8
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978.
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	007-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:24:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	10 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE SUSPENSIÓN, PORCELANA, 7,5 kV, ANSI 52-1	Norma de Fabricante:	ANSI C29.2
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	60 kV	Tension nominal:	7.5 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	30 kV	Distancia de arco:	100 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	44 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 52-1
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	100 kV	Temperatura (°C):	23,7
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	100 kV	Humedad (%):	44
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

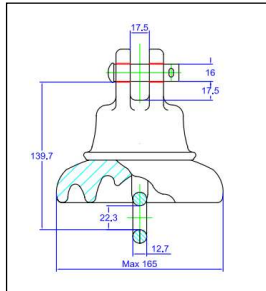
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	64,4	10
10					
20	3,8	0,4	0,1	65,5	20
30					
40	8,2	0,9	0,3	71,5	30
50					
60	13	0,6	0,3	74,3	40
70					
80	17,7	0,5	0,3	79,5	50
90					
100	22,4	0,7	0,4	81,5	60
110					
120	27,1	0,8	0,4	84,1	70
130	29,5	0,7	0,5	85,1	80
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

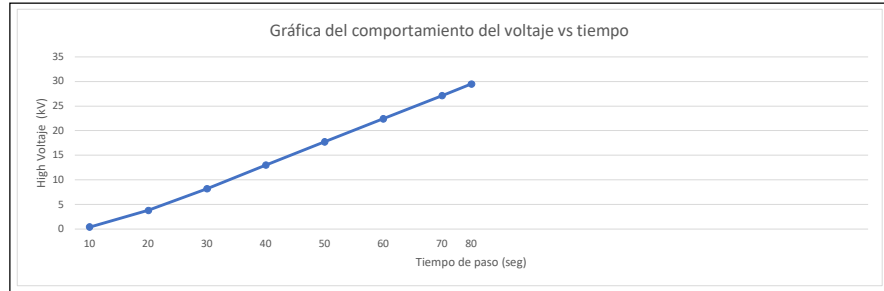
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	17,7	Voltaje de Disrupción (kV):	29,5
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	002-03-AV-UTC-IELE	HORA:	10:01:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	10 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55-5		Norma de Fabricante: ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

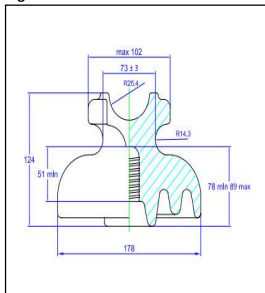
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,9	0,1	0	57	10
10					
20				57,8	
30					
40	8,4	0,2	0,2	68,4	20
50					
60					
70					
80	17,8	0,2	0,2	81,5	30
90					
100					
110					
120	26,5	0,4	0,2	84,56	50
130					
140				88,65	
150					
160	35,6	0,6	0,5	91,3	70
170					
180					
190					
200	44,3	1,3	0,6	92,4	90
210					
220	49	0,9	0,6	92,2	110
230	52	0,9	0,6	92,8	130
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

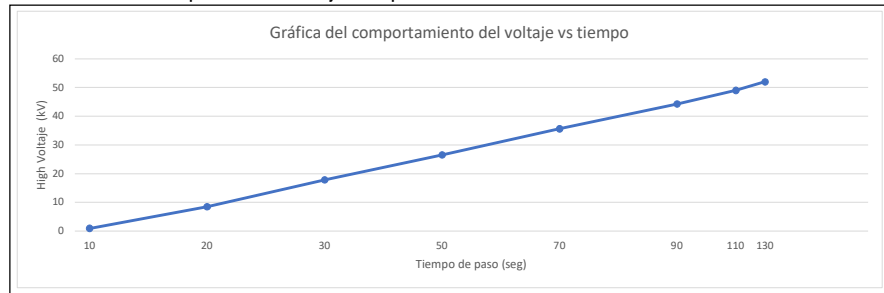
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	17,8	Voltaje de Disrupción (kV):	52
-------------------------------------	------	------------------------------------	----

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978.
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	008-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:54:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	viernes, 3 de junio de 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE SUSPENSIÓN, PORCELANA, 7,5 kV, ANSI 52-1	Norma de Fabricante:	ANSI C29.2
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	60 kV	Tension nominal:	7.5 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	30 kV	Distancia de arco:	100 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	44 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 52-1
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	100 kV	Temperatura (°C):	18,7
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	100 kV	Humedad (%):	64
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

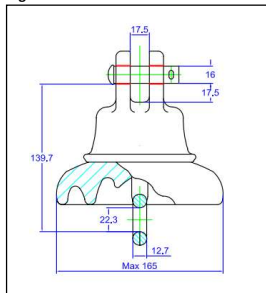
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,4	0,1	64,4	10
10	1,2	1,2	0,3	65,2	20
20	3,2	2,9	0,7	65,5	30
30	5,5	3,2	0,8	67,9	40
40	8	2,5	0,6	71,5	50
50	10,3	1,5	0,4	72,5	60
60					
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

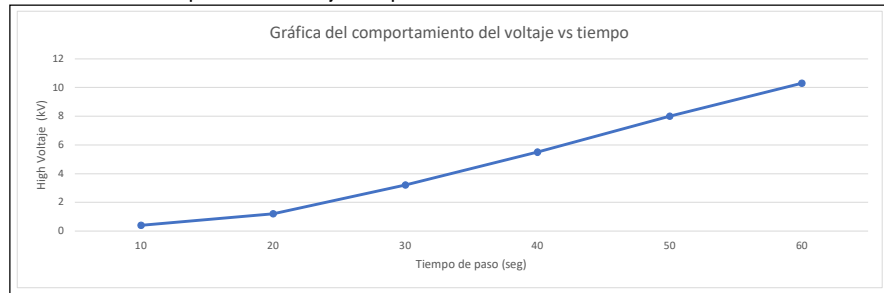
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	5,5	Voltaje de Disrupción (kV):	10,3
-------------------------------------	-----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	005-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:46:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	06 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55-5		Norma de Fabricante: ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho <input type="checkbox"/> Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

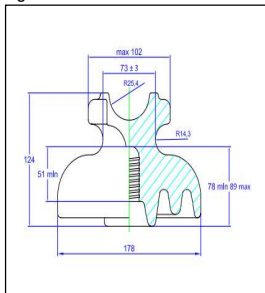
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	0
10					
20	3,6	0,1	0	57,8	10
30					
40	8	0,2	0,1	68,4	20
50					
60	12,8	0,3	0,2	70,3	30
70					
80	17,4	0,6	0,2	84,56	40
90					
100	21,8	0,9	0,4	86,4	50
110					
120	26,5	1,1	0,5	88,65	60
130					
140	31,4	1,1	0,5	91,3	70
150					
160	36,2	1,2	0,6	91,7	80
170					
180	40,3	2,1	0,7	92,3	90
190					
200	44,5	1,3	0,8	93,5	100
210					
220	48,5	1,2	0,7	95,2	110
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

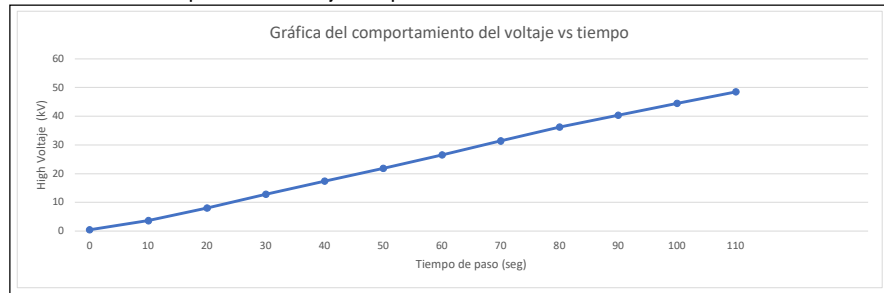
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	17,4	Voltaje de Disrupción (kV):	48,5
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	06 de junio 2022	06 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	004-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:24:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	10 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55- 5	Norma de Fabricante:	ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

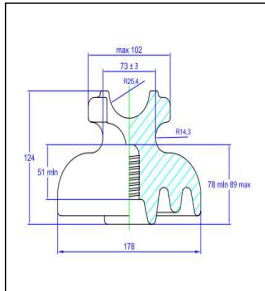
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	0
10	1,7	0,1	0	57,2	10
20	4,2	0,2	0,1	57,8	20
30	5,6	0,2	0,1	60	30
40	7,7	0,2	0,1	68,4	40
50	10,6	0,3	0,2	69,2	50
60	13,6	0,4	0,2	70,3	60
70	15,4	0,4	0,2	75,9	70
80	17,5	0,5	0,3	84,56	80
90	20	0,6	0,3	85,3	90
100	22,6	0,8	0,3	86,4	100
110	34,5	0,8	0,4	87	110
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

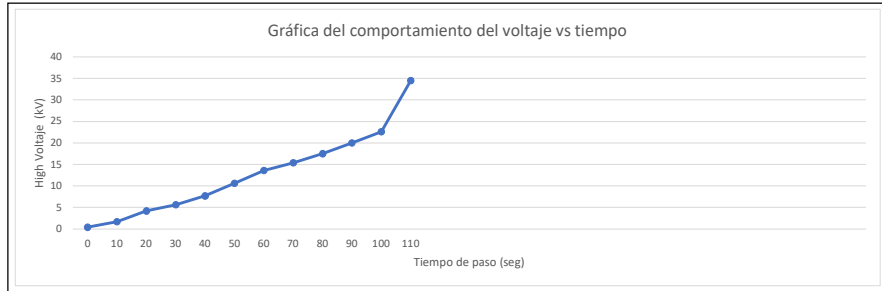
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	15,4	Voltaje de Disrupción (kV):	34,5
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

NOMBRE:	REALIZADO POR: Campuez Gualacata Francisco Javier	REALIZADO POR : Vega Chitupanta Mauro Vinicio	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FIRMA:				
FECHA:	10 de junio 2022	10 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	009-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:14:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	lunes, 6 de junio de 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE SUSPENSIÓN, PORCELANA, 7,5 kV, ANSI 52-1	Norma de Fabricante:	ANSI C29.2
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	60 kV	Tension nominal:	7.5 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	30 kV	Distancia de arco:	100 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	44 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 52-1
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	100 kV	Temperatura (°C):	6,5
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	100 kV	Humedad (%):	84
Material:	<input type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

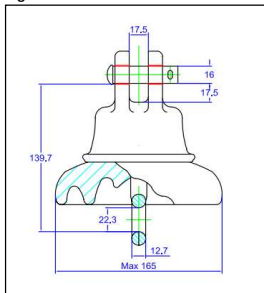
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,6	0,1	0	64,4	10
10	2,1	0,1	0,2	65,2	20
20	3,8	0,2	0,2	65,5	30
30	5,23	0,2	0,2	69,3	40
40	8,4	0,3	0,2	71,5	50
50	10,01	0,3	0,2	73,2	60
60	12,5	0,4	0,2	74,3	70
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

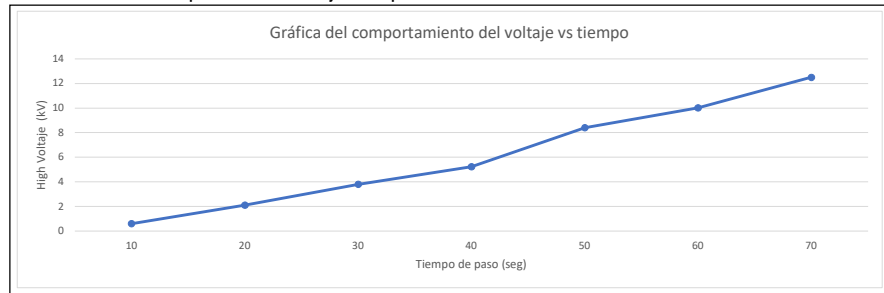
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	5,23	Voltaje de Disrupción (kV):	12,5
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	012-03-AV-UTC-IELE	HORA:	14:38:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	30
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	34
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

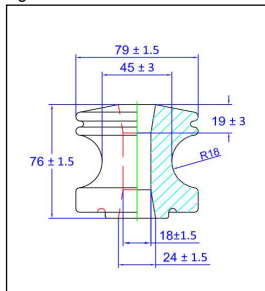
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,6	0,1	0	57	10
10					
20	3,6	0,1	0,1	65,1	20
30					
40	8	0,2	0,1	72	30
50					
60	12,5	0,2	0,1	76,3	40
70					
80	17,1	0,2	0,2	79,5	50
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

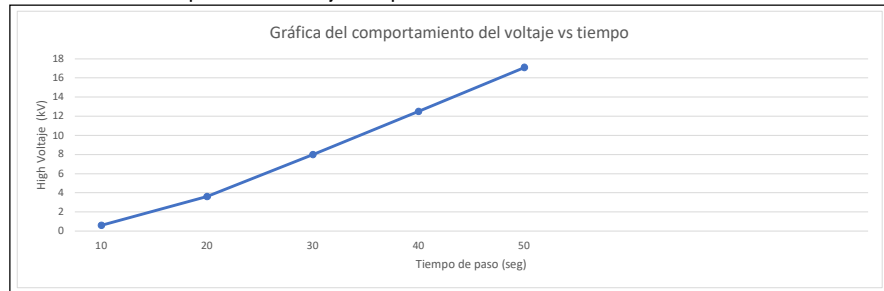
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	8	Voltaje de Disrupción (kV):	17,1
------------------------------	---	-----------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	11 de mayo 2022	11 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSION DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	006-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:50:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador tipo espiga (PIN), ANSI 55-5	FECHA:	06 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, CON RADIO INTERFERENCIA, 15 kV, ANSI 55-5		Norma de Fabricante: ANSI C9-5
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	80 kV	Tension nominal:	15 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	45 kV	Distancia de arco:	159 mm
Resistencia al esfuerzo transversal:	13 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 55-5
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	130 kV	Temperatura (°C):	27,4
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	150 kV	Humedad (%):	42
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho <input type="checkbox"/> Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

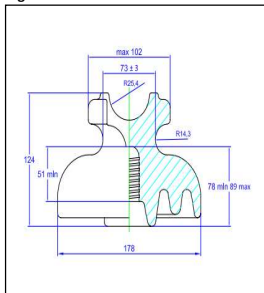
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	0
10					
20	4,1	0,1	0	57,8	10
30					
40	8,1	0,1	0	68,4	20
50					
60	12,9	0,2	0,2	70	30
70					
80	17,2	0,2	0,2	84,56	40
90					
100	22,2	0,2	0,2	85,3	50
110					
120	25,6	0,2	0,3	88,65	60
130					
140	31,6	0,4	0,3	91,3	70
150					
160	36,1	0,4	0,4	92,4	80
170					
180	40,5	0,5	0,4	93,2	90
190					
200	45,2	0,6	0,5	94,5	100
210					
220	49,4	0,6	0,5	95	110
230					
240	52,4	0,7	0,5	95,6	120
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

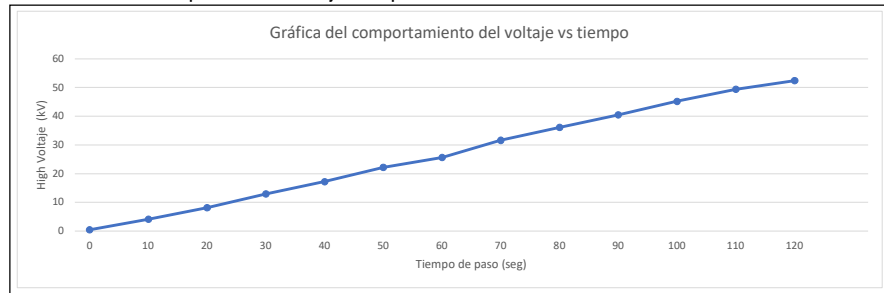
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	12,9	Voltaje de Disrupción (kV):	52,4
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE: Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:			
FECHA: 06 de junio 2022	06 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	010-03-AV-UTC-IELE	HORA:	12:50:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	27,7
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	40
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

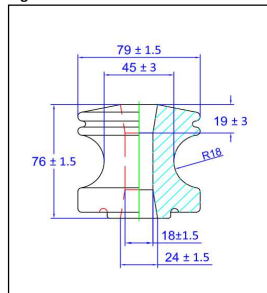
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	10
10	1,7	0,1	0	57	20
20	3,8	0,1	0	57	30
30	7,8	0,1	0,1	77,1	40
40	8,3	0,1	0,1	77,1	50
50	10,5	0,1	0,1	77,1	60
60	13	0,1	0,1	80	70
70	15,2	0,1	0,2	81,5	80
80	17,5	0,1	0,2	84,5	90
90	19,9	0,1	0,2	85,2	100
100	22,3	0,1	0,3	90,2	110
110	24,6	0,1	0,3	92,3	120
120	26,8	0,1	0,3	96,7	130
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

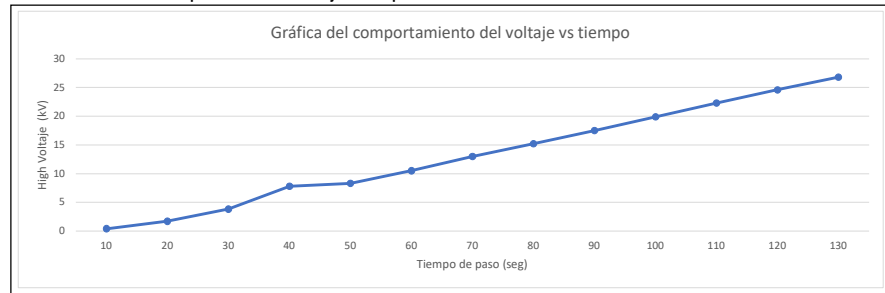
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	15,2	Voltaje de Disrupción (kV):	26,8
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

NOMBRE:	REALIZADO POR: Campuez Gualacata Francisco Javier	REALIZADO POR : Vega Chitupanta Mauro Vinicio	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FIRMA:				
FECHA:	10 de mayo 2022	10 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	010-03-AV-UTC-IELE	HORA:	12:50:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	26
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	40
Material:	<input type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

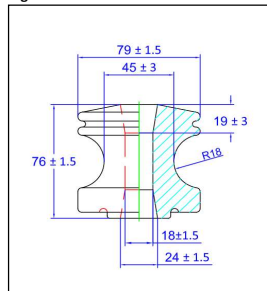
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	10
10					20
20	4	0,1	0	71,2	30
30					40
40	8,1	0,1	0,1	76,8	50
50					60
60	12,8	0,1	0,1	81,3	70
70					80
80	17,4	0,1	0,2	84,5	90
90					100
100	22,1	0,1	0,2	85,5	110
110	24,4	0,1	0,3	92,8	120
120	26,7	0,1	0,3	92,8	130
130	29	0,1	0,3	93,5	140
140	31,1	0,1	0,3	94,1	150
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

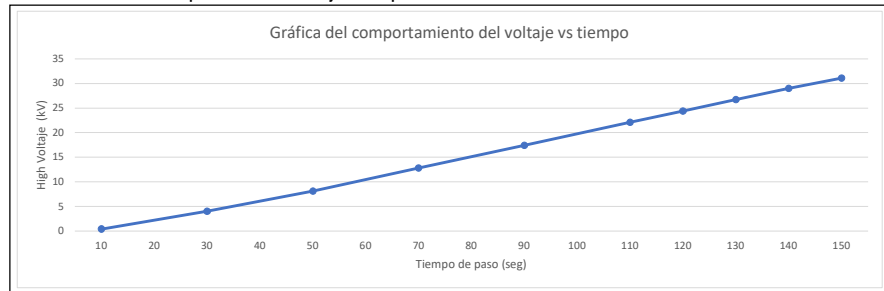
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	12,8	Voltaje de Disrupción (kV):	31,1
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978.
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
- 4.
- 5.

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	11 de mayo 2022	11 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	013-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:38:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO <input type="checkbox"/>	HUMEDO <input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO <input checked="" type="checkbox"/>	USADO <input type="checkbox"/>

BAJA TEMP. <input type="checkbox"/>	CONTAMINADO <input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------------------

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	27
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	40
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

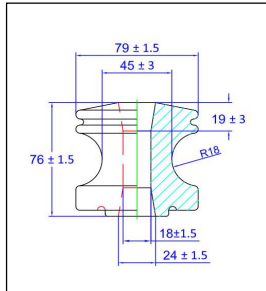
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,9	0,1	0	57	5
10					
20	3,8	0,1	0,3	68,7	15
30					
40	8,1	0,2	0,5	76,2	25
50					
60	12,7	0,1	0,2	80,5	35
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

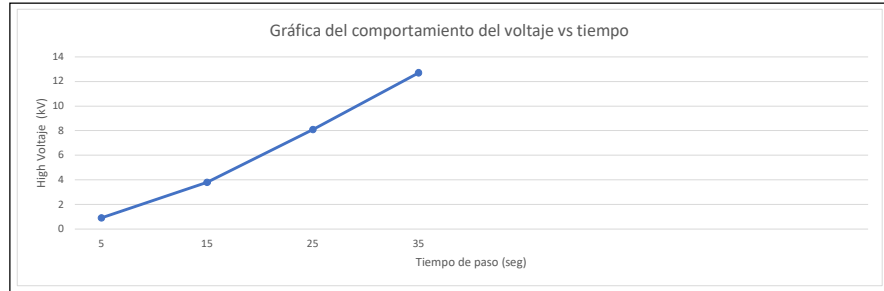
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	8,1	Voltaje de Disrupción (kV):	12,7
------------------------------	-----	-----------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	11 de mayo 2022	11 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	014-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:49:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	09 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	19.1
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	59
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

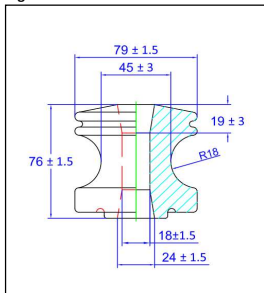
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,3	0,6	0,2	57	10
10	1,6	1	0,4	57	20
20	3,3	1,5	0,4	57	30
30	6	2,2	0,5	77,1	40
40	8,1	3,9	0,6	77,1	50
50	10,4	3,2	0,7	77,1	60
60	10,7	3,3	0,9	80	70
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

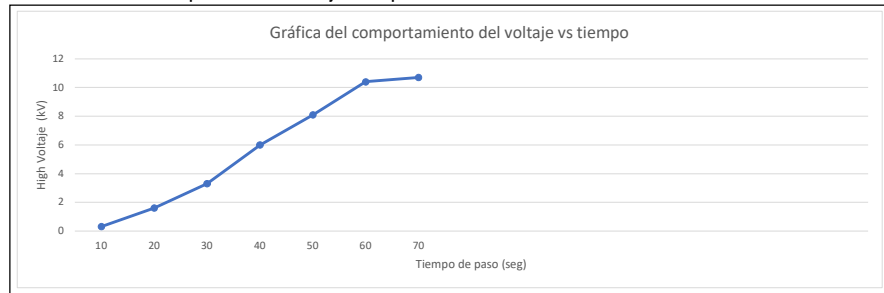
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	8,1	Voltaje de Disrupción (kV):	10,7
-------------------------------------	-----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978.
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	09 de junio 2022	09 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	015-03-AV-UTC-IELE	HORA:	16:05:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	09 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	15,1
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	61
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

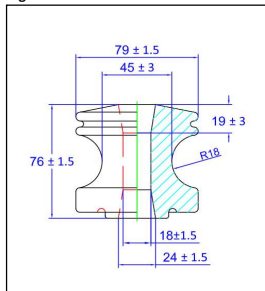
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,2	0	57	10
10	1,5	0,8	0,2	57	20
20	3,3	2,1	0,6	57	30
30	5,5	3,3	0,9	77,1	40
40	7,8	2,4	0,5	77,1	50
50	10,3	0,2	0,1	77,1	60
60	12,6	1,1	0,3	80	70
70	15,2	0,8	0,3	81,5	80
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

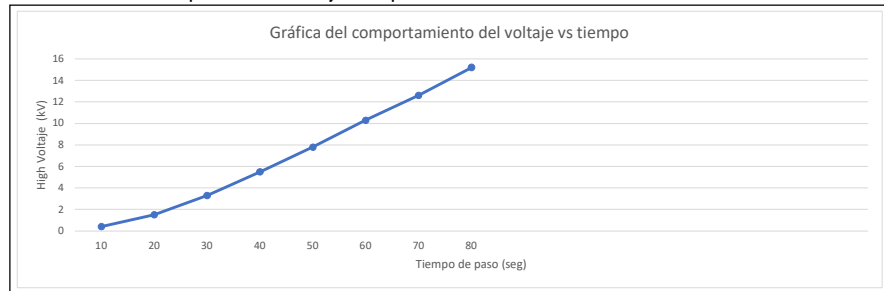
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	7,8	Voltaje de Disrupción (kV):	15,2
-------------------------------------	-----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

NOMBRE:	REALIZADO POR: Campuez Gualacata Francisco Javier	REALIZADO POR : Vega Chitupanta Mauro Vinicio	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FIRMA:				
FECHA:	09 de junio 2022	09 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	016-03-AV-UTC-IELE	HORA:	12:05:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	10 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	6.6
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	73
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

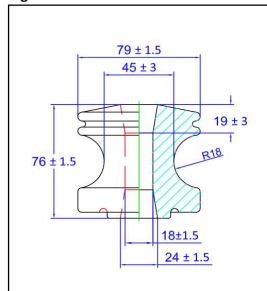
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	57	10
10					
20	3,8	0,1	0	57	30
30					
40	8,1	0,1	0,1	78,9	50
50					
60	12,7	0,2	0,1	82,5	70
70					
80	17,3	0,2	0,2	84,8	90
90					
100	20,9	0,2	0,2	92,3	110
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

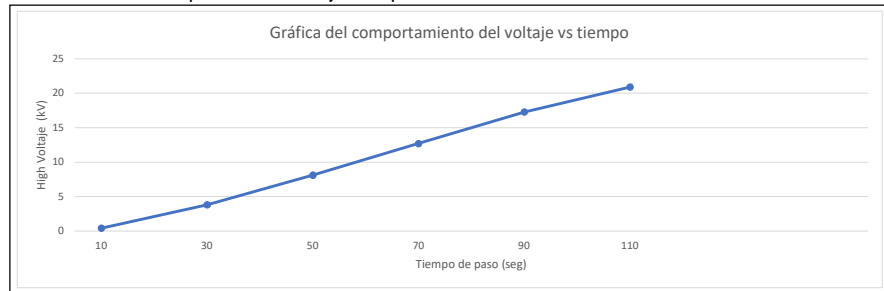
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	12,7	Voltaje de Disrupción (kV):	20,9
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978.
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de junio 2022	10 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	017-03-AV-UTC-IELE	HORA:	13:45:00
PRÁCTICA:	Ensayo de aislador ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	FECHA:	10 de Junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR ROLLO, PORCELAN, 0,25 kV, ANSI 53-2	Norma de Fabricante:	ANSI C29.3
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	25 kV	Tension nominal:	2 kV
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	12 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	13.3 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 53-2
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	6,2
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	76
Material:	<input type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

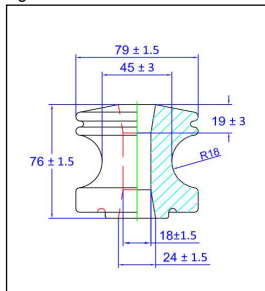
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,6	0,1	0	57	10
10					
20	3,5	0,1	0	71,5	20
30					
40	8,1	0,1	0,1	76,8	30
50					
60	12,9	0,2	0,1	81,3	40
70					
80	17,2	0,2	0,2	84,5	50
90					
100	21,9	0,1	0,2	85,5	60
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

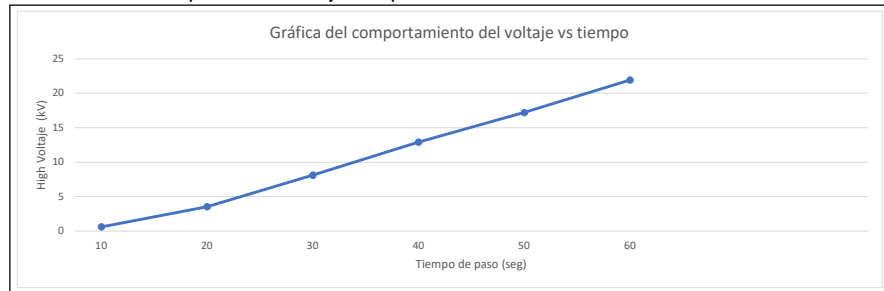
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	12,9	Voltaje de Disrupción (kV):	21,9
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	10 de junio 2022	10 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	018-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:20:00
PRÁCTICA:	Ensayo aislador ANSI 54 - 3	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información meses

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-3	Norma de Fabricante:	ANSI C29.4
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	35 kV	Tension nominal:	SIN INFORMACION
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	18 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	89 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 54-3
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	27
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	36
Material:	Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio <input type="checkbox"/>	Resultados:	Aceptable <input checked="" type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/>

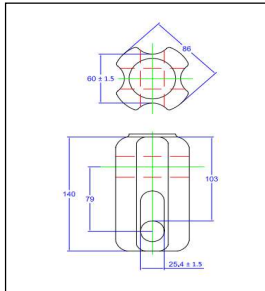
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	53,3	0
10					
20	3,8	0,1	0	65,7	10
30					
40	8,4	0,1	0,1	72,8	20
50					
60	12,8	0,2	0,1	76	30
70					
80	17,5	0,2	0,1	79,1	40
90					
100	22,1	0,2	0,2	81,7	50
110					
120	26,9	0,2	0,3	80,7	60
130	29,3	0,2	0,3	81,7	70
140	31,5	0,2	0,3	82,7	80
150	33,6	0,2	0,4	85,5	90
160	36	0,3	0,4	85,7	100
170	36,9	0,3	0,4	86,3	110
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

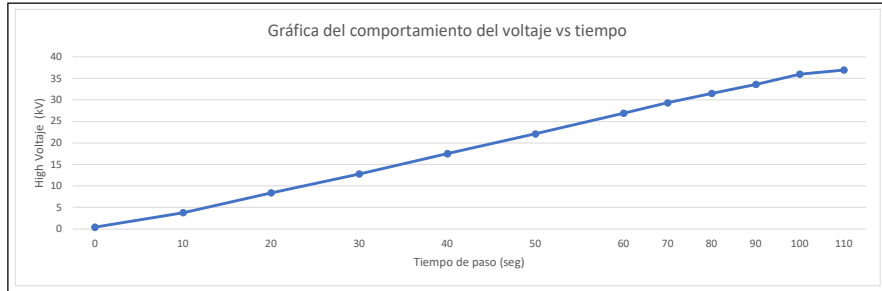
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	17,5	Voltaje de Disrupción (kV):	36,9
-------------------------------------	------	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	11 de mayo 2022	11 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	019-03-AV-UTC-IELE	HORA:	11:26:00
PRÁCTICA:	Ensayo aislador ANSI 54 - 3	FECHA:	11 de mayo 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-3	Norma de Fabricante:	ANSI C29.4
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	35 kV	Tension nominal:	SIN INFORMACION
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	18 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	89 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 54-3
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	25
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	42
Material:	Porcelana <input checked="" type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio <input type="checkbox"/>	Resultados:	Aceptable <input checked="" type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/>

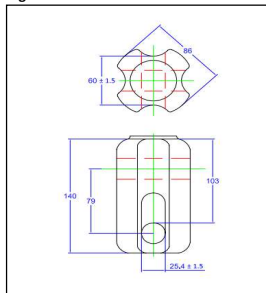
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,5	0,1	0	57	10
10					15
20	3,8	0,1	0	66,8	20
30					25
40	8,2	0,1	0,1	73,5	30
50					35
60	13	0,2	0,1	77,3	40
70					45
80	17,2	0,2	0,2	78,2	50
90					55
100	21,9	0,2	0,3	79,5	60
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

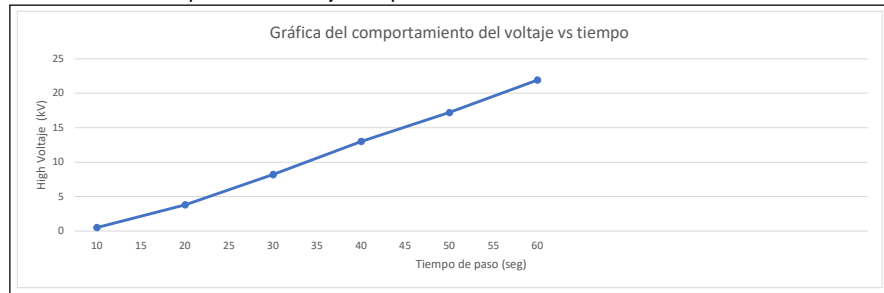
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	13	Voltaje de Disrupción (kV):	21,9
-------------------------------------	----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	11 de mayo 2022	11 de mayo 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	020-03-AV-UTC-IELE	HORA:	11:20:00
PRÁCTICA:	Ensayo aislador ANSI 54 - 3	FECHA:	09 de junio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-3	Norma de Fabricante:	ANSI C29.4
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	35 kV	Tension nominal:	SIN INFORMACION
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	18 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	89 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 54-3
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	19
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	62
Material:	Porcelana <input checked="" type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio <input type="checkbox"/>	Resultados:	Aceptable <input checked="" type="checkbox"/> Inaceptable <input type="checkbox"/>

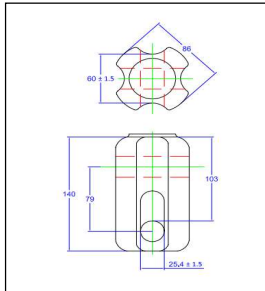
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	53,3	0
10	2,5	0,1	0	67,9	10
20	3,7	0,1	0	68,5	20
30	5,8	0,2	0,1	73,7	30
40	8,1	0,2	0,1	75,6	40
50	10,3	0,3	0,1	78,1	50
60	12,8	0,2	0,2	80	60
70	15,2	0,2	0,3	82,5	70
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

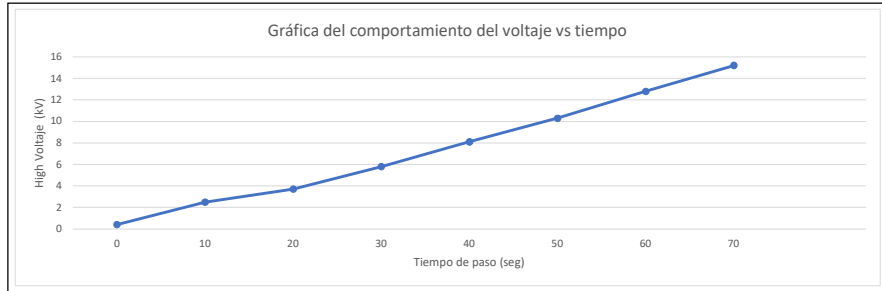
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	13	Voltaje de Disrupción (kV):	21,9
-------------------------------------	----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

1. La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
2. La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
3. Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
4. _____
5. _____

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR :	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Campuez Gualacata Francisco Javier	Vega Chitupanta Mauro Vinicio		
FIRMA:				
FECHA:	09 de junio 2022	09 de junio 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE TENSIÓN DE CONTORNEO
03-AV-UTC-IELE



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
REG. No.:	021-03-AV-UTC-IELE	HORA:	15:20:00
PRÁCTICA:	Ensayo aislador ANSI 54 - 3	FECHA:	06 de julio 2022

TIPO DE ENSAYO:	
SECO	HUMEDO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ESTADO:	
NUEVO	USADO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

BAJA TEMP.	CONTAMINADO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

En caso de ser usado indique el tiempo de uso: Sin Información **meses**

Datos del aislador			
Tipo de aislador:	AISLADOR DE RETENIDA, PORCELANA, ANSI 54-3	Norma de Fabricante:	ANSI C29.4
Voltaje de flameo de baja frecuencia en seco:	35 kV	Tension nominal:	SIN INFORMACION
Voltaje de flameo de baja frecuencia en humedo, vertical:	18 kV	Distancia de arco:	NO APLICA
Resistencia al esfuerzo transversal:	89 kN	Clase de aislamiento:	ANSI 54-3
Voltaje de flameo crítico al impulso positivo:	NO APLICA	Temperatura (°C):	6.2
Voltaje de flameo crítico al impulso negativo:	NO APLICA	Humedad (%):	75
Material:	<input checked="" type="checkbox"/> Porcelana <input type="checkbox"/> Caucho Siliconado <input type="checkbox"/> Vidrio	Resultados:	<input checked="" type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Inaceptable

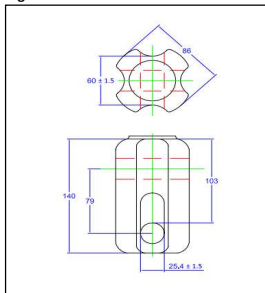
Posición del regulador	High voltage (kV)	HV Current (mA)	LV current (A)	Ruido (db)	Step time (seg)
0	0,4	0,1	0	53,3	0
10					
20	5,7	0,1	0,1	65,7	10
30					
40	8,6	0,1	0,1	72,8	20
50					
60	13,1	0,2	0,1	76	30
70					
80	17,1	0,2	0,2	79,1	40
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

Nota: Reducir el tiempo de prueba siempre en cuando el aislador esté húmedo

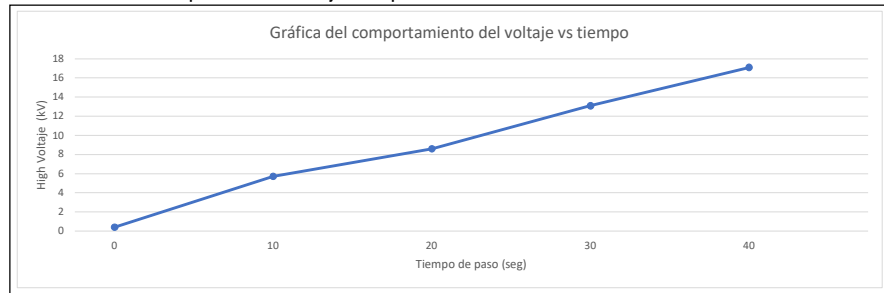
Registre el voltaje y corriente para los siguientes eventos:

Umbral audible intenso (kV):	8,6	Voltaje de Disrupción (kV):	17,1
-------------------------------------	-----	------------------------------------	------

Figura del aislador:



Gráfica del comportamiento del voltaje vs tiempo



Criterios de aceptación:

- La tensión promedio de flameo del aislador, debe ser igual o mayor al 90% de la tensión de flameo estandar dependiendo el caso de prueba seco, humedo, contaminado o altas temperaturas, según la norma ANSI C29.2.

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba se la realiza en el mejor de los casos con un ambiente cerrado en completo silencio con la finalidad de dar un criterio auditivo aceptable.
- La tensión aplicada inicialmente debe incrementarse rápidamente hasta el 75% del valor de la tensión de flameo estandar en húmedo según ANSI/IEEE 4-1978 .
- Para el análisis en seco se recomienda un tiempo de paso de 10 segundos o superior, y para el análisis en humedo un tiempo inferior a los 10 segundos.
-
-

NOMBRE:	REALIZADO POR: Campuez Gualacata Francisco Javier	REALIZADO POR : Vega Chitupanta Mauro Vinicio	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FIRMA:				
FECHA:	06 de julio 2022	06 de julio 2022		

8.3 ANEXO C

RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN AISLADORES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

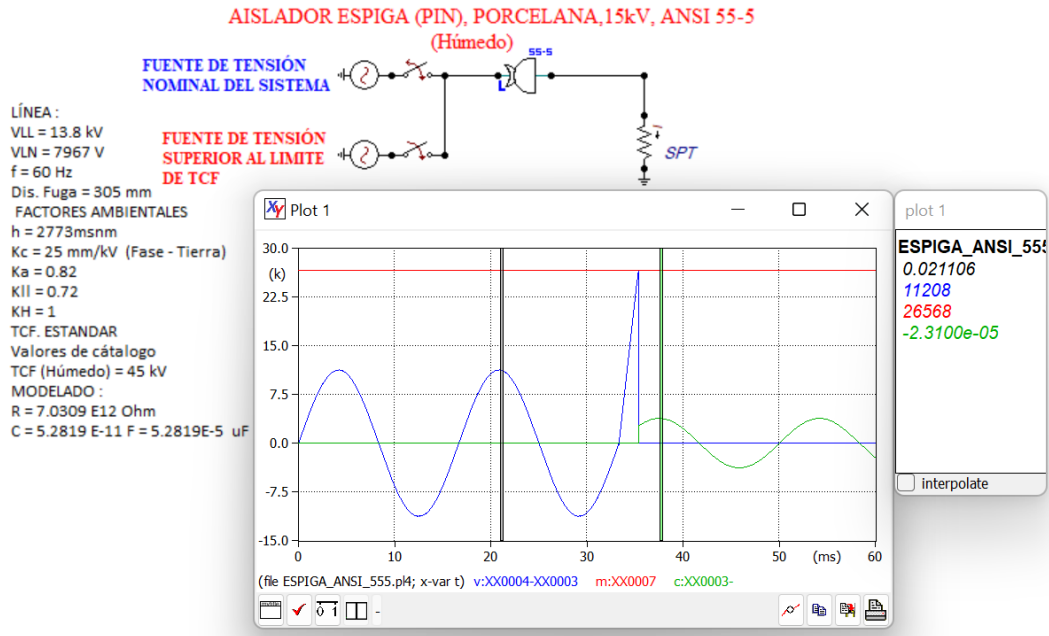


Figura 8.1. Modelado de aislador tipo PIN ANSI 55-5 ante condiciones de humedad y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

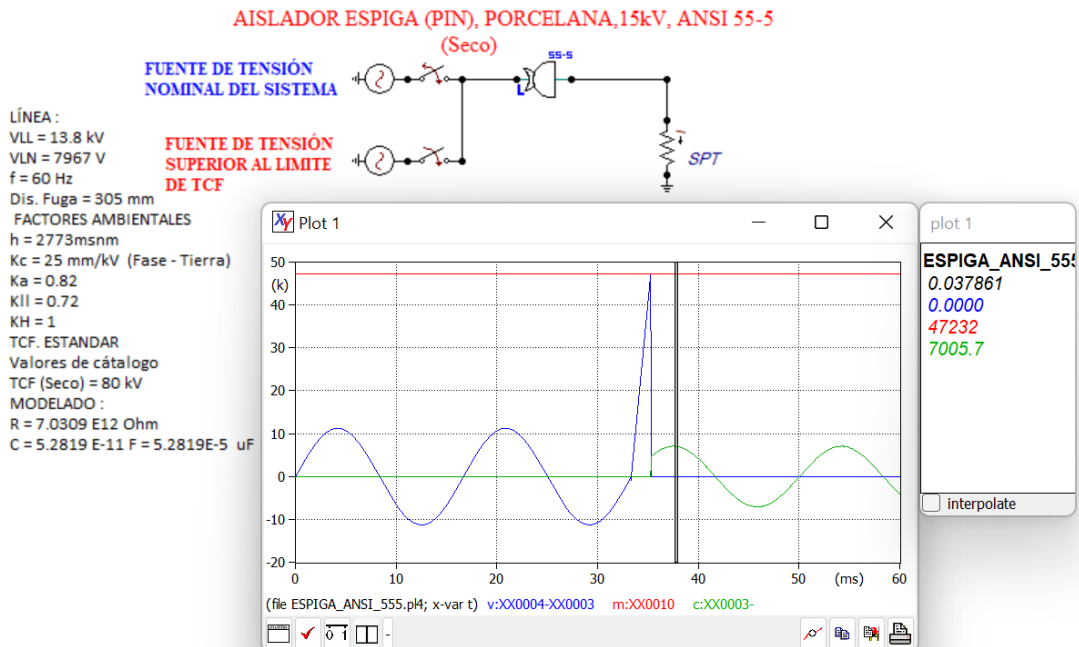


Figura 8.2. Modelado de aislador tipo PIN ANSI 55-5 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

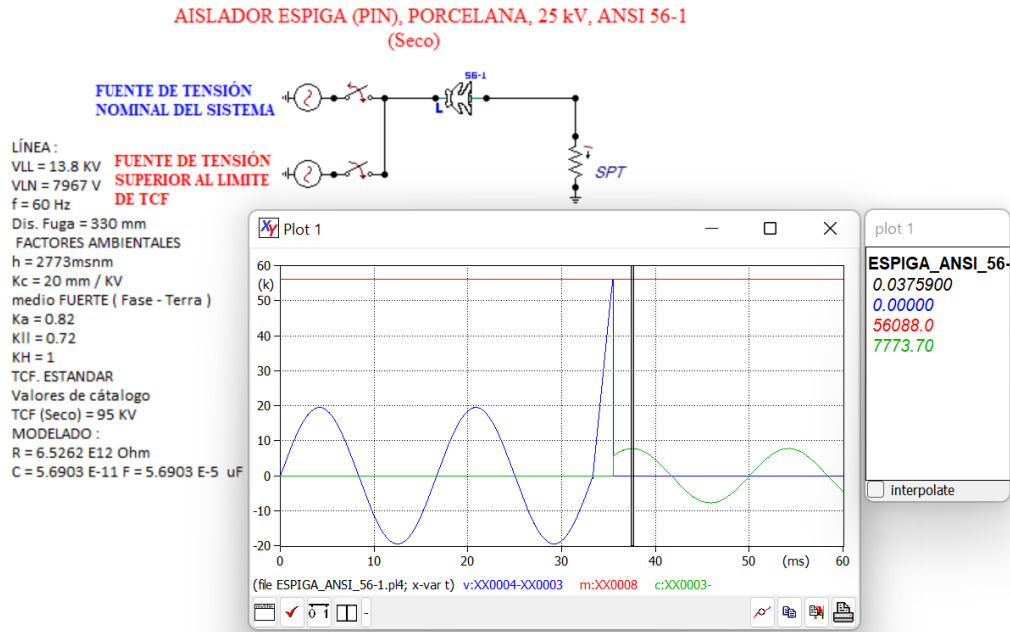


Figura 8.3. Modelado de aislador tipo ANSI 56-1 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

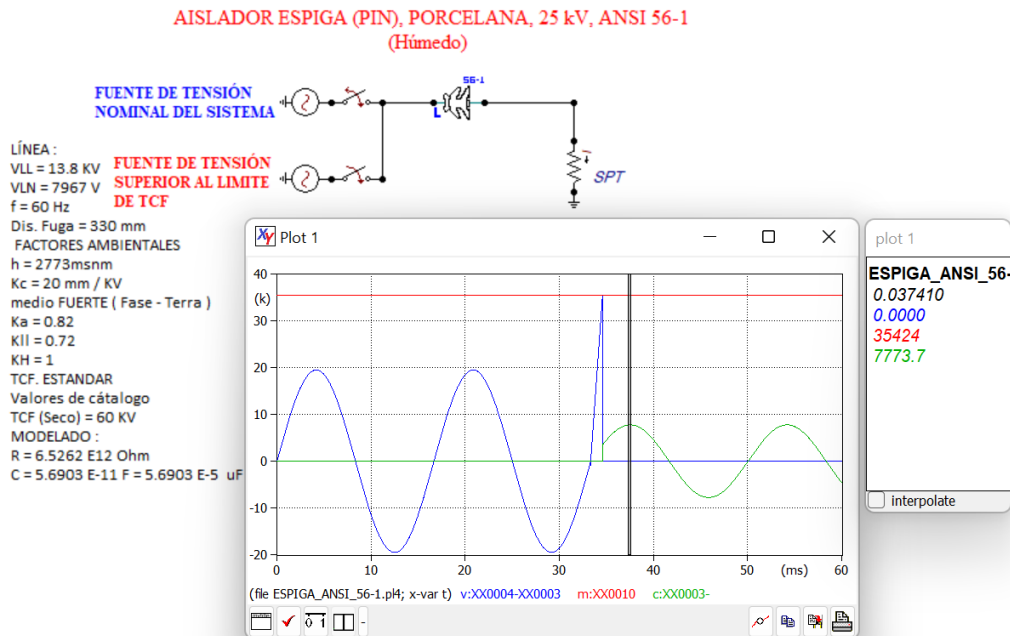


Figura 8.4. Modelado de aislador tipo ANSI 56-1 ante condiciones húmedas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

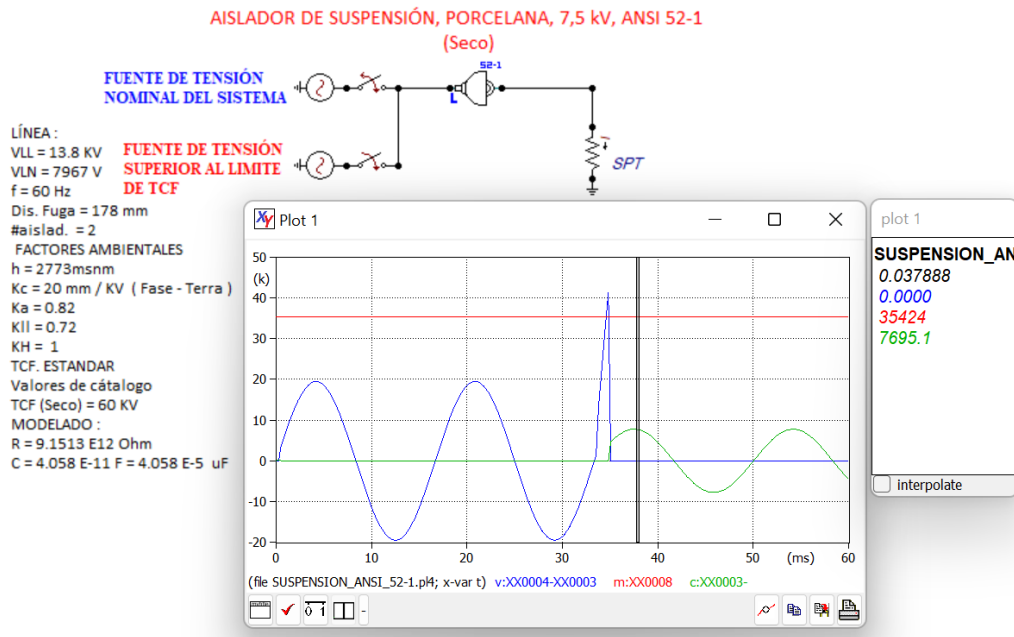


Figura 8.5. Modelado de aislador tipo ANSI 52-1 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

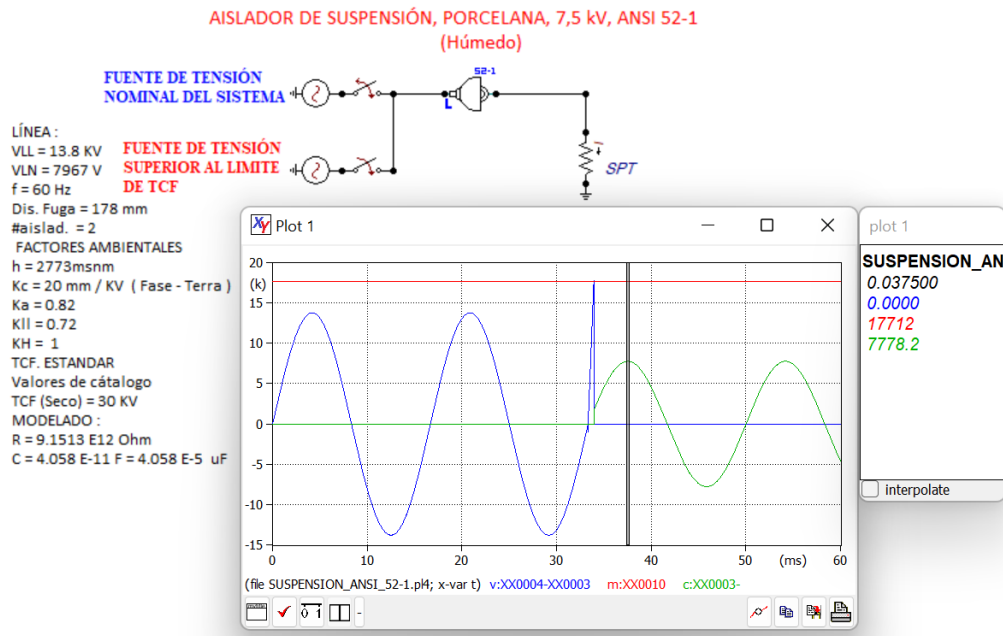


Figura 8.6. Modelado de aislador tipo ANSI 52-1 ante condiciones húmedas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

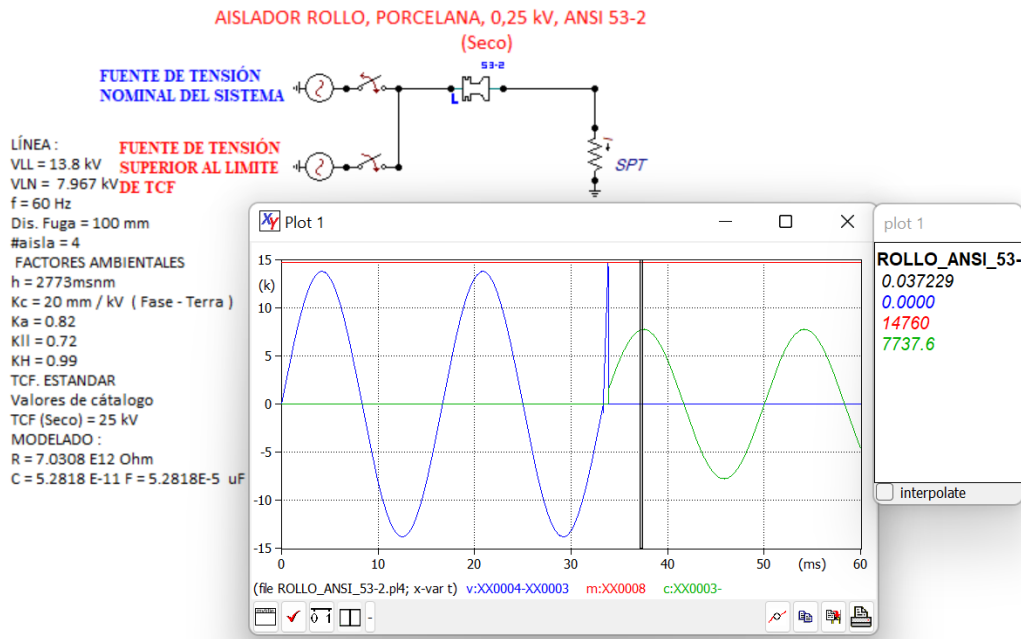


Figura 8.7. Modelado de aislador tipo ANSI 53-2 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

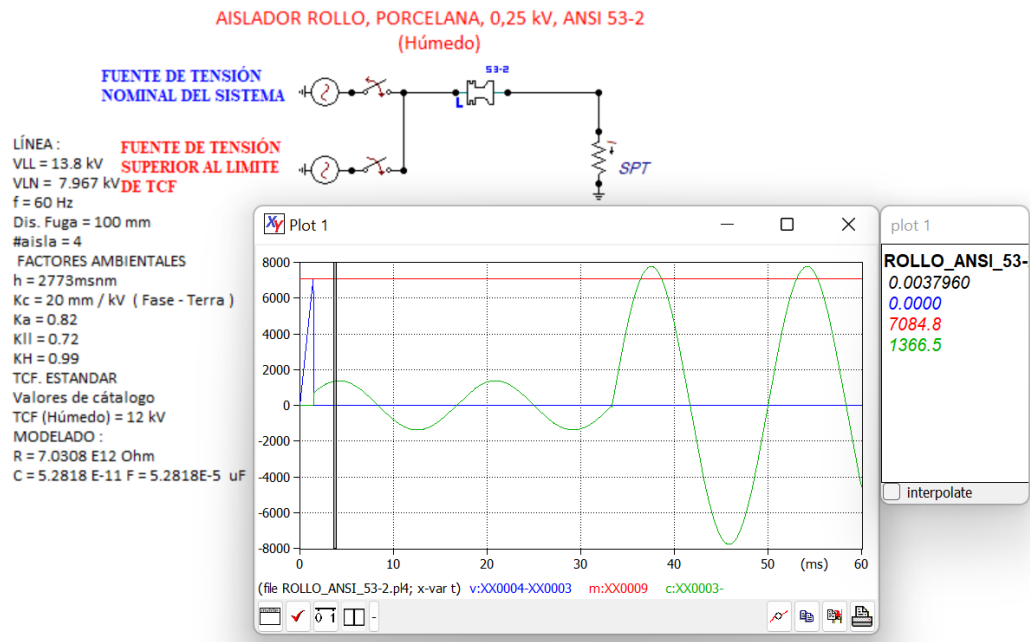


Figura 8.8. Modelado de aislador tipo ANSI 53-2 ante condiciones húmedas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

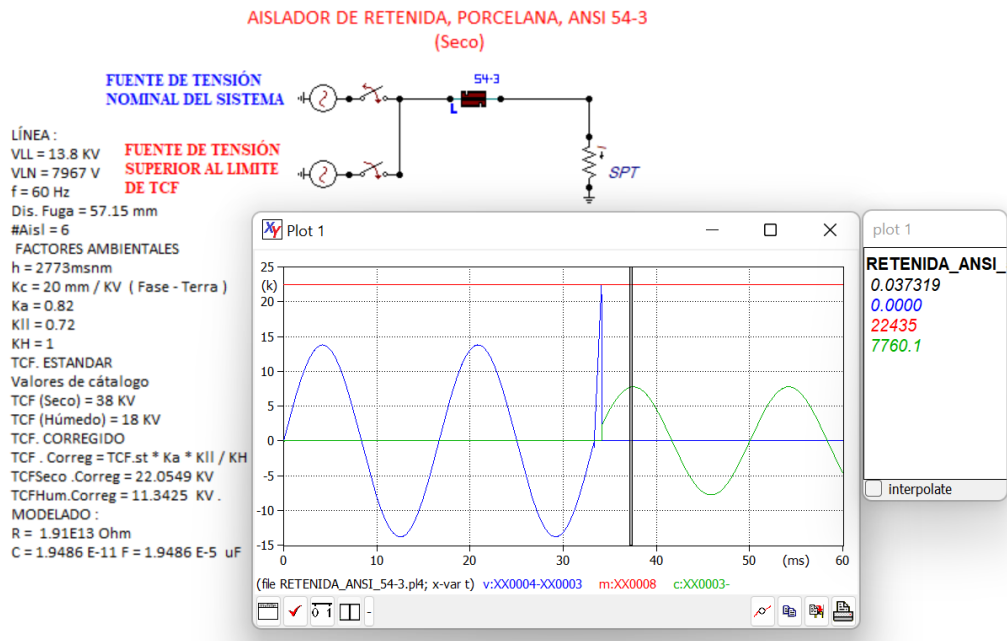


Figura 8.9. Modelado de aislador tipo ANSI 54-3 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

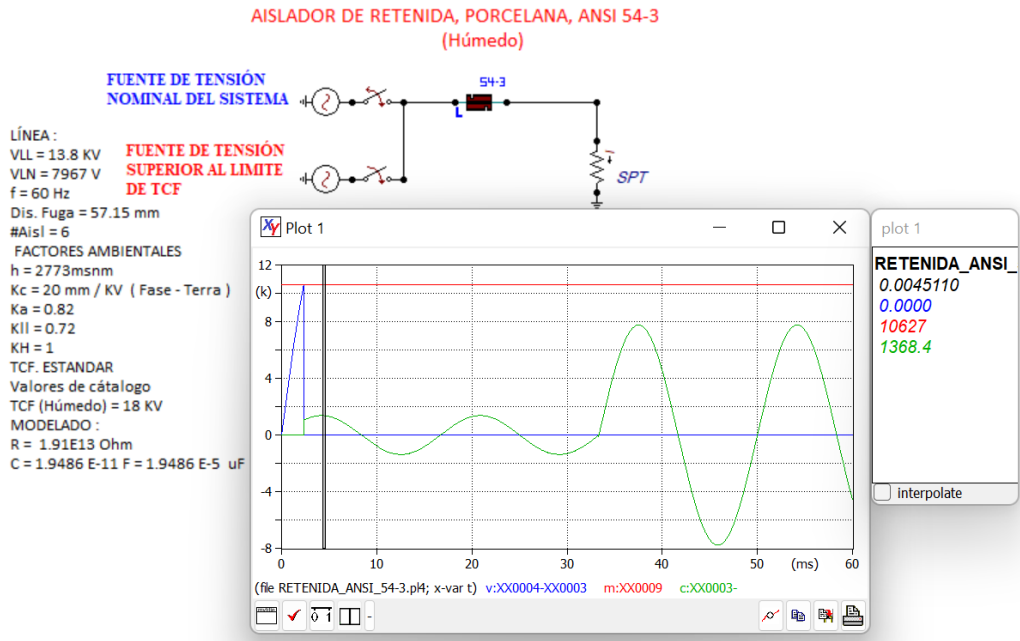


Figura 8.10. Modelado de aislador tipo ANSI 54-3 ante condiciones húmedas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

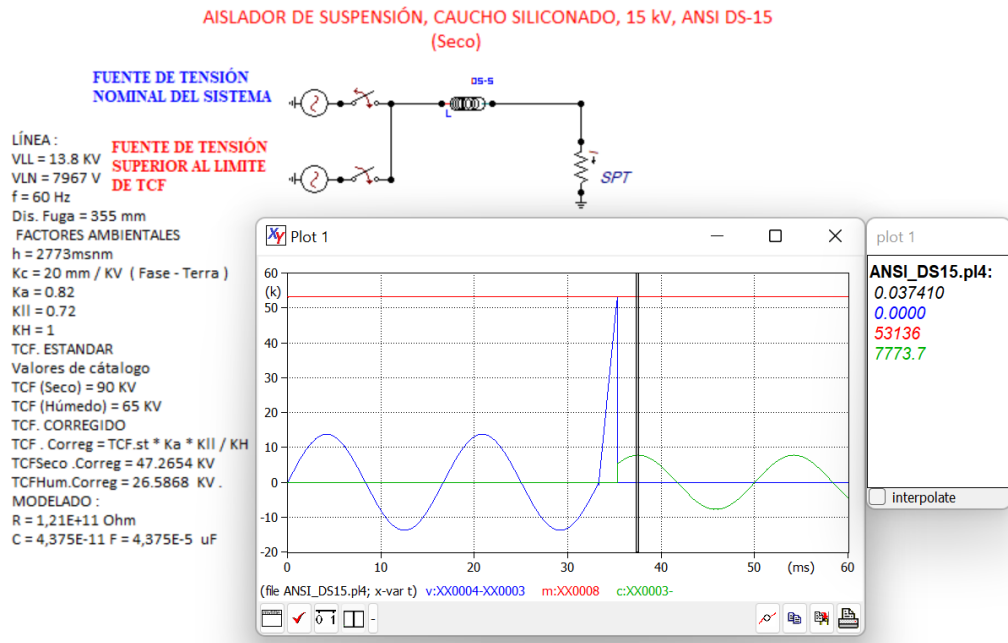


Figura 8.11. Modelado de aislador tipo ANSI DS 15 ante condiciones secas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

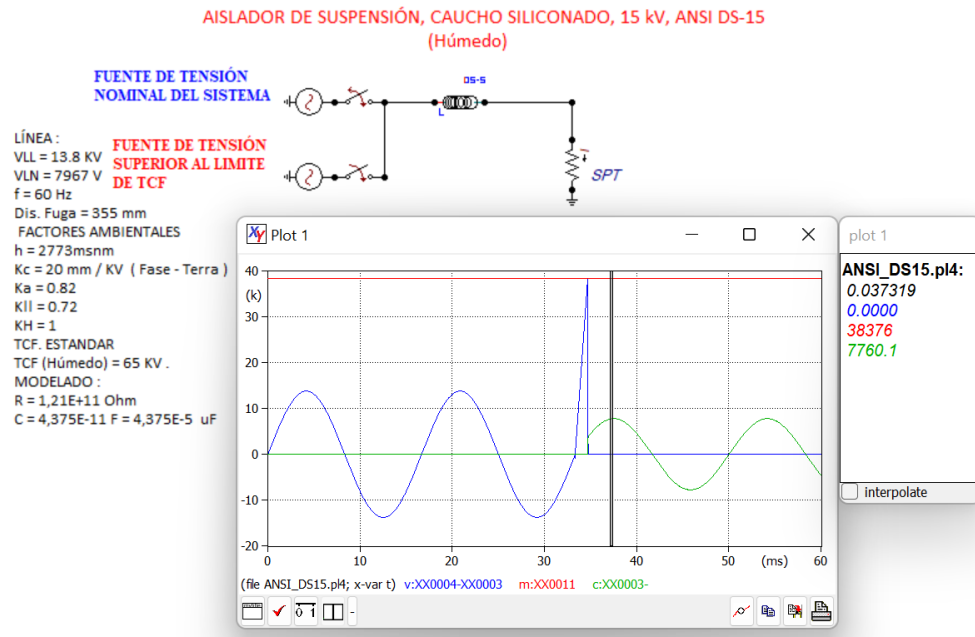


Figura 8.12. Modelado de aislador tipo ANSI DS 15 ante condiciones húmedas y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión de frecuencia industrial.

8.4 ANEXO D

RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN AISLADORES ANTE ALTAS FRECUENCIAS

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

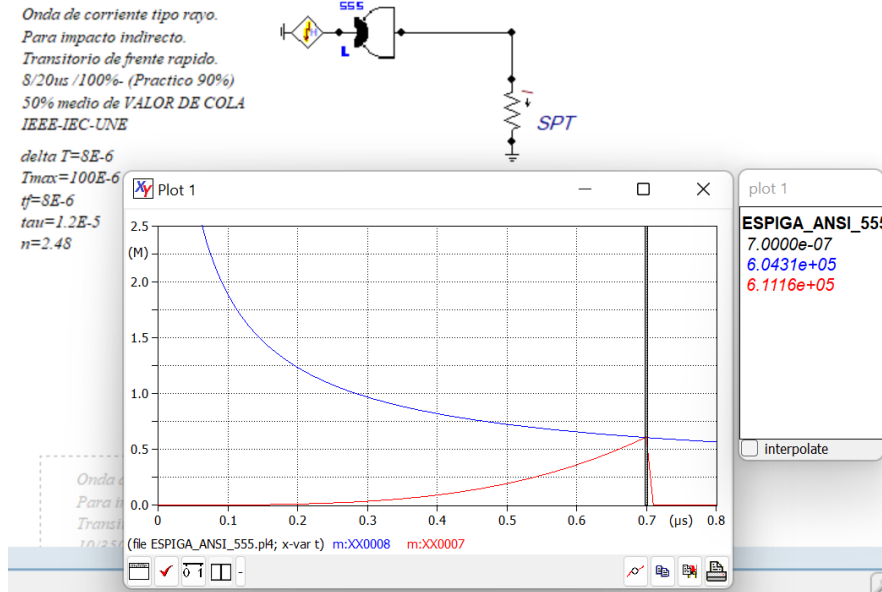


Figura 8.13. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo rayo 8/20 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

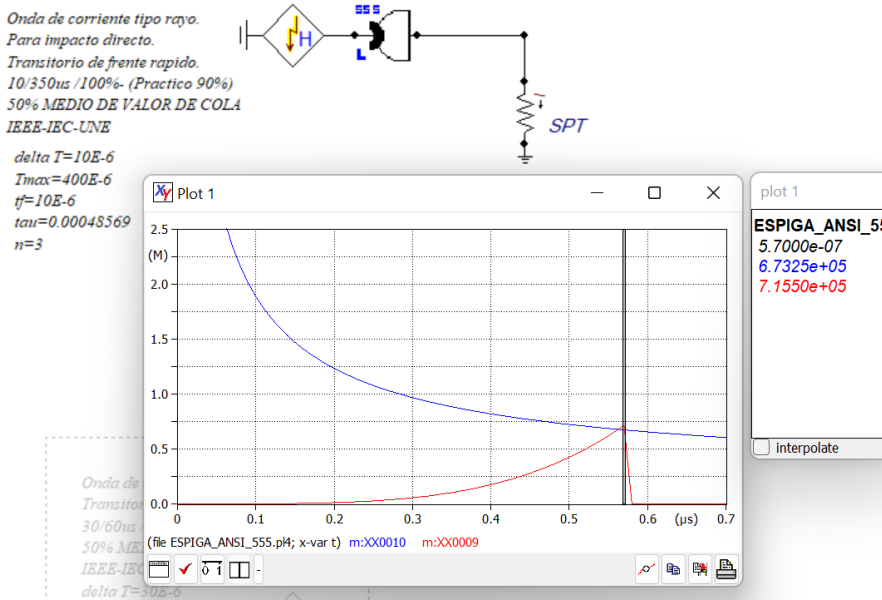


Figura 8.14. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo rayo 10/350 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

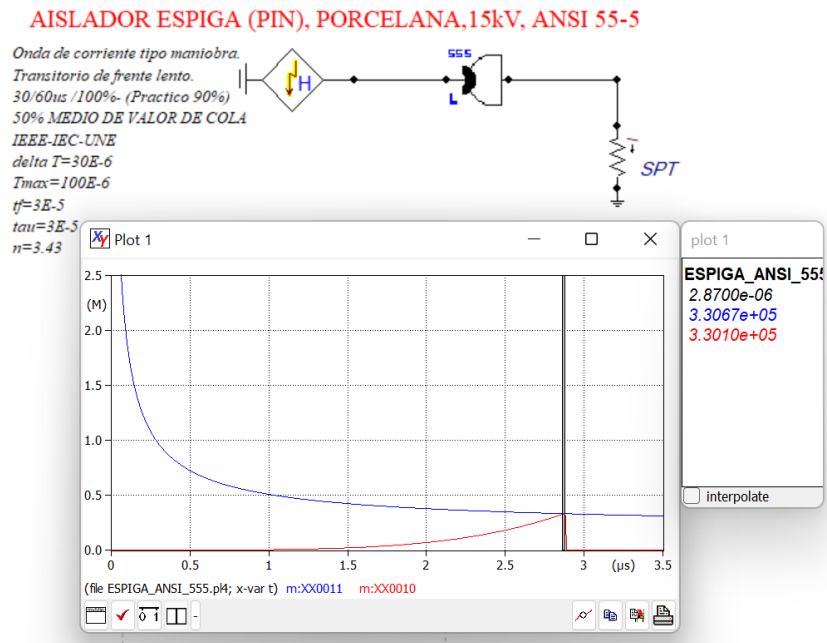


Figura 8.15. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo maniobra 30/60 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

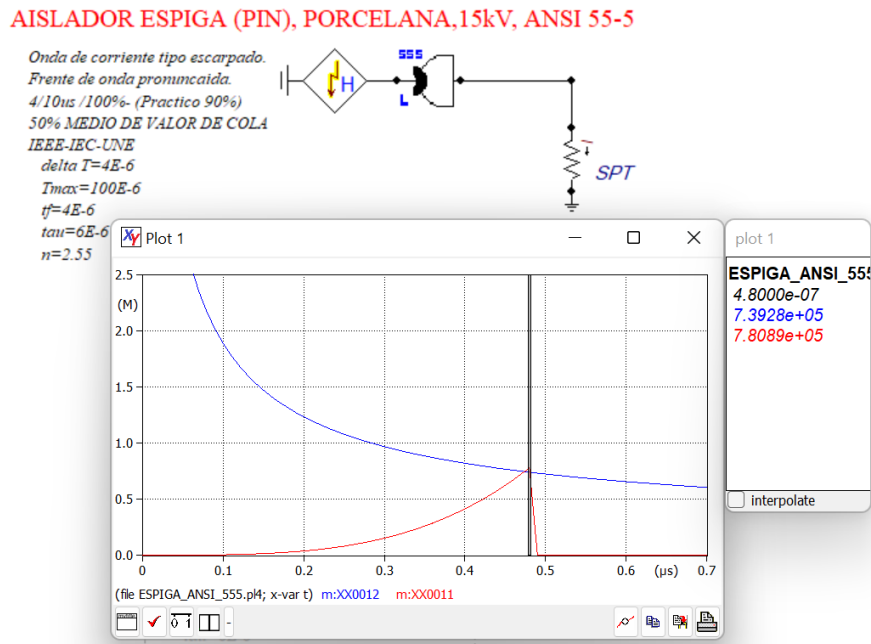


Figura 8.16. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo escarpado 4/10 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

Onda de corriente tipo rayo.
Para impacto indirecto.
8/20us /100% - 63% de Ipico
63% equiv. al 37% por debajo del Ipico

CIGRE

delta T=8E-6
Tmax=100E-6
ff=8E-6
tau=20E-6
n=3.3

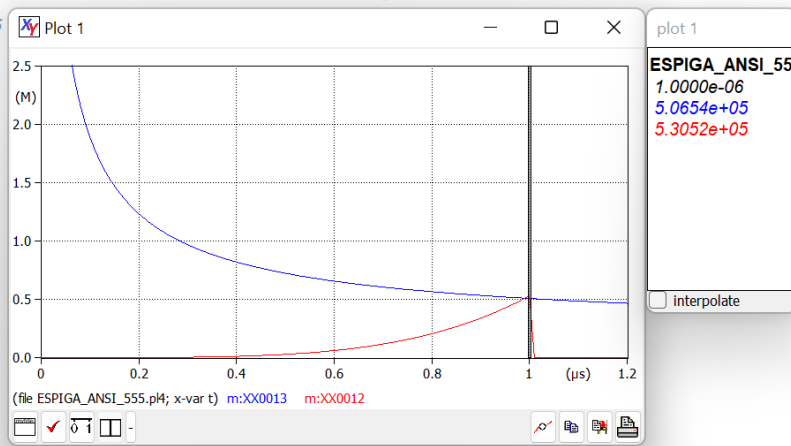
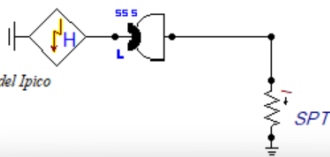


Figura 8.17. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo rayo 8/20 us para impacto indirecto y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

Onda de corriente tipo rayo.
Para impacto directo.

10/350us /100% - 63% de Ipico
63% equiv. al 37% por debajo del Ipico

CIGRE

delta T=10E-6
Tmax=400E-6
ff=10E-6
tau=0.0007254
n=2

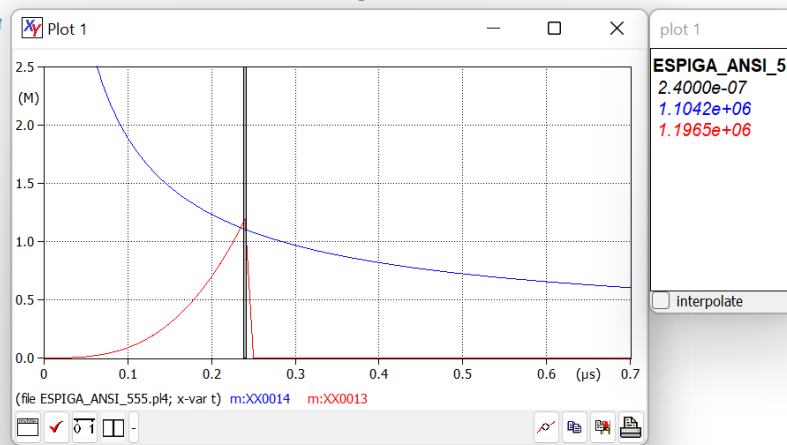
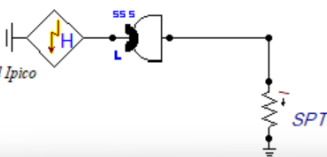


Figura 8.18. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo rayo 10/350 us para impacto directo y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica según la CIGRE.

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

Onda de corriente tipo maniobra.
 Para frente lento.
 30/60us /100% - 63% de Ipico
 63% equiv. al 37% por debajo del Ipico
 CIGRE
 $\Delta T = 30E-6$
 $T_{max} = 100E-6$
 $f_f = 3E-5$
 $\tau = 6E-5$
 $n = 13.4$

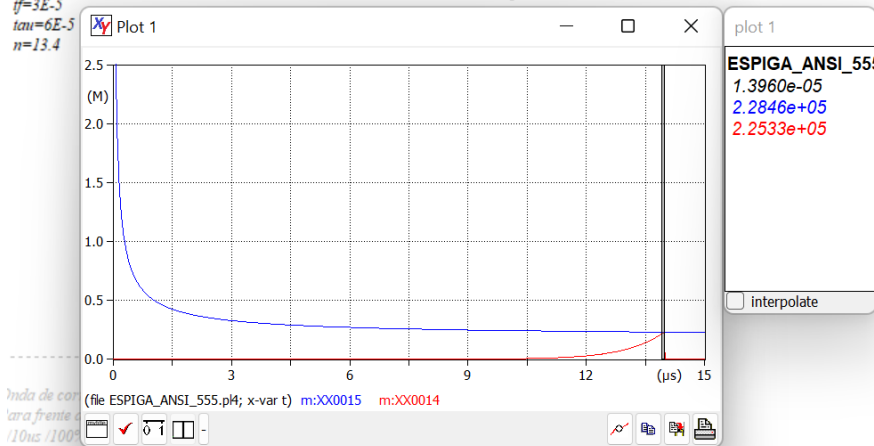
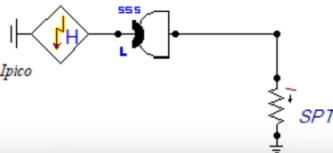


Figura 8.19. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo maniobra 30/60 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica según la CIGRE.

AISLADOR ESPIGA (PIN), PORCELANA, 15kV, ANSI 55-5

Onda de corriente.
 Para frente de onda pronunciado.
 4/10us /100% - 63% de Ipico
 63% equiv. al 37% por debajo del Ipico
 CIGRE
 $\Delta T = 4E-6$
 $T_{max} = 100E-6$
 $f_f = 4E-5$
 $\tau = 1E-5$
 $n = 3.3$

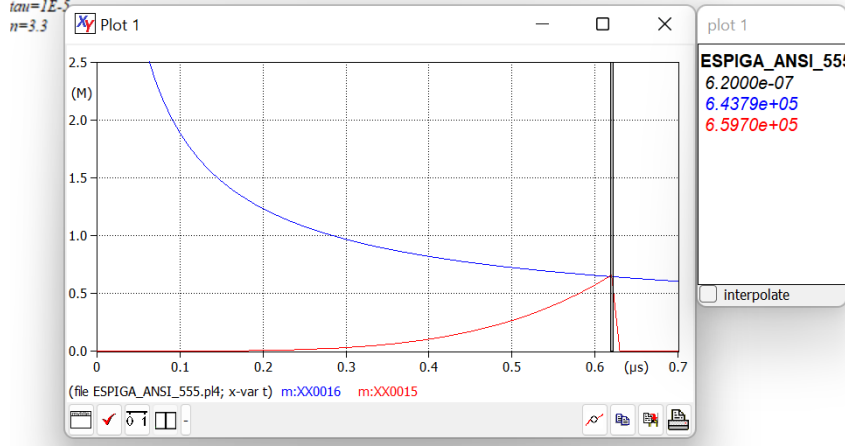
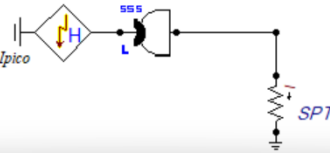


Figura 8.20. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de corriente tipo maniobra 30/60 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica según la CIGRE.

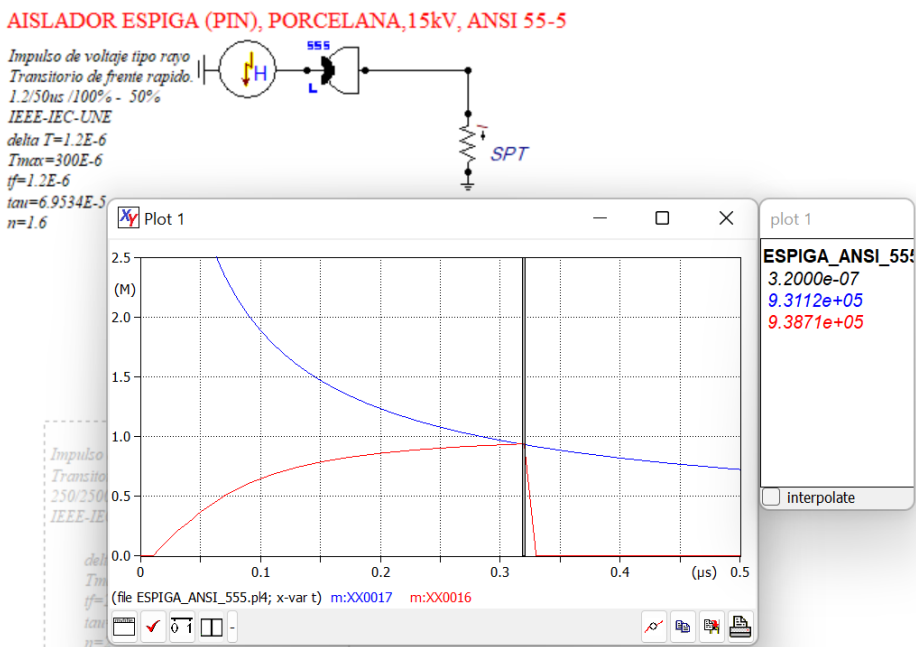


Figura 8.21. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de voltaje tipo rayo 1.2/50 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

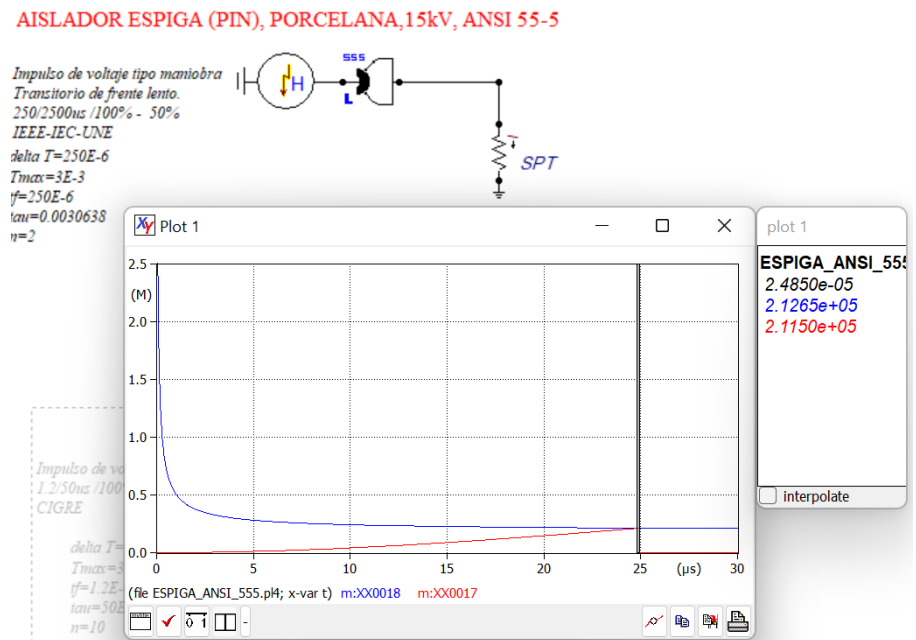


Figura 8.22. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de voltaje tipo maniobra 250/2500 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica.

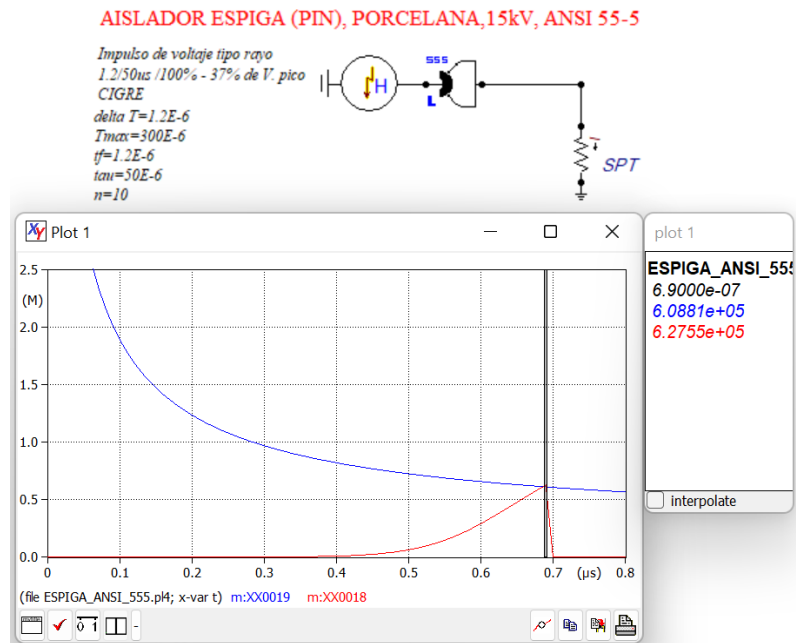


Figura 8.23. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de voltaje tipo rayo 1.2/50 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica según la CIGRE.

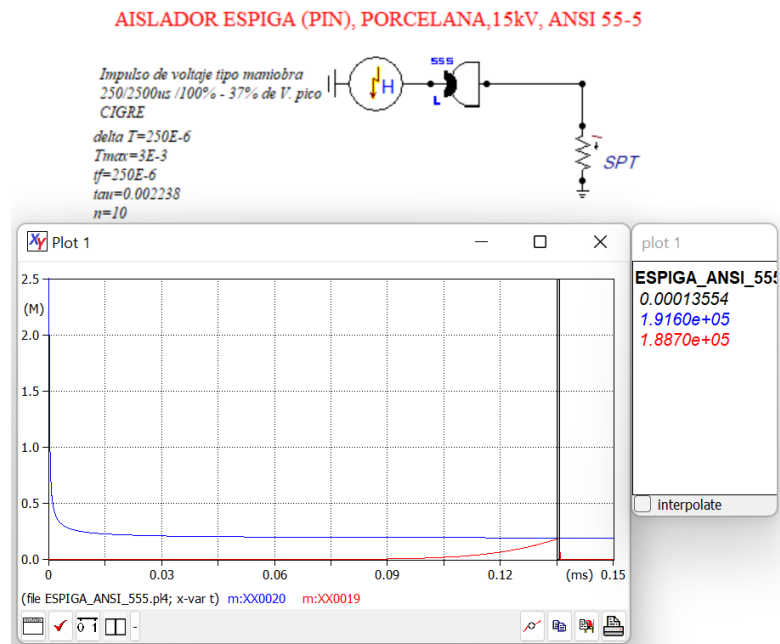


Figura 8.24. Modelado de aislador tipo ANSI 55-5 ante una onda de voltaje tipo maniobra 250/2500 us y sus respectivas curvas de comportamiento ante una sobretensión atmosférica según la CIGRE.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

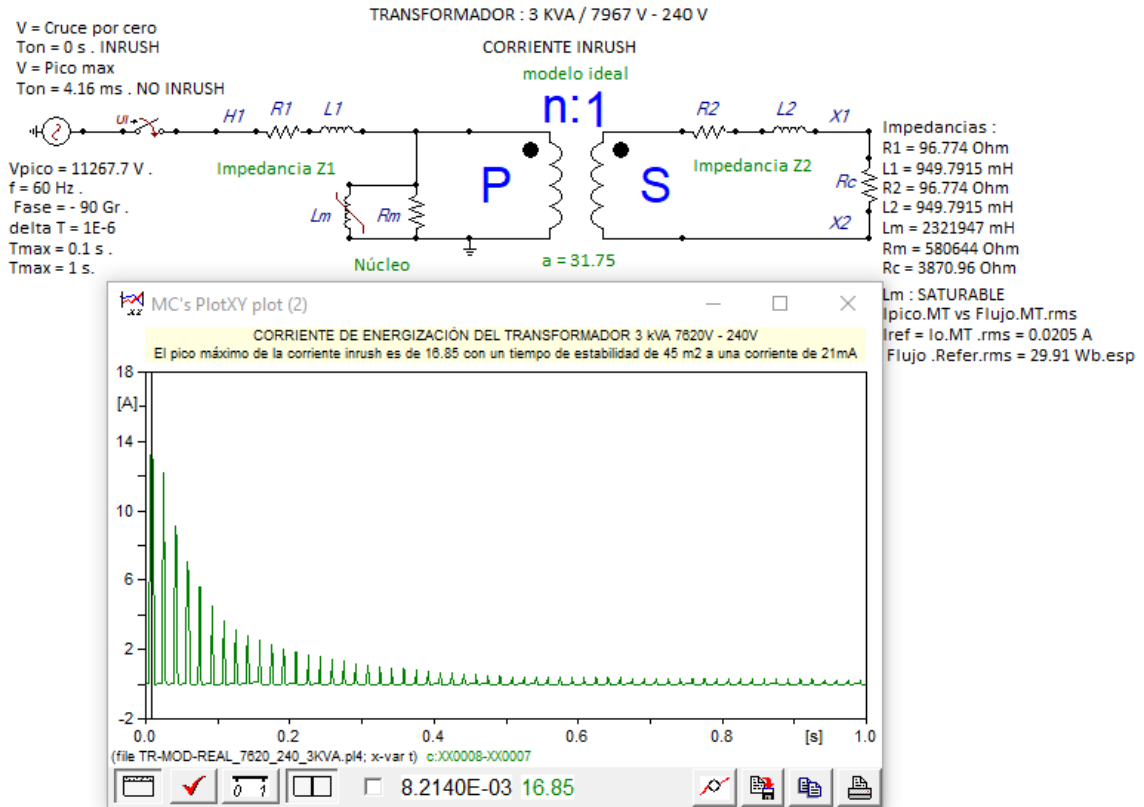


Figura 8.27. Modelado del transformador de distribución modelo 6325199 Ecuatran 3 kVA junto con la onda de corriente Inrush en la energización.

<p>DATOS DE PLACA MONOFASICO - DISTR. SUMERGIDO EN ACEITE</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CAPACIDAD (kVA)</td><td>3</td></tr> <tr><td>VMT = V1(V)</td><td>7620</td></tr> <tr><td>VBT = V2 (V)</td><td>240</td></tr> <tr><td>ZCC(%)</td><td>3.7</td></tr> <tr><td>FRECUENCIA (Hz)</td><td>60</td></tr> <tr><td>InomBT (A)</td><td>25</td></tr> <tr><td>InomMT (A)</td><td>0,39</td></tr> </table>	CAPACIDAD (kVA)	3	VMT = V1(V)	7620	VBT = V2 (V)	240	ZCC(%)	3.7	FRECUENCIA (Hz)	60	InomBT (A)	25	InomMT (A)	0,39	<p>1 VCC= (ZCC/100)*VnOM = (1.3/100)*7620 = 281,94 V</p> <p style="text-align: center;">MÉTODO REFERIDO A MT</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>ZCC(%)</td><td>1,3</td><td>X/R</td><td></td></tr> <tr><td>ZbaseMT=</td><td>(Vnom²/Snom)</td><td>(7620²/2125000)</td><td>13354.8000 Ω</td></tr> <tr><td>ZserieMT=</td><td>(Zcc/100)*ZbaseMT</td><td>(1.3/100)*2322.576</td><td>716.1276 Ω</td></tr> <tr><td>XLMT</td><td>ZserieMT/2</td><td>20,1935/2</td><td>358,0638 Ω</td></tr> <tr><td>L1=</td><td>XLMT/2*π*f</td><td>15,0967/2*π*60</td><td>0,94979 H</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>L1=L2</td><td>949,7915 mH</td></tr> <tr><td>R1=R2=</td><td>XLMT/(X/R)</td><td>15,0967/1,3</td><td>96,774 Ω</td></tr> </table>	ZCC(%)	1,3	X/R		ZbaseMT=	(Vnom ² /Snom)	(7620 ² /2125000)	13354.8000 Ω	ZserieMT=	(Zcc/100)*ZbaseMT	(1.3/100)*2322.576	716.1276 Ω	XLMT	ZserieMT/2	20,1935/2	358,0638 Ω	L1=	XLMT/2*π*f	15,0967/2*π*60	0,94979 H			L1=L2	949,7915 mH	R1=R2=	XLMT/(X/R)	15,0967/1,3	96,774 Ω	<p>2 MÉTODO REFERIDO A BT</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>ZbaseBT=</td><td>(Vnom²/Snom)</td><td>(240²/2125000)</td><td>19,2000 Ω</td></tr> <tr><td>ZserieBT=</td><td>(Zcc/100)*ZbaseBT</td><td>(1.3/100)*2.304</td><td>0,7104 Ω</td></tr> <tr><td>XLBT</td><td>ZserieBT/2</td><td>0,03/2</td><td>0,0352 Ω</td></tr> <tr><td>L1=</td><td>XLBT/2*π*f</td><td>0,015/2*π*60</td><td>0,00094 H</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>L1=L2</td><td>0,9422 mH</td></tr> <tr><td>R1=R2=</td><td>XLBT/(X/R)</td><td>15,0967/1,3</td><td>0,096 Ω</td></tr> </table>	ZbaseBT=	(Vnom ² /Snom)	(240 ² /2125000)	19,2000 Ω	ZserieBT=	(Zcc/100)*ZbaseBT	(1.3/100)*2.304	0,7104 Ω	XLBT	ZserieBT/2	0,03/2	0,0352 Ω	L1=	XLBT/2*π*f	0,015/2*π*60	0,00094 H			L1=L2	0,9422 mH	R1=R2=	XLBT/(X/R)	15,0967/1,3	0,096 Ω	<p>3 RAMA DE MAGNETIZACIÓN REFERIDO A BT</p> <p>DATOS (Según la norma NTC - 818)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Po (W)</td><td>100</td><td>Estos datos dependen de la capacidad del transformador y según la tabla</td></tr> <tr><td>Io (%)</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>InomBT (A)</td><td>25</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>gn=</td><td>Po/VBT²</td><td>100/(240²)</td><td>0,001736 Siemens</td></tr> <tr><td>RmBT=</td><td>1/gn</td><td>1/0,001736</td><td>576 Ω</td></tr> <tr><td>Io = 2%</td><td>(Io/100)*InomBT</td><td>(2/100)*104</td><td>0,5 A</td></tr> <tr><td>Yew =</td><td>0,00208</td><td>-33,5573</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>modulo</td><td>angulo</td></tr> <tr><td>Yex =</td><td>0,0017361111111111-0,0011516058239845j</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>real = gn</td><td>imag = bm</td></tr> <tr><td>Xm =</td><td>1/bm</td><td>1/0,00849</td><td>868,35 Ω</td></tr> <tr><td>Lm =</td><td>Xm/2*π*f</td><td>117,77/2*π*60</td><td>2303,3770 mH</td></tr> </table>	Po (W)	100	Estos datos dependen de la capacidad del transformador y según la tabla	Io (%)	2		InomBT (A)	25		gn=	Po/VBT ²	100/(240 ²)	0,001736 Siemens	RmBT=	1/gn	1/0,001736	576 Ω	Io = 2%	(Io/100)*InomBT	(2/100)*104	0,5 A	Yew =	0,00208	-33,5573				modulo	angulo	Yex =	0,0017361111111111-0,0011516058239845j					real = gn	imag = bm	Xm =	1/bm	1/0,00849	868,35 Ω	Lm =	Xm/2*π*f	117,77/2*π*60	2303,3770 mH	<p>4 RAMA DE MAGNETIZACIÓN REFERIDO A MT</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>a =</td><td>VMT/VBT =</td><td>7620/240 =</td><td>31,75</td></tr> <tr><td>Rm =</td><td>RmBT*a²</td><td>576*31,75²</td><td>580644 Ω</td></tr> <tr><td>Xm =</td><td>XmBT*a²</td><td>117,77*31,75²</td><td>875353,766 j</td></tr> <tr><td>Lm =</td><td>XmMT/2*π*f</td><td>118721,34/2*π*60</td><td>2321,94798 H</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Lm =</td><td>2321947,98 mH</td></tr> </table>	a =	VMT/VBT =	7620/240 =	31,75	Rm =	RmBT*a ²	576*31,75 ²	580644 Ω	Xm =	XmBT*a ²	117,77*31,75 ²	875353,766 j	Lm =	XmMT/2*π*f	118721,34/2*π*60	2321,94798 H			Lm =	2321947,98 mH
CAPACIDAD (kVA)	3																																																																																																																																						
VMT = V1(V)	7620																																																																																																																																						
VBT = V2 (V)	240																																																																																																																																						
ZCC(%)	3.7																																																																																																																																						
FRECUENCIA (Hz)	60																																																																																																																																						
InomBT (A)	25																																																																																																																																						
InomMT (A)	0,39																																																																																																																																						
ZCC(%)	1,3	X/R																																																																																																																																					
ZbaseMT=	(Vnom ² /Snom)	(7620 ² /2125000)	13354.8000 Ω																																																																																																																																				
ZserieMT=	(Zcc/100)*ZbaseMT	(1.3/100)*2322.576	716.1276 Ω																																																																																																																																				
XLMT	ZserieMT/2	20,1935/2	358,0638 Ω																																																																																																																																				
L1=	XLMT/2*π*f	15,0967/2*π*60	0,94979 H																																																																																																																																				
		L1=L2	949,7915 mH																																																																																																																																				
R1=R2=	XLMT/(X/R)	15,0967/1,3	96,774 Ω																																																																																																																																				
ZbaseBT=	(Vnom ² /Snom)	(240 ² /2125000)	19,2000 Ω																																																																																																																																				
ZserieBT=	(Zcc/100)*ZbaseBT	(1.3/100)*2.304	0,7104 Ω																																																																																																																																				
XLBT	ZserieBT/2	0,03/2	0,0352 Ω																																																																																																																																				
L1=	XLBT/2*π*f	0,015/2*π*60	0,00094 H																																																																																																																																				
		L1=L2	0,9422 mH																																																																																																																																				
R1=R2=	XLBT/(X/R)	15,0967/1,3	0,096 Ω																																																																																																																																				
Po (W)	100	Estos datos dependen de la capacidad del transformador y según la tabla																																																																																																																																					
Io (%)	2																																																																																																																																						
InomBT (A)	25																																																																																																																																						
gn=	Po/VBT ²	100/(240 ²)	0,001736 Siemens																																																																																																																																				
RmBT=	1/gn	1/0,001736	576 Ω																																																																																																																																				
Io = 2%	(Io/100)*InomBT	(2/100)*104	0,5 A																																																																																																																																				
Yew =	0,00208	-33,5573																																																																																																																																					
		modulo	angulo																																																																																																																																				
Yex =	0,0017361111111111-0,0011516058239845j																																																																																																																																						
		real = gn	imag = bm																																																																																																																																				
Xm =	1/bm	1/0,00849	868,35 Ω																																																																																																																																				
Lm =	Xm/2*π*f	117,77/2*π*60	2303,3770 mH																																																																																																																																				
a =	VMT/VBT =	7620/240 =	31,75																																																																																																																																				
Rm =	RmBT*a ²	576*31,75 ²	580644 Ω																																																																																																																																				
Xm =	XmBT*a ²	117,77*31,75 ²	875353,766 j																																																																																																																																				
Lm =	XmMT/2*π*f	118721,34/2*π*60	2321,94798 H																																																																																																																																				
		Lm =	2321947,98 mH																																																																																																																																				
<p>Valores máximos permitidos de corriente sin carga (Io), pérdidas sin carga (Po), pérdidas con carga a 85 °C (Pc) y tensión de cortocircuito a 85 °C (Uc)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Potencia nominal (kVA)</th> <th>Io (% de Ia)</th> <th>Po (W)</th> <th>Pc (W)</th> <th>Uc (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>2,5</td><td>30</td><td>90</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>2,5</td><td>50</td><td>140</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>2,4</td><td>70</td><td>195</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>2,0</td><td>100</td><td>290</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>37,5</td><td>2,0</td><td>135</td><td>405</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>50</td><td>1,9</td><td>160</td><td>510</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>75</td><td>1,7</td><td>210</td><td>710</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>100</td><td>1,6</td><td>260</td><td>900</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>167,5</td><td>1,5</td><td>375</td><td>1365</td><td>3,0</td></tr> </tbody> </table>	Potencia nominal (kVA)	Io (% de Ia)	Po (W)	Pc (W)	Uc (%)	5	2,5	30	90	3,0	10	2,5	50	140	3,0	15	2,4	70	195	3,0	25	2,0	100	290	3,0	37,5	2,0	135	405	3,0	50	1,9	160	510	3,0	75	1,7	210	710	3,0	100	1,6	260	900	3,0	167,5	1,5	375	1365	3,0																																																																																					
Potencia nominal (kVA)	Io (% de Ia)	Po (W)	Pc (W)	Uc (%)																																																																																																																																			
5	2,5	30	90	3,0																																																																																																																																			
10	2,5	50	140	3,0																																																																																																																																			
15	2,4	70	195	3,0																																																																																																																																			
25	2,0	100	290	3,0																																																																																																																																			
37,5	2,0	135	405	3,0																																																																																																																																			
50	1,9	160	510	3,0																																																																																																																																			
75	1,7	210	710	3,0																																																																																																																																			
100	1,6	260	900	3,0																																																																																																																																			
167,5	1,5	375	1365	3,0																																																																																																																																			

Figura 8.28. Cálculo en Excel para el modelado del transformador 6325199 Ecuatran 3 kVA.

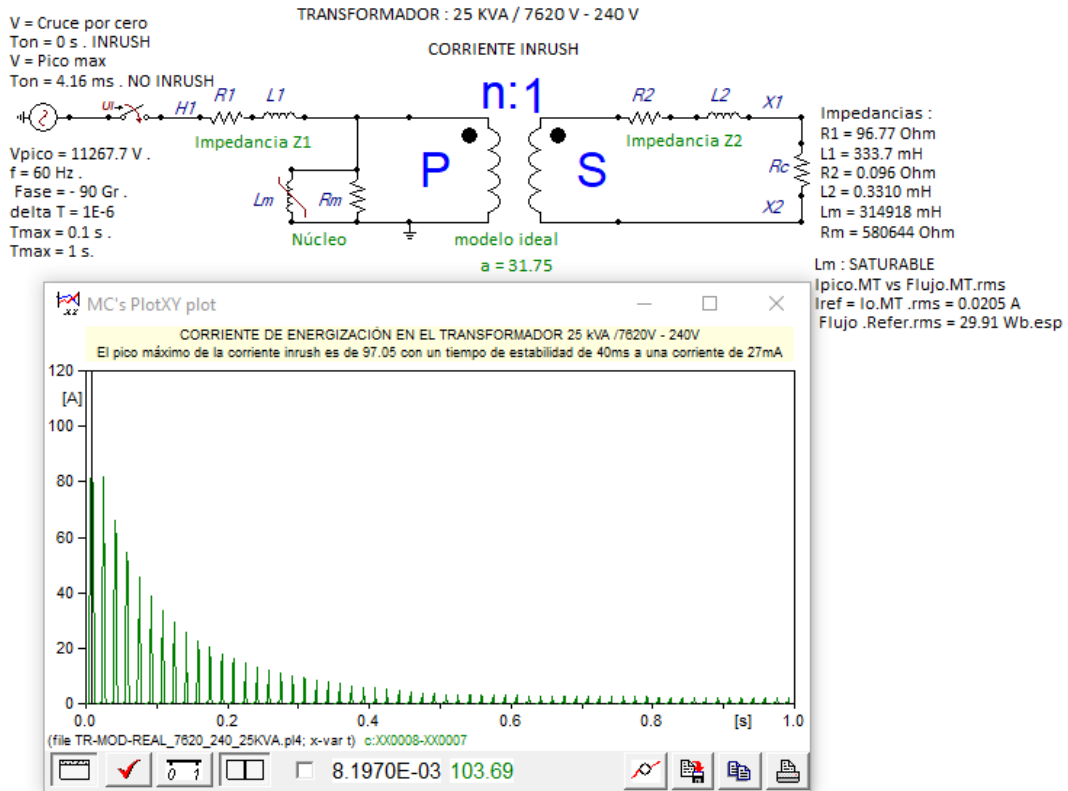


Figura 8.29. Modelado del transformador de distribución modelo Transformador monofásico 12551310 Ecuatran 25 kVA junto con la onda de corriente de energización.

<p>DATOS DE PLACA MONOFÁSICO - DISTR. SUMERGIDO EN ACEITE</p> <table border="1"> <tr><td>CAPACIDAD (kVA)</td><td>3</td></tr> <tr><td>VMT = V1 (V)</td><td>7620</td></tr> <tr><td>VBT = V2 (V)</td><td>240</td></tr> <tr><td>ZCC (%)</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>FRECUENCIA (Hz)</td><td>60</td></tr> <tr><td>InomBT (A)</td><td>104</td></tr> <tr><td>InomMT (A)</td><td>3.28</td></tr> </table>	CAPACIDAD (kVA)	3	VMT = V1 (V)	7620	VBT = V2 (V)	240	ZCC (%)	1.3	FRECUENCIA (Hz)	60	InomBT (A)	104	InomMT (A)	3.28	<p>VCC = $(ZCC/100) \cdot V_{NOM} = (1.3/100) \cdot 7620 = 99.06$ V</p> <p>MÉTODO REFERIDO A MT</p> <table border="1"> <tr><td>ZCC (%)</td><td>1.3</td><td>X/R</td><td></td></tr> <tr><td>ZbaseMT = (V_{nom}^2/S_{nom})</td><td>$(7620^2/25000)$</td><td></td><td>19354.8000 Ω</td></tr> <tr><td>ZserieMT = $(ZCC/100) \cdot ZbaseMT$</td><td>$(1.3/100) \cdot 2322.576$</td><td></td><td>251.6124 Ω</td></tr> <tr><td>XLMT = $ZserieMT/2$</td><td>$20.1935/2$</td><td></td><td>125.8062 Ω</td></tr> <tr><td>L1 = $XLMT/2 \cdot \pi \cdot f$</td><td>$15.0967/2 \cdot \pi \cdot 60$</td><td></td><td>0.3337 H</td></tr> <tr><td>R1=R2 =</td><td></td><td>L1 = L2 =</td><td>333.7105 mH</td></tr> <tr><td>XLMT(X/R) =</td><td>$15.0967/1.3$</td><td></td><td>96.774 Ω</td></tr> </table>	ZCC (%)	1.3	X/R		ZbaseMT = (V_{nom}^2/S_{nom})	$(7620^2/25000)$		19354.8000 Ω	ZserieMT = $(ZCC/100) \cdot ZbaseMT$	$(1.3/100) \cdot 2322.576$		251.6124 Ω	XLMT = $ZserieMT/2$	$20.1935/2$		125.8062 Ω	L1 = $XLMT/2 \cdot \pi \cdot f$	$15.0967/2 \cdot \pi \cdot 60$		0.3337 H	R1=R2 =		L1 = L2 =	333.7105 mH	XLMT(X/R) =	$15.0967/1.3$		96.774 Ω	<p>MÉTODO REFERIDO A BT</p> <table border="1"> <tr><td>ZbaseBT = (V_{nom}^2/S_{nom})</td><td>$(240^2/25000)$</td><td></td><td>19.2000 Ω</td></tr> <tr><td>ZserieBT = $ZCC/100 \cdot ZbaseBT$</td><td>$(1.3/100) \cdot 2.304$</td><td></td><td>0.2496 Ω</td></tr> <tr><td>XLBT = $ZserieBT/2$</td><td>$0.03/2$</td><td></td><td>0.1248 Ω</td></tr> <tr><td>L1 = $XLBT/2 \cdot \pi \cdot f$</td><td>$0.015/2 \cdot \pi \cdot 60$</td><td></td><td>0.00033 H</td></tr> <tr><td>R1=R2 =</td><td></td><td>L1 = L2 =</td><td>0.3310 mH</td></tr> <tr><td>XLBT(X/R) =</td><td>$15.0967/1.3$</td><td></td><td>0.096 Ω</td></tr> </table>	ZbaseBT = (V_{nom}^2/S_{nom})	$(240^2/25000)$		19.2000 Ω	ZserieBT = $ZCC/100 \cdot ZbaseBT$	$(1.3/100) \cdot 2.304$		0.2496 Ω	XLBT = $ZserieBT/2$	$0.03/2$		0.1248 Ω	L1 = $XLBT/2 \cdot \pi \cdot f$	$0.015/2 \cdot \pi \cdot 60$		0.00033 H	R1=R2 =		L1 = L2 =	0.3310 mH	XLBT(X/R) =	$15.0967/1.3$		0.096 Ω																							
CAPACIDAD (kVA)	3																																																																																										
VMT = V1 (V)	7620																																																																																										
VBT = V2 (V)	240																																																																																										
ZCC (%)	1.3																																																																																										
FRECUENCIA (Hz)	60																																																																																										
InomBT (A)	104																																																																																										
InomMT (A)	3.28																																																																																										
ZCC (%)	1.3	X/R																																																																																									
ZbaseMT = (V_{nom}^2/S_{nom})	$(7620^2/25000)$		19354.8000 Ω																																																																																								
ZserieMT = $(ZCC/100) \cdot ZbaseMT$	$(1.3/100) \cdot 2322.576$		251.6124 Ω																																																																																								
XLMT = $ZserieMT/2$	$20.1935/2$		125.8062 Ω																																																																																								
L1 = $XLMT/2 \cdot \pi \cdot f$	$15.0967/2 \cdot \pi \cdot 60$		0.3337 H																																																																																								
R1=R2 =		L1 = L2 =	333.7105 mH																																																																																								
XLMT(X/R) =	$15.0967/1.3$		96.774 Ω																																																																																								
ZbaseBT = (V_{nom}^2/S_{nom})	$(240^2/25000)$		19.2000 Ω																																																																																								
ZserieBT = $ZCC/100 \cdot ZbaseBT$	$(1.3/100) \cdot 2.304$		0.2496 Ω																																																																																								
XLBT = $ZserieBT/2$	$0.03/2$		0.1248 Ω																																																																																								
L1 = $XLBT/2 \cdot \pi \cdot f$	$0.015/2 \cdot \pi \cdot 60$		0.00033 H																																																																																								
R1=R2 =		L1 = L2 =	0.3310 mH																																																																																								
XLBT(X/R) =	$15.0967/1.3$		0.096 Ω																																																																																								
<p>Valores máximos permisibles de corriente sin carga (Io), pérdidas sin carga (Po), pérdidas con carga a 85 °C (Pc) y tensión de cortocircuito a 85 °C (Uc)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Potencia nominal (kVA)</th> <th>Io (% de In)</th> <th>Po (W)</th> <th>Pc (W)</th> <th>Uc (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3</td><td>2.5</td><td>30</td><td>90</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.5</td><td>90</td><td>140</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>15</td><td>2.4</td><td>70</td><td>195</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>25</td><td>2.0</td><td>100</td><td>290</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>37.5</td><td>2.0</td><td>135</td><td>405</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>50</td><td>1.9</td><td>160</td><td>510</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>75</td><td>1.7</td><td>210</td><td>710</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>100</td><td>1.6</td><td>280</td><td>900</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>167.5</td><td>1.5</td><td>375</td><td>1365</td><td>3.0</td></tr> </tbody> </table>	Potencia nominal (kVA)	Io (% de In)	Po (W)	Pc (W)	Uc (%)	3	2.5	30	90	3.0	10	2.5	90	140	3.0	15	2.4	70	195	3.0	25	2.0	100	290	3.0	37.5	2.0	135	405	3.0	50	1.9	160	510	3.0	75	1.7	210	710	3.0	100	1.6	280	900	3.0	167.5	1.5	375	1365	3.0	<p>RAMA DE MAGNETIZACIÓN REFERIDO A MT</p> <p>a = $VMT/VBT = 7620/240 = 31.75$</p> <table border="1"> <tr><td>Rm =</td><td>$RmBT \cdot a^2 = 576 \cdot 31.75^2 = 580644$</td><td>$\Omega$</td></tr> <tr><td>Xm =</td><td>$XmBT \cdot a^2 = 117.77 \cdot 31.75^2 = 118721.336$</td><td>H</td></tr> <tr><td>Lm =</td><td>$XmMT/2 \cdot \pi \cdot f = 118721.34/2 \cdot \pi \cdot 60 = 314.918124$</td><td>mH</td></tr> <tr><td></td><td>Lm =</td><td>314918.124 mH</td></tr> </table>	Rm =	$RmBT \cdot a^2 = 576 \cdot 31.75^2 = 580644$	Ω	Xm =	$XmBT \cdot a^2 = 117.77 \cdot 31.75^2 = 118721.336$	H	Lm =	$XmMT/2 \cdot \pi \cdot f = 118721.34/2 \cdot \pi \cdot 60 = 314.918124$	mH		Lm =	314918.124 mH	<p>RAMA DE MAGNETIZACIÓN REFERIDO A BT</p> <p>DATOS (Según la norma NTC - 818)</p> <p>Po (W) 100 Io (%) 2 InomBT (A) 104</p> <p>Estos datos dependen de la capacidad del transformador y según la tabla</p> <table border="1"> <tr><td>gn =</td><td>$Po/VBT^2 = 100/240^2 = 0.001736$</td><td>Siemens</td></tr> <tr><td>RmBT =</td><td>$1/gn = 10,001736 = 576$</td><td>Ω</td></tr> <tr><td>Io = Z% =</td><td>$(Io/100) \cdot InomBT = (2/100) \cdot 104 = 2.08$</td><td>A</td></tr> <tr><td>Yex =</td><td>$0,00867$</td><td>-78,4443</td></tr> <tr><td></td><td>modulo</td><td>angulo</td></tr> <tr><td>Yex =</td><td>$0,0017361111111111 - 0,00849093695683538i$</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>real = gn</td><td>imag = bm</td></tr> <tr><td>Xm =</td><td>$1/bm = 1/0,00849 = 117,77$</td><td>mH</td></tr> <tr><td>Lm =</td><td>$Xm/2 \cdot \pi \cdot f = 117,77/2 \cdot \pi \cdot 60 = 312,3994$</td><td>mH</td></tr> </table>	gn =	$Po/VBT^2 = 100/240^2 = 0.001736$	Siemens	RmBT =	$1/gn = 10,001736 = 576$	Ω	Io = Z% =	$(Io/100) \cdot InomBT = (2/100) \cdot 104 = 2.08$	A	Yex =	$0,00867$	-78,4443		modulo	angulo	Yex =	$0,0017361111111111 - 0,00849093695683538i$			real = gn	imag = bm	Xm =	$1/bm = 1/0,00849 = 117,77$	mH	Lm =	$Xm/2 \cdot \pi \cdot f = 117,77/2 \cdot \pi \cdot 60 = 312,3994$	mH
Potencia nominal (kVA)	Io (% de In)	Po (W)	Pc (W)	Uc (%)																																																																																							
3	2.5	30	90	3.0																																																																																							
10	2.5	90	140	3.0																																																																																							
15	2.4	70	195	3.0																																																																																							
25	2.0	100	290	3.0																																																																																							
37.5	2.0	135	405	3.0																																																																																							
50	1.9	160	510	3.0																																																																																							
75	1.7	210	710	3.0																																																																																							
100	1.6	280	900	3.0																																																																																							
167.5	1.5	375	1365	3.0																																																																																							
Rm =	$RmBT \cdot a^2 = 576 \cdot 31.75^2 = 580644$	Ω																																																																																									
Xm =	$XmBT \cdot a^2 = 117.77 \cdot 31.75^2 = 118721.336$	H																																																																																									
Lm =	$XmMT/2 \cdot \pi \cdot f = 118721.34/2 \cdot \pi \cdot 60 = 314.918124$	mH																																																																																									
	Lm =	314918.124 mH																																																																																									
gn =	$Po/VBT^2 = 100/240^2 = 0.001736$	Siemens																																																																																									
RmBT =	$1/gn = 10,001736 = 576$	Ω																																																																																									
Io = Z% =	$(Io/100) \cdot InomBT = (2/100) \cdot 104 = 2.08$	A																																																																																									
Yex =	$0,00867$	-78,4443																																																																																									
	modulo	angulo																																																																																									
Yex =	$0,0017361111111111 - 0,00849093695683538i$																																																																																										
	real = gn	imag = bm																																																																																									
Xm =	$1/bm = 1/0,00849 = 117,77$	mH																																																																																									
Lm =	$Xm/2 \cdot \pi \cdot f = 117,77/2 \cdot \pi \cdot 60 = 312,3994$	mH																																																																																									

Figura 8.30. Calculo en Excel para el modelado del transformador 12551310 Ecuatran 25 kVA.

8.6 ANEXO F

Tablas y Figuras Usadas en la Metodología

Tabla 8.1. Voltajes de prueba de cable de CC especificados por ICEA (kV) 1968 y posteriores [46].

Tipo de aislamiento	Nivel Aislamiento (%)	Tensión nominal del cable							
		5kv		15kV		25kV		35kV	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Elastomérico: butilo y aceite base	100	25	19	55	41	80	60	----	-----
	133	25	19	65	49	----	----	----	-----
Elastomérico: EPR	100	25	19	55	41	80	60	100	75
	133	25	19	65	49	100	75	----	-----
Polietileno, incluyendo Cruz - enlazado polietileno	100	25	19	55	41	80	60	100	75
	133	25	19	65	49	100	75	----	-----

Nota: columna 1 Pruebas de instalación, realizadas después de la instalación, antes del servicio; columnas 2: prueba de mantenimiento, realizada después de que el cable ha estado en servicio [46].

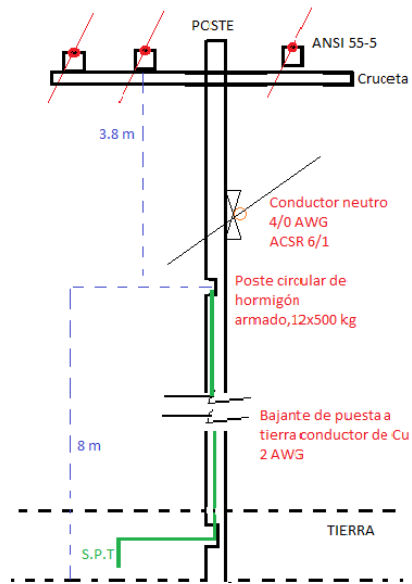


Figura 8.31. Cables de fase y neutro ubicados en una conexión tradicional del poste [32].

8.7 ANEXO G

GUÍAS PRÁCTICAS

- 1) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-01 (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES)
- 2) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-02 (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES)
- 3) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-03 (CONTORNEO DE AISLAMIENTO)
- 4) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-04 (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN)
- 5) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-05 (HIPOT EN CABLES)
- 6) UTC-CIYA-IELE-AVLAB-REG-06 (RIGIDEZ DIELECTRICA DE ACEITES)

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Francisco Campuez Mauro Vega	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES ELÉCTRICAS	DURACIÓN (HORAS)
		ÁREA:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Resistencia de aislamiento en cables	

1	OBJETIVO
	<p>Determinar las pruebas mínimas a ser superados por los cables de fuerza y control para verificar su optima funcionalidad y el estado en los que se encuentran los conductores que se encuentran ubicados en el laboratorio de alto voltaje utilizando el documento Electrical Testing Association NETA, en su documento: "Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems".</p> <p>1.1 Alcance</p> <p>Se realizará prueba de la resistencia de aislamiento o también conocido como la prueba del Megado de cables eléctricos. Estas pruebas se ejecutan previas a la conexión del cable en los terminales correspondientes.</p>

2	INTRODUCCIÓN
	<p>En toda máquina, dispositivo o instalación eléctrica se poseen materiales conductores con el propósito de facilitar la circulación de la corriente eléctrica, y materiales aisladores que se oponen a la circulación de corriente entre puntos de vista que se hallan a distinta tensión. Los materiales aislantes usados en la obra de aparatos y grupos no son dieléctricos perfectos una vez que se hallan sometidos a una tensión eléctrica. Por lo tanto, se produce a través de ellos una corriente de conducción que no sigue caminos definidos, razón por la cual se la llama "corriente de dispersión"</p> <p>La resistencia de aislación es un parámetro que establece el tamaño de esa corriente de dispersión, dada una determinada tensión aplicada. Cuanto más grande sea la resistencia de aislación de un dieléctrico o material aislante, menor será la corriente de dispersión por medio del dieléctrico una vez que a éste le es aplicada una tensión (típicamente, la tensión de funcionamiento). Idealmente, la resistencia de aislación debe tender a infinito, y, por ende, la corriente de dispersión debe tender a cero.</p>

2.1 Procedimiento

El procedimiento para la prueba de resistencia de aislamiento en los conductores se debe tomar en cuenta la fecha de calibración del equipo de medición a ser utilizados.

2.2 Parámetros generales

Previo a realizar las pruebas se registran las especificaciones técnicas del conductor que va ser evaluado junto con los valores de humedad y temperatura ambiente considerando que los límites máximos para realizar estas pruebas son de 35°C y 70% de humedad.

2.3 Resistencia de aislamiento para cables eléctricos

La resistencia del aislamiento de cualquier conductor se ve afectada por la temperatura, humedad, suciedad y generalmente, por las zonas débiles debidas al deterioro por envejecimiento o por daño mecánico. El costo de la resistencia, medido a una tensión y tiempo específicos, representará la predominación de todos aquellos componentes en el aislamiento.

Para realizar la prueba a un cable se utiliza un probador de resistencia de aislamiento, el cual podría ser manual, eléctrico o digital. Conectando el cable de línea del equipo al conductor por medir y el cable de tierra a la pantalla del conductor y al sistema de tierras, por ello deberá seguir los siguientes parámetros o procedimientos para poder realizar a lectura de resistencia del aislamiento dada en Megohmios de la muestra bajo prueba, después de un tiempo de aplicado el voltaje.

Toda prueba realizada en el laboratorio de alto voltaje será ejecutada dentro de la jaula de Faraday, ya que todo el sistema está conectado a tierra, y eso nos ayuda a proteger de cualquier peligro a los practicantes o a los encargados de realizar pruebas.

La prueba de megado del cable de potencia y control se la realiza de la siguiente manera:

- Se ingresará el conductor a ser puesto a prueba a la jaula de Faraday con absoluta concordancia y crear una zona segura fuera de la jaula aproximadamente un metro después de la malla.
- Un centinela vigila el lado opuesto del cable al que se está energizando, para advertir del peligro al personal durante la realización de la prueba estas indicaciones se dará desde afuera de la jaula.
- El cable a ser probado debe estar desenergizado y aislados en sus dos extremos.
- Se comprueba ausencia de voltaje previo a la realización de la prueba.
- Cuando se han realizado las terminaciones en los cables, éstas son aisladas espaciándolas adecuadamente dependiendo del voltaje.
- Para cables de baja tensión, se realiza la prueba de megado entre cada conductor y tierra y con los conductores adyacentes. El potencial aplicado será de 500Vdc para cables de hasta 300Vac, y de 1000Vdc para cables de hasta 600Vac. El test tendrá una duración de 1 minuto.

(Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems; Sección 7.3.2.2.1) [1].

- Para cables de media tensión se realiza la prueba con el equipo de megado, individualmente entre cada conductor y con todos los otros conductores y pantallas aterrizadas. El potencial aplicado será de al menos 2500Vdc. La duración de la prueba será de 1 minuto. (Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems; Sección 7.3.3.2.1) [1].
- Para laboratorio de alto voltaje CIYA cuenta con conductores menores o iguales a 15 kV entonces las mediciones a realizar en esta prueba son los siguientes:
 - Voltaje nominal de 300V aplicar 500Vdc
 - Voltaje nominal de 600V aplicar 1000Vdc
 - Voltaje nominal de 5.000V aplicar 2.500Vdc
 - Voltaje nominal de 15.000V aplicar 10.000Vdc
 - Voltaje nominal de 35.000V aplicar 10.000Vdc

Esquemas de conexión para pruebas DC

Para realizar ensayos en los conductores se tomará en cuenta las siguientes conexiones dependiendo a la configuración de cada conductor puesto en prueba.

La conexión de la figura 1 se utilizará solamente cuando se tiene un conductor en la chaqueta, para el ensayo fase a fase, reiterando la previa inspección de las puntas en buen estado limpias y preparadas, conectar el cable positivo (Rojo) del instrumento a la fase A, unir el resto de cables entre ellos y conectar al cable negativo (Negro), someter la tensión adecuada y probar. Se continua de igual forma para los demás cables. En el caso de presentar bajo aislamiento, se procede a comprobar cable por cable.

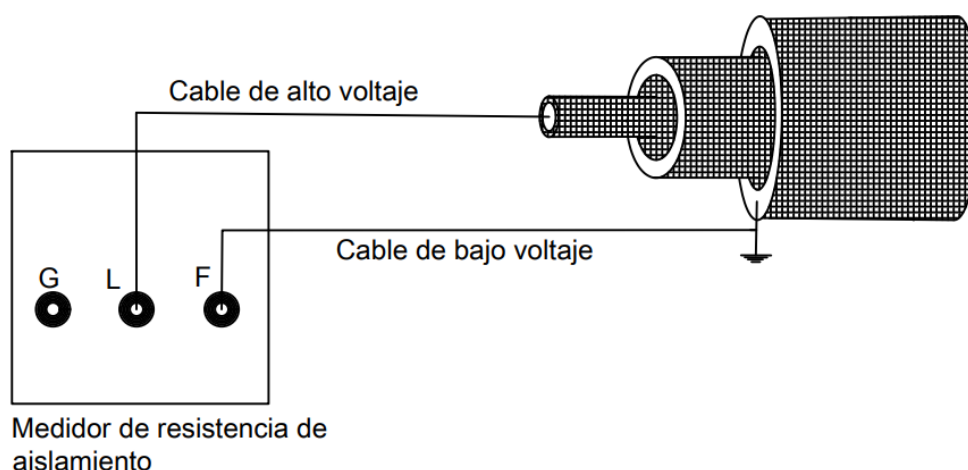


Figura. 1 Conexión para cables monopolares [2].

La conexión de la figura 2 se utilizará para cables Fase tierra multipolares, un cable con varios conductores entre la misma chaqueta, para la prueba fase a tierra, con las puntas limpias y preparadas, conectar el cable negativo (NEGRO) a la tierra del cable a ser probado, el cable positivo (ROJO) conectarlo a la fase a ser probada. Los otros conductores, la armadura y los *shields* deben, mediante un puente, estar unidos al conductor desnudo de tierra del cable. Se procede de igual forma para todos

los cables. En caso de presentar bajo aislamiento al realizar la prueba de esta forma, se procede a comprobar cable por cable y por separado.

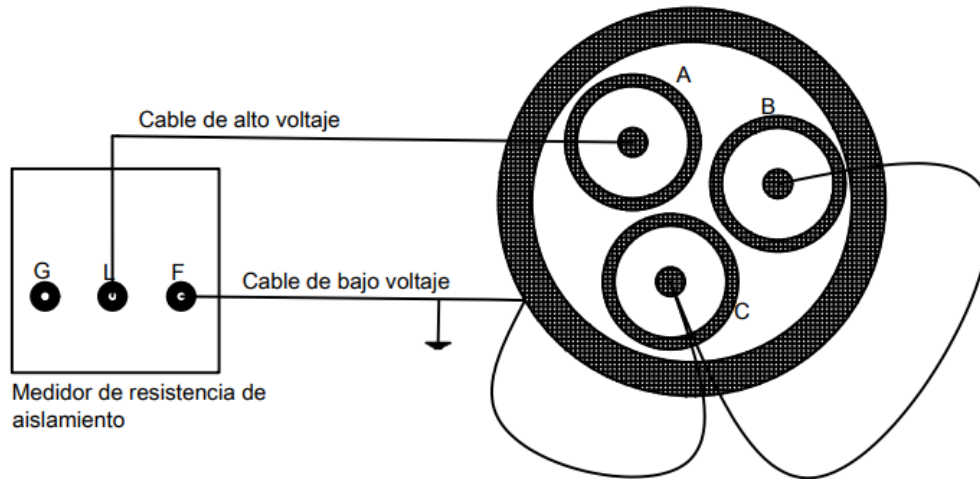


Figura. 2 Conexión Fase - Tierra para cables multipolares [2].

La conexión de la figura 3 se utilizará para cables Fase - Fase multipolares, un cable con varios conductores entre la misma chaqueta. Para la prueba fase a fase, con las puntas limpias y preparadas, conectar el cable positivo (ROJO) del instrumento a la fase A, unir los demás cables entre sí y conectar al cable negativo (NEGRO), aplicar el voltaje adecuado y probar. Se procede de igual manera para todos los otros cables. En caso de presentar bajo aislamiento, se procede a comprobar cable por cable.

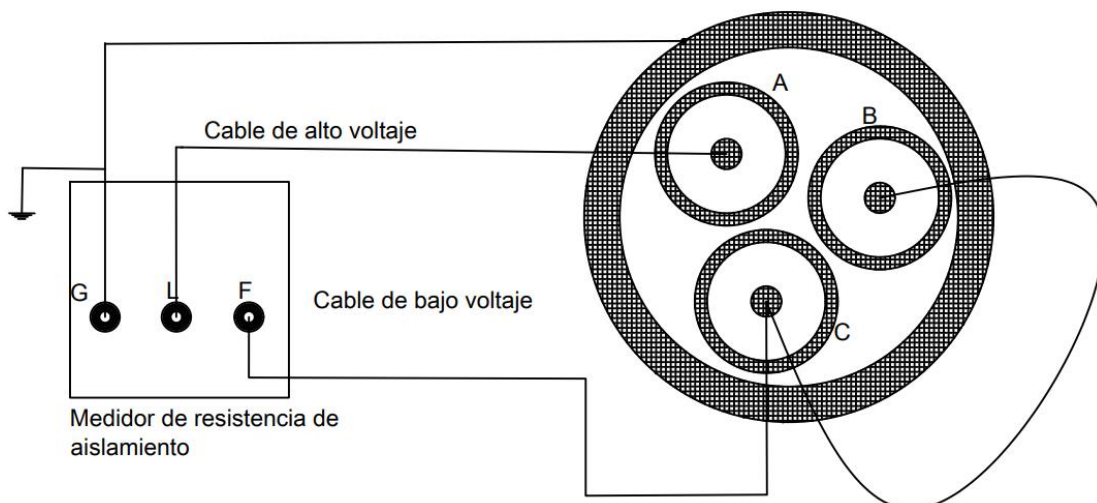


Figura. 3 Conexión Fase a Fase para cables multipolares [2].

Para esta prueba se utilizará el registro 01-AV-UTC- (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES) "Prueba de resistencia de aislamiento para cables de media tensión" según corresponda, ya que para tomar lectura es primordial tomar en consideración varios parámetros y características del equipo que este puesto en prueba.

2.4 Criterio de Aceptación:

Esta prueba no es destructiva en la cual un valor aceptable está por encima de 50 Megohmios. (Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems; Sección 7.3.2.3.4) [3].

El apantallamiento debe ser continuo, investigar todo valor de resistencia mayor a 10 ohmios por cada 1000 pies de cable. (Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems; Sección 7.3.3.3.4) [3].

2.4.1 Índice de polarización (IP)

Este índice provee información sobre el grado de deterioro del aislamiento, por efecto de la humedad y se calcula de la división de la resistencia registrada a los 10 minutos sobre la resistencia al primer minuto $IP=R_{10}/R_1$ [1].

2.4.2 Criterio de Aceptación:

Si este valor está por debajo de 1 es inaceptable e indica que existe alta humedad en el aislamiento, si se encuentra entre 1 y 2 se debe investigar ya que esto indica una condición marginal, si este valor está por encima de 2 indica buenas condiciones dieléctricas del aislamiento y si el valor supera 5, a pesar de indicar buenas condiciones dieléctricas, por lo general, es indicativo de resequedad y bajas propiedades mecánicas del aislamiento. Por lo tanto, el índice de polaridad aceptado debe estar entre 2 y 5 ($2 < IP$) así como se muestra en la tabla

Tabla 1 Criterios de aceptación para el índice de polaridad (IP)

		Inaceptable	Marginal	Aceptable
Índice de polarización	R_{10}/R_1	<1	1-1,25	1,25-2

2.5 Nivel de absorción dieléctrica (DAR)

Es un índice adimensional. El valor se obtiene al dividir la resistencia registrada a los 60 segundos para el valor de la resistencia registrada a los 30 segundos de aplicado el voltaje [1].

2.5.1 Criterio de Aceptación:

El valor aceptable estará por encima de 1,25 ($DAR > 1,25$), así como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2 Criterio de aceptación para el nivel de absorción dieléctrica (DAR)

		Marginal	Aceptable
Índice de polarización	R_1/R_{30}	1-1,25	1,25-2

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 Utilizando las figuras Figura. 1, Figura. 2 y Figura. 3 realizar las conexiones para cada configuración de pruebas y de la misma manera utilizando el registro de prueba 01-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN CABLES 1F 3F) llene los valores de resistencia de aislamiento corregidos a 20°C con unidad de medida que corresponda.

Tabla 3 Resistencia de aislamiento corregido a 20 °C

30Seg	1Min	2Min	3Min	4Min	5Min	6Min	7Min	8Min	9Min	10Min

3.2 Para este trabajo preparatorio llenar lo siguiente:

- ¿Qué es la resistencia de aislamiento en cables?
- ¿Para qué sirve la prueba de resistencia de aislamiento?
- ¿Cuáles son las resistencias de aislamiento a determinar en cables?

3.3 Con los datos de la Tabla 3, determine:

- El índice de absorción dieléctrica (DAR).
- El índice de polarización (IP)
- Analizar los criterios de aceptación y ver si la prueba es aprobada y rechazada.

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- Medidores de aislamiento Fluke 1555 y 1550C
- Multímetro Fluke 1503



Materiales:

- Conductor de cobre AWG numero 12 para puesta a tierra

5 REFERENCIAS

- [1] IEEE Industry Applications Society. Power Systems Engineering Committee., "IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants," p. 750, 1994.
- [2] A. B. y J. Erazo, "Petroamazonas Prueba DC para cables," p. 12, 2012, [Online]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Desktop/DECIMO_A/TESIS DE INVESTIGACION/ALTO VOLTAJE/ALTO VOLTAJE/Ensayos de Aislamiento en Equipos Eléctricos/Pruebas DC cables/PAM-EC-70-PRC-007-1.pdf.
- [3] NETA, "Standard for maintenance testing specifications for Electrical Power Distribution Equipment and Systems," p. 268, 2007

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Francisco Campuez Mauro Vega	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha: 28/08/2022	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES	DURACIÓN (HORAS)
		ÁREA:	ALTO VOLTAJE
02	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Resistencia de aislamientos en transformadores	

1	OBJETIVO
	Determinar la cantidad de humedad e impurezas que contienen los aislamientos del transformador.

2	INTRODUCCIÓN
	<p>La prueba de resistencia de aislamiento en transformadores sirve no solo para verificar la calidad del aislamiento en transformadores, también permite verificar el grado de humedad y en ocasiones defectos severos en el aislamiento, cada devanado forma un electrodo y existe una combinación de conexiones para ir probando los diferentes aislamientos.</p> <p>La prueba de resistencia de aislamiento consiste básicamente en aplicar voltaje entre los electrodos y medir la corriente que circula por el circuito. El equipo de prueba está integrado por una fuente de corriente directa y un medidor de la corriente que circula por el circuito, como se ilustra en el diagrama. Es importante observar que el objeto bajo prueba está representado por una resistencia en paralelo con un capacitor. Esto quiere decir que la corriente que circula por el circuito no sólo depende de la resistencia del aislamiento, sino también de su capacitancia. Estrictamente hablando, la prueba de resistencia de aislamiento debería llamarse prueba de impedancia de aislamiento, ya que existe también un efecto capacitivo.</p> <p>2.1 Alcance</p> <p>En esta práctica se utilizará los transformadores que tiene la universidad técnica de Cotopaxi en el laboratorio de alto voltaje, a estos equipos se realizara pruebas de resistencia de aislamiento y relación de transformación, de la misma manera se desarrollara el modelado del transformador en el software ATPDraw con el fin de ver el comportamiento de los voltajes en la entrada y salida del transformador de esa manera poder comparar con los datos de la placa y simulado.</p>

2.2 Volteje que hay aplicar en los transformadores antes de la prueba.

La medición de la resistencia de aislamiento constituye una prueba de voltaje directo y el voltaje de prueba debe ser restringida a un valor apropiado para la tensión nominal del devanado y la condición básica de aislamiento. Este es particularmente importante en el caso de máquinas pequeñas de bajo voltaje o bobinados húmedos. Si el voltaje de prueba es demasiado alto, la tensión de prueba aplicada puede sobrecargar el aislamiento, lo que provocaría una falla en el aislamiento.

Las pruebas de resistencia de aislamiento generalmente se realizan a voltajes directos constantes que tienen polaridad negativa.

Las pautas para los voltajes de prueba se presentan en la

Tabla 1 Directrices para la aplicación de tensiones continuas durante la prueba de resistencia de aislamiento

Voltaje nominal de devanado (V)	prueba de resistencia de aislamiento tensión continua (V)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 - 12000	2500 – 5000
>12000	5000 – 10000

Voltaje nominal de línea a línea para máquinas trifásicas de CA, voltaje de línea a tierra para máquinas monofásicas y voltaje directo nominal tensión para máquinas de CC o devanados de campo.

2.3 Conexión para pruebas en transformadores monofásicos

La prueba de resistencia de aislamiento en transformadores debe realizarse durante 10 minutos, de acuerdo con el método de absorción dieléctrica. Las conexiones de prueba dependen de la parte de aislamiento que se desea evaluar. Se pueden realizar tres pruebas diferentes:

1. Conexión Alta tensión vs Tierra
2. Conexión Alta tensión vs Baja tensión
3. Conexión Baja tensión vs Tierra

Conexión Alta tensión – Tierra

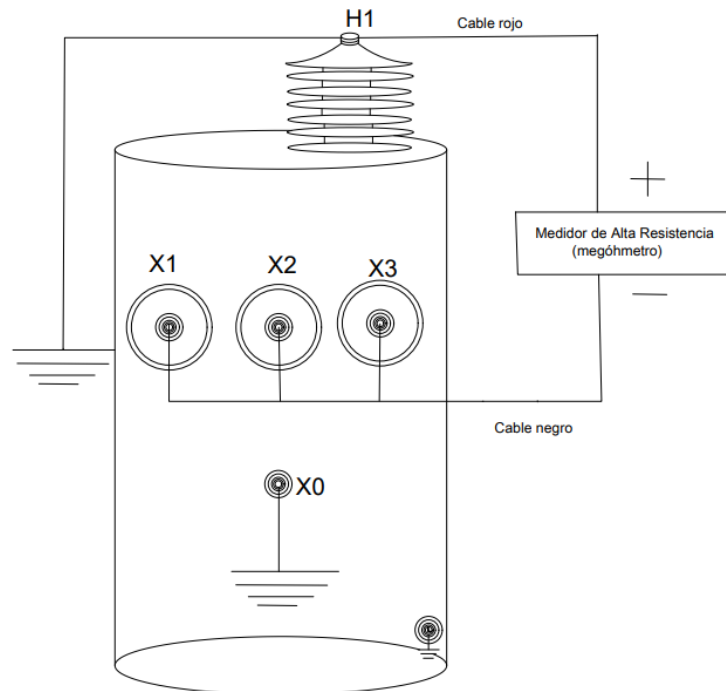


Figura. 1 Esquema de conexión para alta tensión vs tierra

Conexión Alta tensión – Baja tensión

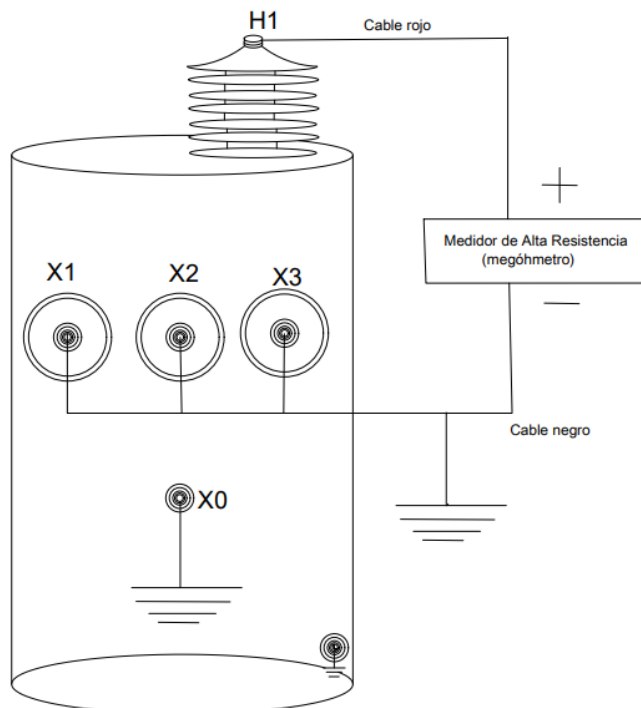


Figura. 2 Esquema de conexión para alta tensión vs baja tensión

Conexión baja tensión -Tierra

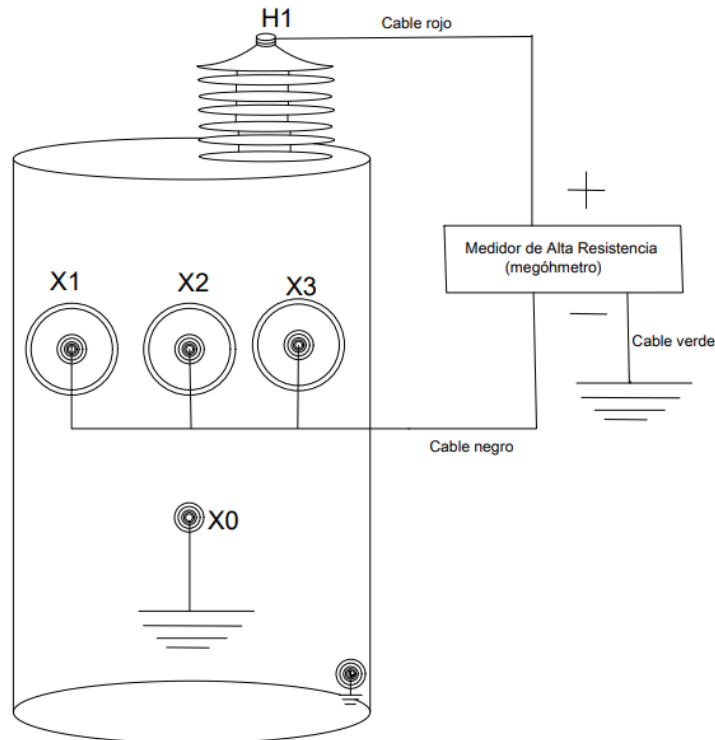


Figura. 3 Esquema de conexión de baja tensión vs tierra

2.4 Factor de corrección a 20 °C

Con las conexiones anteriores se supone que se ha tomado las siguientes lecturas de la prueba como ejemplo y obteniendo los siguientes resultados, así como se muestra en la Tabla 2, este proceso deberá realizar para cada uno de los casos correspondientes mencionados anteriormente.

Tabla 2 Lecturas de la prueba

30Seg	1Min	2Min	3Min	4Min	5Min	6Min	7Min	8Min	9Min	10Min
1124 MΩ	2004 MΩ	4475 MΩ	4467 MΩ	5315 MΩ	6025 MΩ	6628 MΩ	7234 MΩ	7653 MΩ	8023 MΩ	8451 MΩ

Antes de analizar los resultados, se debe hacer la conversión de todos los valores a 20°C, utilizando la Tabla 3 : En este caso suponemos que la temperatura durante la prueba fue de 30 °C. Por lo tanto, todos los valores medidos se deben multiplicar por un factor de corrección de "1,8".

Tabla 3 Factor de corrección para 20 °C

Temp. del Transformador °C	Factor de Corrección	Temp. del Transformador °C	Factor de Corrección
90	66,0	35	2,5
85	49,0	30	1,8
80	36,2	25	1,1
75	26,8	20	1,0
70	20,0	15	0,75
65	14,8	10	0,59
60	11,0	5	0,4
55	8,1	0	0,3
50	6,0	-5	0,22
45	4,5	-10	0,16
40	3,3	-15	0,12

Entonces, los valores de resistencia de aislamiento corregidos a 20°C serán los datos mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4 Resistencia de aislamiento corregido a 20 °C

30 _{Seg}	1 _{Min}	2 _{Min}	3 _{Min}	4 _{Min}	5 _{Min}	6 _{Min}	7 _{Min}	8 _{Min}	9 _{Min}	10 _{Min}
2023 MΩ	3607 MΩ	8055 MΩ	8040 MΩ	9567 MΩ	10845 MΩ	11930 MΩ	13021 MΩ	13775 MΩ	14441 MΩ	15211 MΩ

Nota: Es usual que los valores sean redondeados a número enteros, para evitar manejar puntos decimales en la lectura de la tabla.

2.4 Criterios de aceptación

En esta sección se tiene tres criterios de aceptación que se obtuvo de la normativa IEEE Std 43 2013, esto se hace con el fin de poder ver el estado en la que se encuentra el equipo puesto a prueba y ver si pasa la prueba es aceptada o rechazada [1].

Índice de polarización (IP)

Esta prueba nos ayuda con la información sobre el grado de deterioro del aislamiento, por efecto de la humedad y se calcula de la división de la resistencia registrada a los 10 minutos sobre la resistencia al primer minuto así como se ve en la ecuación (1) [1].

$$IP = \left(\frac{R_1}{R_{10}} \right) \quad (1)$$

Donde

R_1 : Resistencia al primer 1 minuto

R_{10} : Resistencia registrada a los 10 minutos

Criterios de aceptación

Los valores mínimos aceptables de resistencia está por encima de un Megaohmios por Kilovatio aplicado ($R > 1M/kV$). Para transformadores pequeños ($\leq 500kVA$), el valor del índice de polaridad debe ser igual a 1 o ligeramente mayor, para grandes transformadores ($> 500 kVA$) el índice de polaridad debe estar entre 1,1 - 1,3. En general, un valor alto de índice indica que el aislamiento del sistema está en buenas condiciones, un valor menor a la unidad indica que se necesitan acciones correctivas inmediatas [2].

Absorción Dieléctrica (DAR)

Consiste en aplicar el voltaje de prueba durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a los 30 segundos y posteriormente cada minuto. Su aplicación es en transformadores de potencia y en máquinas rotatorias grandes donde la característica de absorción es muy apreciable, para el cálculo de absorción dieléctrica es la resistencia registrada a los 60 segundos para el valor de la resistencia registrada a los 30 segundos así como se identifica en la ecuación (2) de aplicado el voltaje [2].

$$IP = \left(\frac{R_1}{R_{30}} \right) \quad (2)$$

Donde

R_1 : Resistencia al primer 1 minuto

R_{30} : Resistencia registrada a los 30 segundos

Es el índice que muestra el nivel de absorción del aislamiento, dependiendo de que sea mayor, se considera que el aislamiento del equipo está en mejores condiciones de funcionamiento (más seco y menos contaminado). En la práctica, se sugiere que el índice de absorción sea superior a 1.5. según la normativa IEEE Std 43 2013 [1], así como se muestra en la .

Tabla 5 Índice de absorción dieléctrica

Valor del DAR	Condición de aislamiento
< 1,25	Insuficiente
< 1,5	Aceptable
> 1,5	Excelente

2.4 Modelado de un transformador en ATPDraw

Modelar un transformador en estado estable a frecuencia industrial, significa que las variables de voltaje, corriente, factor de potencia, etc., se encuentran en un estado de estabilidad con respecto a sus magnitudes, operando a frecuencia nominal de la red (50 - 60 Hz).

En función del tipo de análisis requerido, el transformador puede ser modelado mediante un equivalente exacto, aproximado con rama de excitación y aproximado sin rama de excitación, en cualquier caso con sus valores referidos a su nivel de medio voltaje, bajo voltaje o a un nivel cualquiera de voltaje, presentando sus valores en ohmios o en valores por unidad [3].

Modelado de un transformador con datos de la placa

Características del transformador :

Tipo de transformador : Monofásico de distribución .

Dieléctrico : Sumergible en aceite .

Capacidad : 25 KVA

V.MT = V1 = 7620 V .

V.BT = V2 = 240 V .

f = 60 HZ .

Datos de Placa :

$Z_{cc} = 1.3\%$

$I_o = 2.0\%$

$P_o = 100W$.

Metodología de cálculo . Valores referidos a 7620 V.

La Impedancia de corto circuito Z_{cc} , es la relación de :

$$\%Z_{cc} = (V_{cc} / V_{nom}) \cdot 100 = 1,3\% \dots Placa.$$

Por lo tanto:

La relación X / R , del transformador es : $\%Z = 1,3\% = X / R$.

$$Z_{.base.MT} = (V_{nom}^2 / S_{nom}) = 7620V^2 / 25000VA = 2322,57\Omega \quad (3)$$

$$Z_{.serie.MT} = \left(\frac{\%Z_{cc}}{100} \right) \cdot Z_{.base.MT} = \left(\frac{2}{100} \right) \cdot 2322,57 = 30,19\Omega \quad (4)$$

$$Z_{.serie.MT} = \left(\frac{\%Z_{cc}}{100} \right) \cdot Z_{.base.MT} = \left(\frac{2}{100} \right) \cdot 2322,57 = 30,19\Omega \quad (5)$$

$$Z_{XL.MT} = Z_{.serie.MT} / 2 = 30,19 / 2 = 15,096\Omega \quad (6)$$

$$L1 = \left(\frac{XL.MT}{(2 \cdot \pi \cdot f)} \right) = 15,096 / 377 = 0,04007 H = 40.042 mH \quad (7)$$

$$R1 = \left(\frac{XL.MT}{X/R} \right) = 15,096 / 2 = 8,048 \Omega \quad (8)$$

Metodología de cálculo . Valores referidos a 240 V.

La relación X / R , del transformador es :

$$\%Z = 2\% = X / R .$$

$$Z.base.BT = (Vnom^2 / Snom) = 240V^2 / 25000VA = 2,304\Omega \quad (9)$$

$$Z.serie.BT = \left(\frac{\%Zcc}{100} \right) \cdot Z.base.MT = \left(\frac{1,3}{100} \right) \cdot 2,30 = 0,030\Omega \quad (10)$$

$$XL.BT = Z.serie.BT / 2 = 0,030 / 2 = 0,015\Omega \quad (11)$$

$$R1 = \left(\frac{XL.MT}{X/R} \right) = 15,096 / 2 = 8,048 \Omega \quad (12)$$

$$L2 = \left(\frac{XL.BT}{(2 \cdot \pi \cdot f)} \right) = 0,015 / 377 = 0,0618 H = 61,85 mH . \quad (13)$$

$$R2 = \left(\frac{XL.BT}{X/R} \right) = 0,015 / 2 = 0,0075 \Omega \quad (14)$$

Cálculo de la rama de magnetización . Referido a 240 V .

La conductancia del núcleo es :

$$gn = Po / Vca^2 = 100W / 240V = 0,4166 Siemens \quad (15)$$

$$Rm = 1/gn = 1/0,4166 = 2,40\Omega \quad (16)$$

Se conoce :

$$I_o = 2,0\% = (2,0 / 100) I_{nom.BT} = 0,02 \cdot 104 A = 2,8 A.$$

$$V_{ca} = 240 V. (V_{ca} = V_{nom})$$

$$P_{ca} = 65 W.$$

Al aplicar la ecuación general para la Y_{ex} . del núcleo , se obtiene :

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} < -\arccos\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} \cdot I_{ca}}\right) \quad (17)$$

$$Y_{ex} = \frac{3,28}{240} < -\arccos\left(\frac{100}{240 \cdot 3,28}\right) \quad (18)$$

$$Y_{ex} = 0,0136 + j(0,002605) \quad (19)$$

$$b_m = j 0,002605 \text{ siemens} \quad (20)$$

$$X_m = 1 / b_m = 1 / 0,002604 = j 384,02 \Omega \quad (21)$$

$$L_m = X_m / 2 \cdot \pi \cdot f = 384,02 / 377 = 1,0186 H = 1018,62 mH. \quad (22)$$

Cálculo de la rama de magnetización . Referido a 7967 V .

$$R_m = R_{m.BT} \cdot a^2 = 2,40 \cdot (31,75)^2 = 2419,35 \Omega \quad (23)$$

$$X_m = X_{m.BT} \cdot a^2 = 384,02(31,75)^2 = 387116,16 \Omega \quad (24)$$

$$L_m = X_m / 2 \cdot \pi \cdot f = 384,02 / 377 = 1,0186 H = 1018,62 mH. \quad (25)$$

$$R_m = R_{m.BT} \cdot a^2 = 2,40 \cdot (31,75)^2 = 2419,35 \Omega$$

$$X_m = X_{m.BT} \cdot a^2 = 384,02(31,75)^2 = 387116,16 \Omega$$

$$L_m = X_m / 2 \cdot \pi \cdot f = 384,02 / 377 = 1026,83 H = 1,026836 mH.$$

Estos datos serán ingresados en el modelado al transformador equivalente sea referido a alta tensión o baja tensión en el modelado que se ve en la Figura. 4.

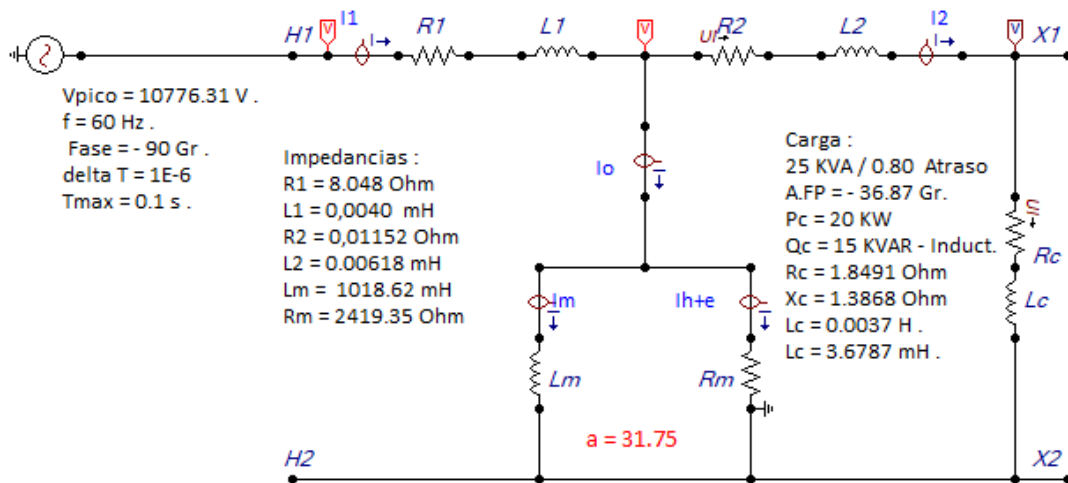


Figura. 4 Modelado del transformador referido a lado de 7620 V.

Modelado del transformador referido al lado de bajo voltaje a 240 voltios, así como se puede ver en la Figura. 5, con el fin de poder visualizar el voltaje de entrada y de salida del transformador y ver si la corriente de energización de en dicho transformador.

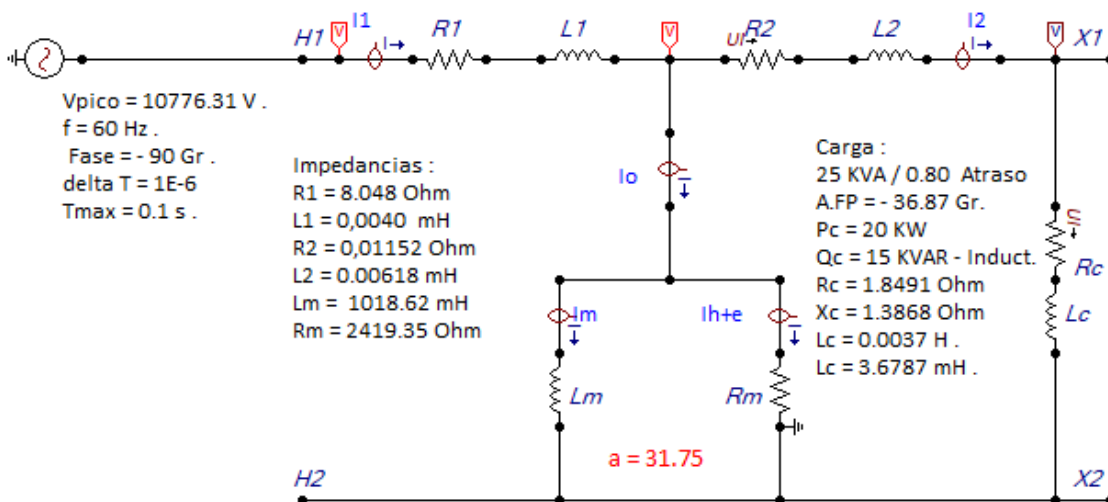


Figura. 5 Modelado del transformador referido a lado de 240 V

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 Utilizando las figuras Figura. 1, Figura. 2 y Figura. 3 realizar las conexiones para cada configuración de pruebas y de la misma manera utilizando el registro de prueba 02-AV-UTC-IELE (RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN) llene los valores de resistencia de aislamiento corregidos a 20°C con unidad de medida que corresponda.

Tabla 6 Resistencia de aislamiento corregido a 20 °C

30Seg	1Min	2Min	3Min	4Min	5Min	6Min	7Min	8Min	9Min	10Min

3.2 Para este trabajo preparatorio llenar lo siguiente:

- ¿Qué es la resistencia de aislamiento en un transformador?
- ¿Para qué sirve la prueba de resistencia de aislamiento?
- ¿Cuáles son las resistencias de aislamiento a determinar en un transformador?

3.3 Con los datos de la Tabla 6, determine:

- El índice de absorción dieléctrica (DAR).
- El índice de polarización (IP)
- Analizar los criterios de aceptación y ver si la prueba es aprobada y rechazada.
- Cuál es el estado del aislante
- Cuáles son las causas que deterioran el aislamiento en un transformador
- Cómo se puede mejorar la resistencia de aislamiento en un transformador

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- Medidores de aislamiento Fluke 1555 y 1550C de Fluke
- Multímetro digital Fluke 179



Materiales:

- Conductor AWG numero 12 conectado a tierra
- Pértiga conectado a tierra

5 REFERENCIAS

- [1] IEEE Std 43 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery, "IEEE Std 43-2013," vol. 2013, p. 37, 2013.
- [2] I. Power and E. Society, *IEEE Std 400-2012: IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above*, vol. 2012, no. June. 2002.
- [3] A. A. O. Washington, "Modelo matemático de un descargador eléctrico para mejorar la protección contra descargas atmosféricas en transformadores monofásicos de distribución eléctrica considerando sobre tensiones," 2018.

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Francisco Campuez Mauro Vega	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha: 04/01/2022	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES	DURACIÓN (HORAS)
	ÁREA:	ALTO VOLTAJE	
05	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Prueba de relación de transformación	6

1	OBJETIVO
	La prueba de relación de transformación determina la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el secundario, es decir; determina si la tensión suministrada puede ser transformada exactamente a la tensión deseada.

2	INTRODUCCIÓN
	<p>La relación de transformación es el número de vueltas del devanado primario dividido por el número de vueltas de la bobina secundaria; la relación de transformación proporciona el funcionamiento esperado del transformador y la tensión correspondiente requerida en el devanado secundario.</p> <p>Si se requiere una tensión secundaria menor que la tensión primaria – transformador reductor- el número de vueltas en el secundario debe ser menor que en primario, y para transformadores elevadores es al revés; cuando la relación de transformación reduce la tensión, eleva la corriente y viceversa, de manera que la relación de transformación de corriente y tensión en un transformador ideal está directamente relacionada con la relación de vueltas o espiras.</p> <p>2.1 Consideraciones</p> <p>La relación de transformación se deduce de dividir el número de vueltas del devanado primario entre el número de vueltas del devanado secundario, o el resultado de dividir la tensión en el devanado primario entre la tensión del devanado secundario, ambas tensiones de línea a neutro de las fases. Matemáticamente, la relación de transformador se puede expresar como:</p> $a = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$

Donde:

a: Relación de transformación.

V_1 y V_2 : Tensiones en las terminales del devanado primario y secundario, V.

I_1 y I_2 : Corrientes en el devanado primario y secundario, A.

Básicamente existen tres métodos para determinar la relación de transformación de un transformador:

- Métodos de los voltímetros.
- Método de los potenciómetros.
- Método del transformador patrón. Transformer Turn Ratio (TTR).

Solo se mencionará el método del transformador patrón (TTR); ya que es el método más usual y conveniente para determinar la relación de transformación en un transformador.

2.2 Principio de operación del transformador patrón (TTR)

El T.T.R opera bajo el principio de dos transformadores con la misma relación de transformación, que al conectarse en paralelo y ser excitados, con una pequeña diferencia en la relación de alguno, circulará una corriente relativamente grande entre ambos. En la Figura. 1 el transformador patrón se conecta en paralelo con el transformador bajo prueba, con un galvanómetro conectado en serie con las bobinas secundarias de ambos transformadores. Al excitar las bobinas primarias y el galvanómetro no detecte deflexión (no circula corriente a través de él), se puede decir que tienen la misma relación de transformación.

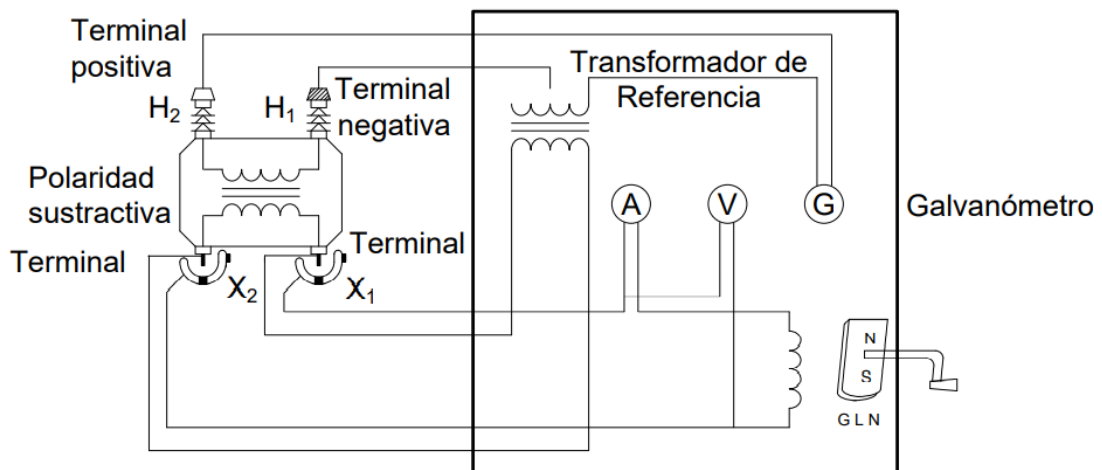


Figura. 1 Medidor de relación de transformación[1].

Para equilibrar el galvanómetro en el T.T.R, es necesario variar la posición de los selectores (S1, S2, S3 y S4). Al mover la posición de los selectores, lo que se hace es variar el número de vueltas del devanado secundario del transformador patrón.

2.3 Aplicación de T.T.R.

Es un equipo diseñado para mediciones de relación de transformación “a” en transformadores, autotransformadores y reguladores de tensión. En la Figura. 4, Figura. 5 y Figura. 6 se muestra las conexiones de prueba, conectando un segundo T.T.R. si se requiere una mayor relación. El T.T.R. es práctico para analizar las siguientes condiciones en los transformadores:

- Comprobar la relación de transformación en equipos nuevos, reparados o rebobinados.
- Identificar y determinar terminales, derivaciones (taps) y su conexión interna.
- Determinar y comprobar polaridad, continuidad y falsos contactos.
- Pruebas de rutina y detección de fallas incipientes.
- Identificar espiras en cortocircuito.

Prueba TV/TP

Para este tipo de prueba se utilizará la siguiente configuración, así como se puede identificar en la Figura. 2, estas conexiones son las típicas que nos brinda el mismo equipo para la comprobación de relación de transformación antes de dar la ejecución el equipo de medición.

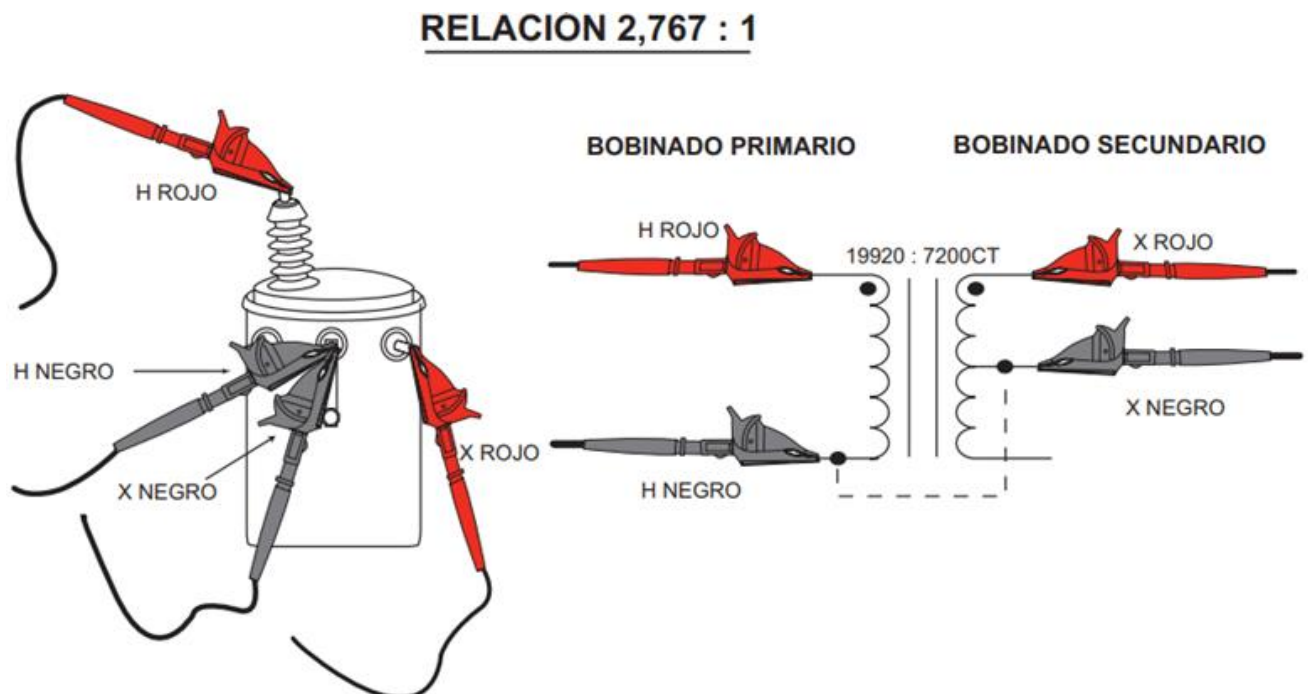


Figura. 2 Conexión típica para la prueba de relación de transformación [2].

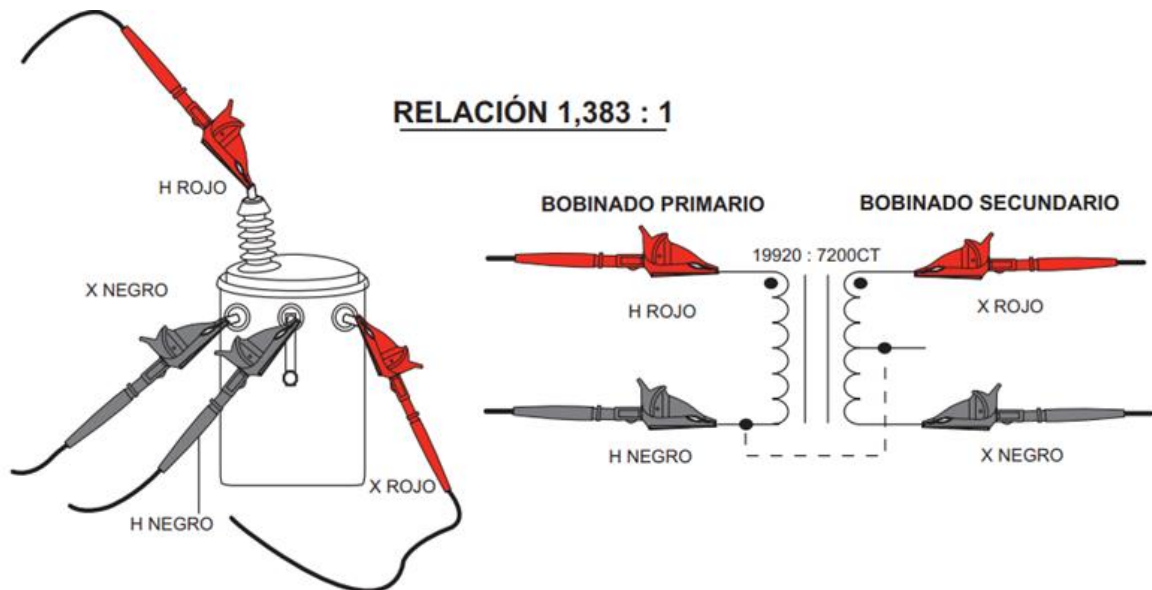


Figura. 3 Otra conexión posible para la relación de transformación [2].

Conecte los cables del bobinado primario (H) y secundario (X) al conector de DTR 8510 y al transformador que será probado, así como se muestra en la Figura. 2 Figura. 3

Para la ejecución de la prueba se pulsará TEST. De esa manera se ejecutará primero la prueba de continuidad y luego la prueba de relación de transformación.

Las siguientes conexiones se debe tomar en consideración para la prueba de relación de transformación en un transformador trifásico, cada uno de las conexiones presenta sus correspondientes configuraciones con el fin de poder realizar una buena conexión y poder obtener el valor de la prueba.

La Figura. 4 presenta la conexión de la fase A en los transformadores trifásico junto con el medidor de equipo TTR.

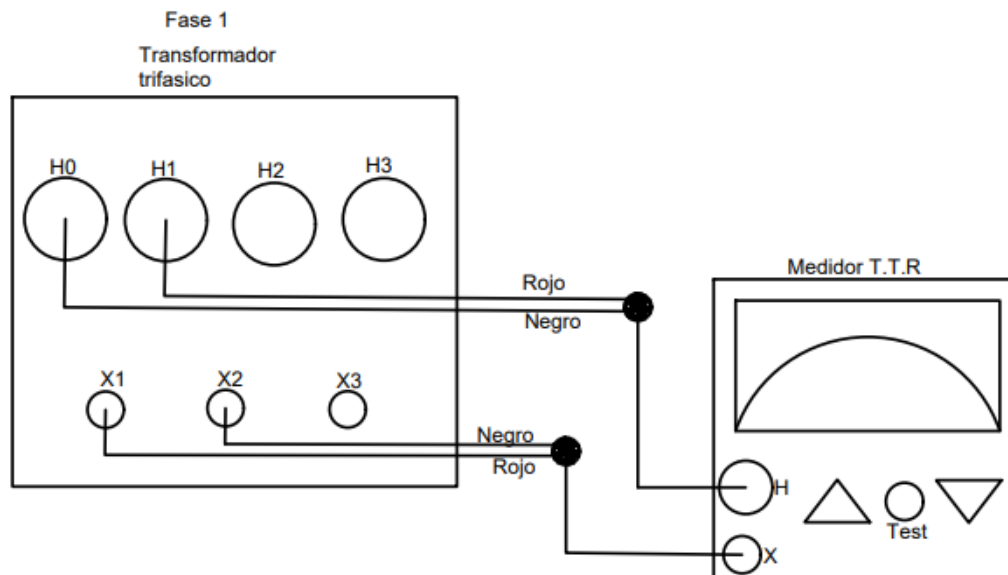


Figura. 4 Conexión para relación de transformación en un transformador trifásico fase A [1].

La Figura. 5 presenta la conexión de la fase B en los transformadores trifásico junto con el medidor de equipo TTR.

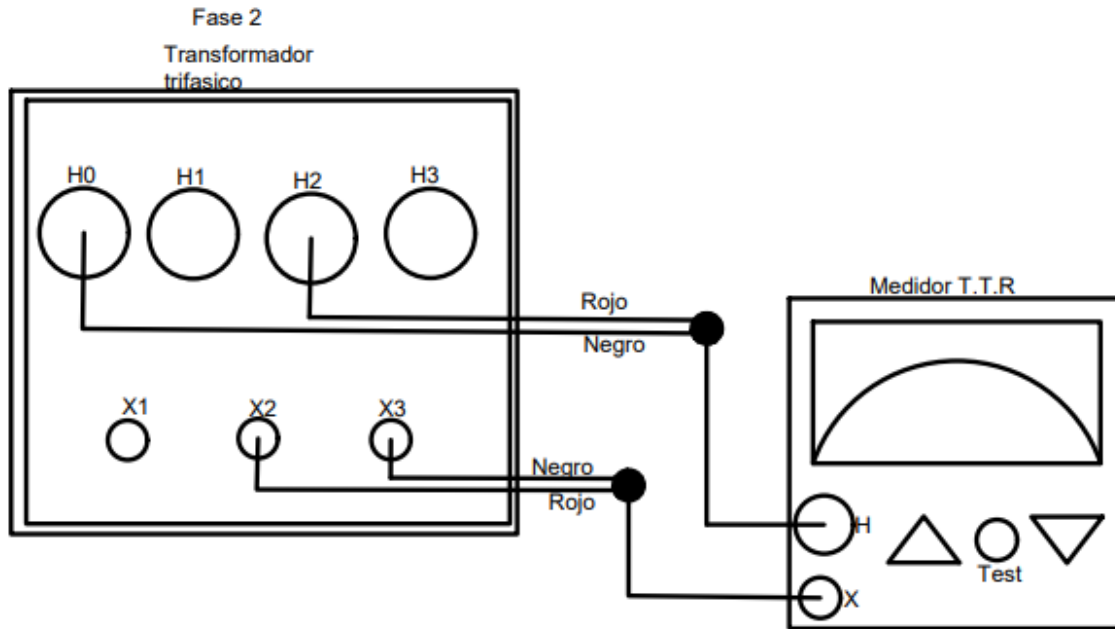


Figura. 5 Conexión para relación de transformación en un transformador trifásico fase B [1].

La Figura. 6 presenta la conexión de la fase C en los transformadores trifásico junto con el medidor de equipo TTR.

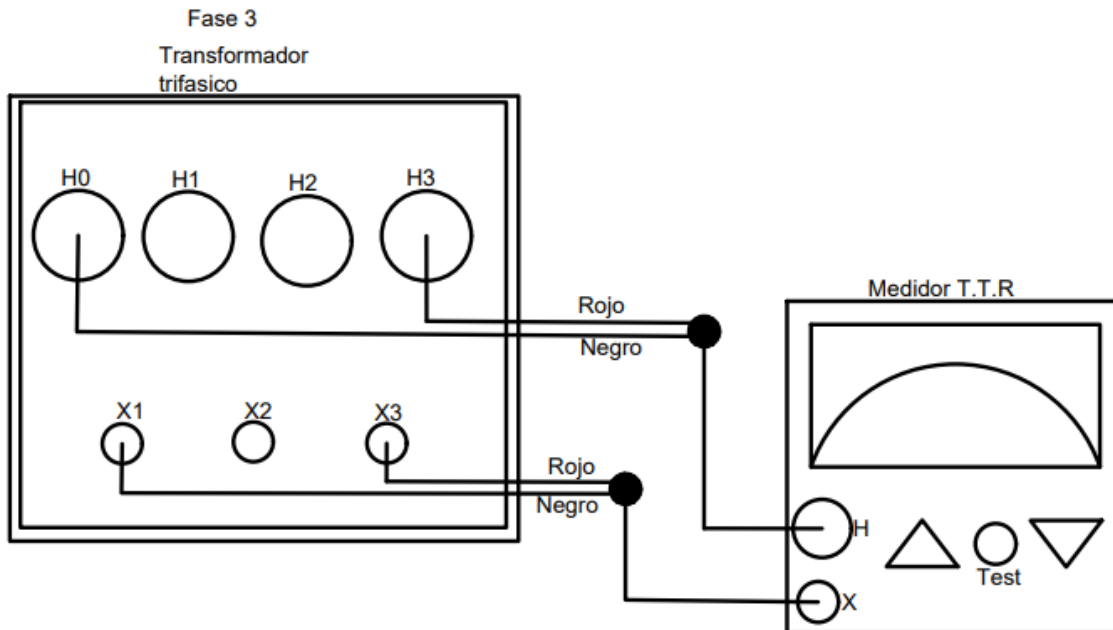


Figura. 6 Conexión para relación de transformación en un transformador trifásico fase C [1].

En la Tabla 1 se puede identificar las configuraciones de las conexiones para un transformador trifásico para pruebas de relación de transformación.

Tabla 1 Secuencia de conexiones para la prueba de relación de transformación

Prueba	Conexiones				Mide
	CN	CR	CR	CN	
1	H ₀	H ₁	X ₁	X ₂	Fase 1
2	H ₀	H ₂	X ₂	X ₃	Fase 2
3	H ₀	H ₃	X ₃	X ₁	Fase 3

Interpretación de resultados

Para interpretar los resultados es necesario calcular el porcentaje de diferencia que existe entre los valores medidos y los teóricos, con ayuda de la siguiente ecuación [1]:

$$\%Diferencia = \frac{Valor\ teorico - Valor\ medido}{Valor\ teorico} \times 100 \quad (2)$$

El porcentaje de diferencia no debe ser mayor al 0,5% según la normativa IEEE Std C57.12.1980 [3].

2.4 Desarrollo de la prueba

Realizada el 27 de julio del 2022 a las 14:18 horas.

Temperatura: 25 °C

Método de Prueba: Método del Transformador Patrón (T.T.R).

Transformador Trifásico Delta- Estrella 2kVA 220 /480 elevador. Este transformador cuenta, con cinco taps, cada uno es de ±2.5% la tensión de línea a neutro por el lado de alta tensión.

Ilustrativamente se hace el cálculo para el primer tap y repitiéndose para los restantes Tabla 2

Para Tap 1

$$a = \frac{V_1}{V_2} \quad (3)$$

$$a = \frac{(480/\sqrt{3})}{220 \cdot (-5) + 220} \quad (4)$$

Tabla 2 Relación de transformación para cada tap

Tap	Relación de transformación
1/A	1,325
2/B	1,289
3/C	1,256
4/D	1,228
5/E	1,198

Al realizar las mediciones respectivas para cada tap del transformador, de acuerdo a la secuencia de la Figura. 4, Figura. 5 y Figura. 6, en cada fase obtuvieron las lecturas registradas en la Tabla 3 Informe de la prueba de relación de transformación del transformador Pad Mounted 220/480 Informe de la prueba de relación de transformación.

En esta parte se requiere calcular el porcentaje de diferencia con ayuda de la ecuación 2 registrando los resultados en la Tabla 3.

Mostrándose el ejemplo del tap 1 en la fase A.

$$\%Diferencia = \frac{1,325 - 1,321}{1,325} \cdot 100\% = -0,301 \quad (5)$$

Para obtener la relación mínima y máxima, se resta y se suma el 0.5% a la relación nominal respectivamente.

Tabla 3 Informe de la prueba de relación de transformación del transformador Pad Mounted 220/480 V

TAP	MEDIDO			CALCULADO	% ERROR		
	FASE H1	FASE H2	FASE H3	RELACIÓN	FASE H1	FASE H2	FASE H3
1/A	1,321	1,321	1,323	1,325	-0,301	-0,377	-0,15
2/B	1,267	1,229	1,286	1,289	0,155	0,077	-0,23
3/C	1,257	1,261	1,262	1,256	-0,079	0,398	0,47
4/D	1,225	1,295	1,23	1,228	-0,244	0,244	0,16
5/E	1,197	1,991	1,195	1,198	-0,083	0,091	-0,25

De esta prueba se puede concluir que el transformador probado presenta una relación de transformación aceptable ya que en ninguna fase y para cada paso del tap no existen diferencias mayores a la establecida por la norma que es del 0.5%. Por otra parte, se comprueba que no hay devanados con polaridades encontradas, derivaciones sin continuidad o en cortocircuito.

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 Utilizando las figuras Figura. 4, Figura. 5 y Figura. 6 de la misma manera tomando como referencia la Tabla 3 tomar lectura utilizando el registro 04-AV-UTC-IELE (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN) llenar la Tabla 4.

Tabla 4 lectura para la prueba de relación de transformación

TAP	MEDIDO			CALCULADO	% ERROR		
	FASE H1	FASE H2	FASE H3	RELACIÓN	FASE H1	FASE H2	FASE H3
1/A							
2/B							
3/C							
4/D							
5/E							

3.2 Para este trabajo preparatorio llenar lo siguiente:

- ¿Qué es la relación de transformación?
- ¿Que nos indica la medida con una alta desviación en la relación de transformación?
- ¿Cuál es la utilidad de conocer la polaridad de un transformador?
- ¿Cuál es la función de los taps en un transformador?
- Identificar la conexión y relación de transformación para transformadores monofásicos y trifásicos

3.3 Con los datos de la Tabla 4, determine:

- Determinar el margen de error en %
- Dar criterios de aceptación

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- Medidor digital transformer ratiometer DTR modelo 8510
- Multímetro fluke



Materiales:

Varilla de puesta a tierra

- Cable para puesta a tierra

5 REFERENCIAS

- [1] A. Hernández Acevedo, R. Ledesma Vilchis, and E. Perera Martínez, "Manual de Pruebas a Transformadores de Distribución," 2007.
- [2] B. Hanso, "Digital transformer ratiometer (DTR 8510)," vol. 4, pp. 1–23, 2016.
- [3] A. C57.12.00, "liquid-immersed distribution , power ,general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers," 1980.

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Francisco Campuez Mauro Vega	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES	DURACIÓN (HORAS)
		ÁREA:	ALTO VOLTAJE
03	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Prueba de Contorneo de Aislamiento	

1	OBJETIVO
	Determinar las características de los aisladores bajo condiciones atmosféricas (seco, húmedo, contaminado y bajas temperaturas) con la finalidad de verificar si puede seguir en uso o al contrario se debe dar de baja el equipo.

2	INTRODUCCIÓN
	<p>En esta práctica se van a realizar ensayos de disrupción dieléctrica en aisladores en función de sus características principales. En primer lugar, se realiza la toma de datos y condiciones a las que se va a realizar el ensayo. A continuación, se determinará porcentualmente la tensión crítica aplicable de cada aislador y finalmente con el resultado se determina si el equipo es aprobado o no.</p> <p>2.1 Determinación de tensión crítica de flameo TCF</p> <p>La tensión crítica de flameo es un nivel de voltaje que representa un 50% de probabilidad que superado este valor ocurra el paso de corriente de una fase a tierra o viceversa y se define mediante la Ecuación (1) en función del nivel básico de aislamiento estándar (BSL_{st}) [1]:</p> $TCF_{st} = \frac{BSL_{st}}{0.961} \quad (1)$ <p>Para corrección por factores ambientales es necesario conocer los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> Nivel de contaminación ambiental (K_c). Densidad relativa del aire (K_a). <p>El nivel de contaminación ambiental se cuantifica por medio de un factor llamado de contaminación (K_c) que se define en base a la densidad equivalente de contaminantes en el aire, para cuatro niveles de contaminación las normas IEC e IEEE presentan el correspondiente valor de K_c (mm/kV), según indica la [2].</p>

Tabla 1. Factor de contaminación ambiental.

Nivel	IEC	IEEE
Ligero	16	27,7
Medio	20	34,6
Fuerte	25	43,3
Muy fuerte	31	53,7

Relación entre IEC y IEEE: $K_{C_{IEEE}} = \sqrt{3} \cdot K_{C_{IEC}} \left(\frac{mm}{kV}\right)$

Según [2], para definir la densidad relativa del aire (K_a), la norma IEC 61869-1, recomienda la siguiente Ecuación (2):

$$K_a = (1.02) \cdot e^{-m \cdot \frac{h-1000}{8150}} \quad (2)$$

Donde:

m: es igual a 1 para impulsos tipo rayo y 0.75 para impulsos tipo maniobra.

h: determina la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Para el cálculo del factor de lluvia (K_{ll}) se propone la siguiente metodología en la cual, la selección se da según la gráfica de la Figura 1, según el nivel de precipitación se procede a seleccionar el factor K_{ll} [2], es primordial el saber el nivel de precipitación de la zona para poder seleccionar correctamente el factor de lluvia:

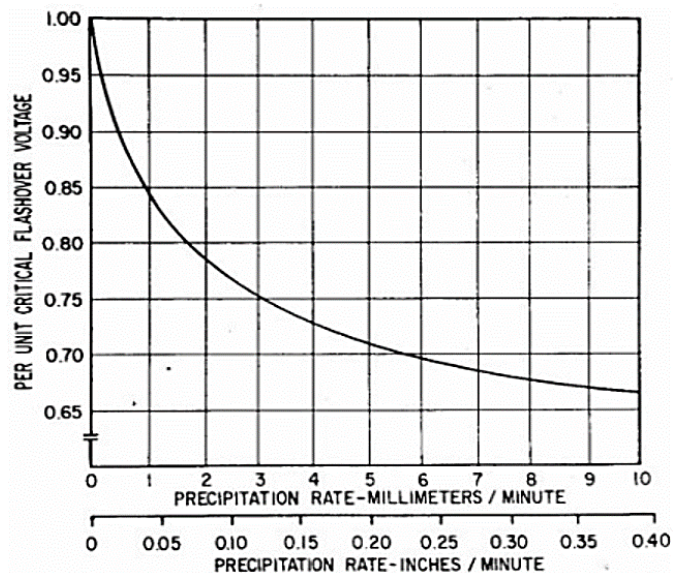


Figura 1. Factor de Lluvia. mm/minuto

El nivel de aislamiento estándar del equipo generalmente viene dado por un conjunto de dos voltajes soportados estándar. Para equipos en Clase I (15 kV a 242 kV), el nivel de resistencia de aislamiento estándar viene dado por lo siguiente [1]:

- La tensión soportada de baja frecuencia y corta duración.
- El nivel de aislamiento de impulso de rayo básico (BIL).

Las tensiones soportadas estándar para equipos de Clase I se proporcionan en la Tabla 2, dichas tensiones se toman de ANSI C84.1-2006 [3], con la excepción de que para medias tensiones la tabla comienza con 15 kV en lugar de 1 kV.

Tabla 2. Tensiones soportadas estándar para Clase I ($15 \text{ kV} \leq V_m \leq 242 \text{ kV}$).

Máximo voltaje del sistema (fase a fase) V_m (kV), rms	Nivel básico de aislamiento (fase a tierra) BIL, kV Cresta	Baja frecuencia, resistencia de corta duración (fase a tierra) kV, rms
15	95	34
	110	
26,2	125	40
	150	50
36,2	150	50
	200	70
48,3	250	95
	72,5	250
121		350
	350	140
	450	185
	550	230
145	550	185
	650	230
	750	275
169	550	230
	650	275
	750	325
242	650	275
	750	325
	825	360
	900	395
	975	480
	1050	

Los voltajes soportados en la Tabla 2, son voltajes de fase a tierra. Con algunos equipos, la tensión soportada de fase a fase, puede ser la misma que la tensión soportada de fase a tierra como ejemplo los transformadores trifásicos, en cambio con otros equipos, el nivel de aislamiento de fase a fase no está definido (aisladores de apoyo), y el voltaje soportado está dictado por el diseño del conjunto, es necesario establecer el nivel de aislamiento fase a fase, o las distancias requeridas, mediante el procedimiento de coordinación de aislamiento [1]. De igual forma hay que recalcar que el BIL se refiere a los niveles de aislamiento de equipos individuales.

El nivel básico de aislamiento tanto para impulsos tipo rayo como para maniobras debe ser corregido por factores ambientales, densidad relativa del aire (altura, presión, temperatura), por humedad y por lluvia, dada en la Ecuación (3) [2]:

$$BIL_{corr} = BIL_{st} \cdot \frac{K_a^{0.5} \cdot K_{ll}}{KH} \quad (3)$$

Por ende, para la corrección para la TCF está dado por la ecuación (4):

$$TCF_{corr} = \frac{BIL_{corr}}{0.961} \quad (4)$$

Si se reemplaza la Ecuación (3) en (4) se obtiene como resultado la Ecuación (5):

$$TCF_{corr} = \frac{BIL_{st} \cdot \frac{K_a^{0.5} \cdot K_{ll}}{KH}}{0.961} \quad (5)$$

2.2 Medida de la tensión crítica de flameo TCF

En la Figura 2 se representa el esquema de realización de la medida de contorno en aisladores para medir la tensión crítica de flameo se debe colocar el aislador en su lugar correspondiente es por lo cual en la se observa en la Figura 2, que prácticamente se lo coloca en párelo a la fuente de alimentación ya que esta es la que ira inyectando tensión poco a poco dependiendo la tensión crítica de flameo nominal del equipo dado como dato de fábrica, de igual forma también se selecciona en función de si las condiciones son dadas en húmedo o seco.

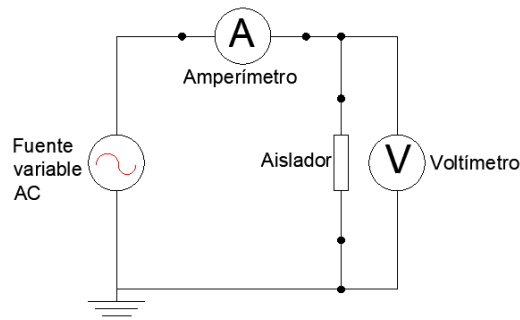


Figura 2. Medida de la tensión crítica de flameo.

Por otro lado, debe medirse la tensión crítica en bornes del aislador con el voltímetro en paralelo, ya que esta será la que determine la tensión del ensayo, dentro del proceso el período entre flameos consecutivos no debe ser menor de 15 segundos, ni mayor de 5 minutos, la corriente medida también circulando por el aislador en la parte real puede determinar e identificar las corrientes de fuga que están circulando por el sistema, lo cual da entender que estas corrientes al pasar por el aislador pueden terminar siendo perjudiciales para la vida útil de dicho equipo.

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 La Figura 3 siguiente representa un aislador ANSI 55-5, al cual se lo desea incluir dentro de un proyecto de un sistema de distribución que funciona a 13,8 kV línea a línea, el lugar donde se desea implementar es en la provincia de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga a una altitud de 1770 m.s.n.m. sometido a un nivel de precipitación = 300 mm/hora, también presenta un factor de contaminación (Kc) de grado de medio.

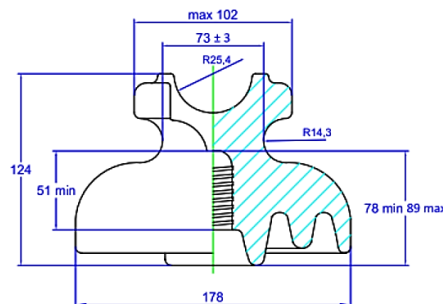


Figura 3. aislador espiga (pin), porcelana, 15 kV, ANSI 55-5.

Con esos datos, determine:

- La tensión crítica de flameo para impulso tipo rayo. Justifique la validez de la expresión utilizada en el cálculo.
- La tensión crítica de flameo para impulso tipo maniobra. Justifique la validez de la expresión utilizada en el cálculo.

3.2 Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- Para determinar la tensión crítica de flameo de impulso tipo rayo se hace según la correcta selección según la tensión estándar del BIL.
- El período entre flameos consecutivos no debe ser menor de 15 segundos, ni mayor de 5 minutos.
- El nivel básico de aislamiento tanto para impulsos tipo rayo como para maniobras debe ser corregido por factores ambientales.
- Es indiferente o irrelevante la altura sobre el nivel del mar, para la elaboración del análisis, ya que este es un factor que no influye en los cálculos realizados.
- En el caso del ensayo mientras más rápido de la disrupción eléctrica (menor CFO), más grado de aceptación aporta el aislador.

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

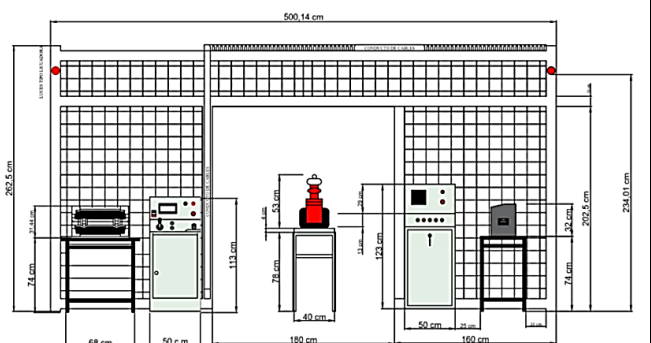
4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- HV Hipot Control Unit HZXC-5 capacidad 5 kVA
- Jaula de Faraday con módulo de control



Materiales:

- Atomizador con agua
- Toma de puesta a tierra
- Pértiga aterrizada
- Aisladores
- Micrófono

5 ACTIVIDADES A DESARROLLAR:

5.1 Medida de tensión crítica de flameo

Para la realización de la medida de tensión crítica de flameo, se va a realizar un montaje según se muestra en la Figura 4. Las funciones de fuente de tensión, voltímetro y amperímetro indicadas en la Figura 3 se integran en el equipo de medida suministrado.

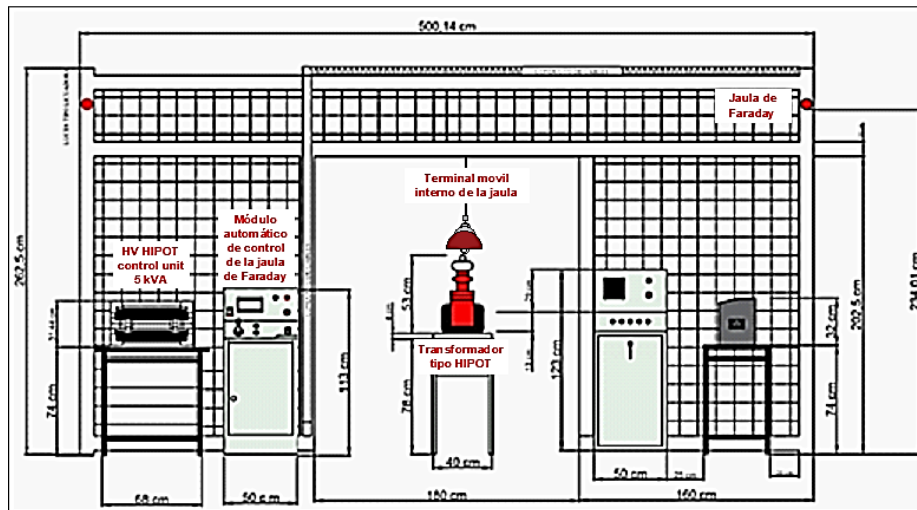


Figura 4. Conexión para pruebas de contorno en aisladores y sus componentes.

Las mediciones se van a realizar para los valores de tensión inyectada la cual se va registrar en kV, la corriente en el lado de alta y baja tensión, también se necesita disponer de un micrófono con la finalidad de medir el ruido que se va produciendo al pasar el tiempo y aumentando la tensión y finalmente se registra el tiempo de paso de cada aumento de tensión, dichos parámetros son los que se anotan en la siguiente tabla:

Posición del regulador	High voltaje	HV current	LV current	Ruido	Step time
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
110					
120					
130					
140					
150					
160					
170					
180					
190					
200					
210					
220					
230					
240					
250					
260					

6 REFERENCIAS

- [1] S. Protective Devices Committee of the IEEE Power and E. Society, "IEEE Standard for Insulation Coordination-Definitions, Principles, and Rules Sponsored by the Surge Protective Devices Committee IEEE Power & Energy Society," 2011.
- [2] Astudillo Otto Washington, "Modelo matemático de un descargador eléctrico para mejorar la protección contra descargas atmosféricas en transformadores monofásicos de distribución eléctrica considerando sobretensiones," 2021.
- [3] "American National Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hertz)."

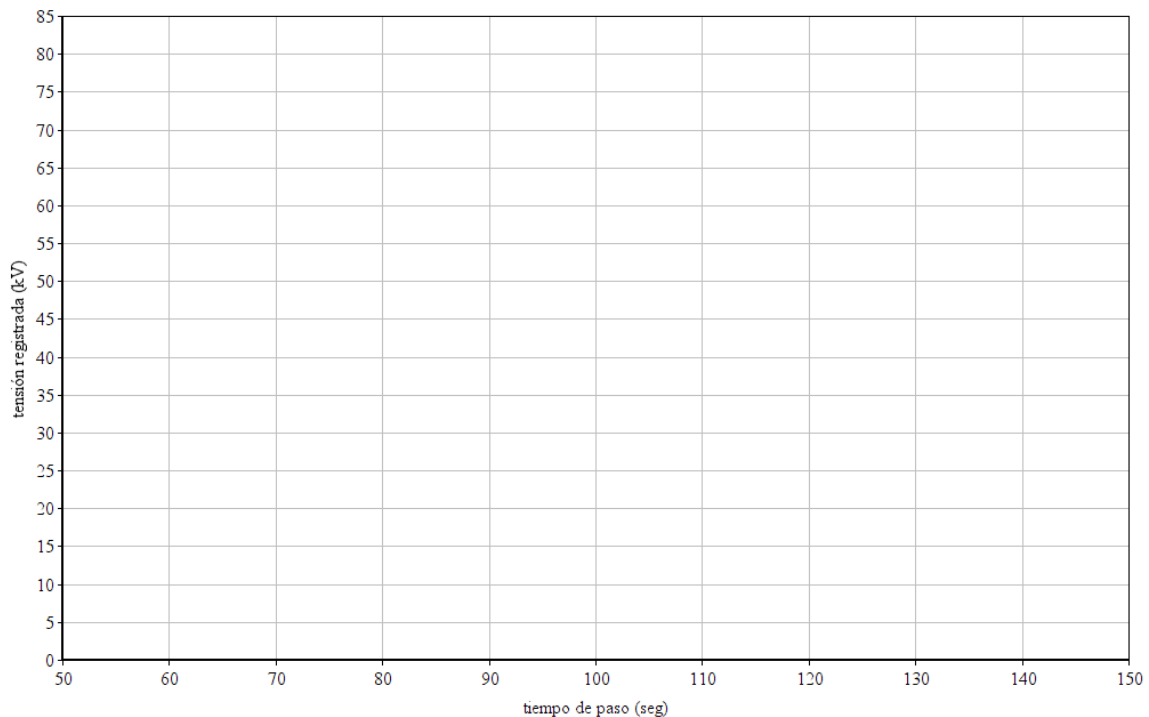
7 INFORME DE PRÁCTICA

El informe de práctica debería contener al menos los siguientes componentes:

- Portada: carátula donde incluye la información de la asignatura
- Objetivos: Redactar en infinitivo en función de la guía de práctica
- Marco Teórico: Definición de los fundamentos teóricos citando a los autores en formato IEEE.
- Análisis de Resultados: Explicar de manera clara cada uno de los resultados obtenidos, utilizar gráficas y tablas que permitan detallar la práctica.
- Conclusiones: En función de los objetivos de la práctica y los resultados, se deben redactar de manera concreta.
- Referencias: Usar IEEE Reference Guide, usar gestores bibliográficos como Mendeley.

1. Medida de TCF en aisladores

1.1 Represente sobre la gráfica siguiente los valores de la medición de prueba de contorno del aislador obtenidos para cada una de las diferentes tensiones aplicadas entre el paso del tiempo a las que se realizó la medida.



1.2 De acuerdo con los valores representados en la gráfica anterior, indique qué valores de tensión registrada son los más críticos: los tres valores ultimo registrados son considerados los más críticos.

1.3 Según la respuesta anterior, si la tensión critica de flameo se presenta antes de un 50% de la TCF nominal, ¿con el criterio de aceptación, este elemento sería aceptable o no ante el ensayo? Y ¿por qué?

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Campuez Francisco Mauro Vega	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	SISTEMAS ELÉCTRICOS	DURACIÓN (HORAS)
	04	ÁREA:	ALTO VOLTAJE
NOMBRE DE LA PRÁCTICA:		Prueba de alto potencial (Hi-Pot)	

1	OBJETIVO
Determinar prueba de alto potencial (Hi-Pot) en cables de distribución eléctrica	

2	INTRODUCCIÓN
<p>Las pruebas de sobretensión, también conocidas como de alto potencial o "Hi-Pot", se utilizan regularmente para garantizar la fuerza dieléctrica mínima del sistema de aislamiento. Es una prueba destructiva. Esta prueba se lo realiza con el fin de medir el aislamiento de un elemento a través de la detección de la corriente que pasa por él.</p> <p>2.1 Prueba de alto potencial para conductores</p> <p>Esta prueba es considerada como una prueba destructiva en donde se aplica un voltaje por encima del nominal del cable, para obtener la corriente de fuga y la resistencia del aislamiento ya que esta prueba se realiza únicamente en cables de MT, cuyo voltaje nominal es $\geq 5\text{kV}$. Para esta prueba de alto potencial para conductores de medio voltaje se realiza considerando las siguientes actividades:</p> <p>Antes de realizar la prueba de alto potencial (Hi-Pot) se debe documentar AV-UTC-IELE-03 - Prueba de resistencia de aislamiento para cables de media tensión según el registro.</p> <p>Para la prueba se debe tener en cuenta y asegurar que el voltaje de prueba regulado en el equipo de Hi-Pot esté de acuerdo a la Tabla 1, esto para poder identificar el voltaje que se someterá a la prueba hacia el conductor de la misma manera considerar el registro de la temperatura y humedad relativa en lo que se va realizar dicha prueba [47].</p>	

De la misma manera se tomará en cuenta la conexión de la Figura. 1 según la configuración para prueba de alto potencial.

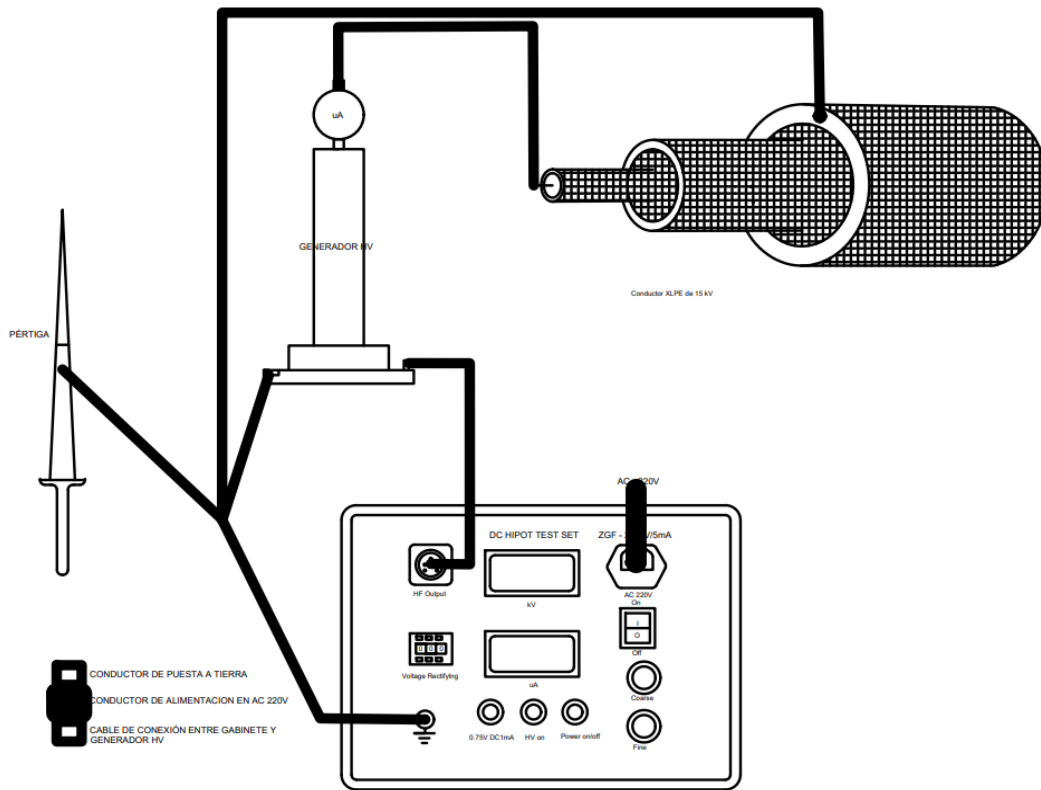


Figura. 1 Conexión para la prueba de (Hi - Pot) para cables

La conexión de la Figura. 2 se tomará en consideración cuando desee realizar pruebas en aisladores con el fin de poder ver el nivel de corriente de fuga que tiene en el equipo puesto en prueba.

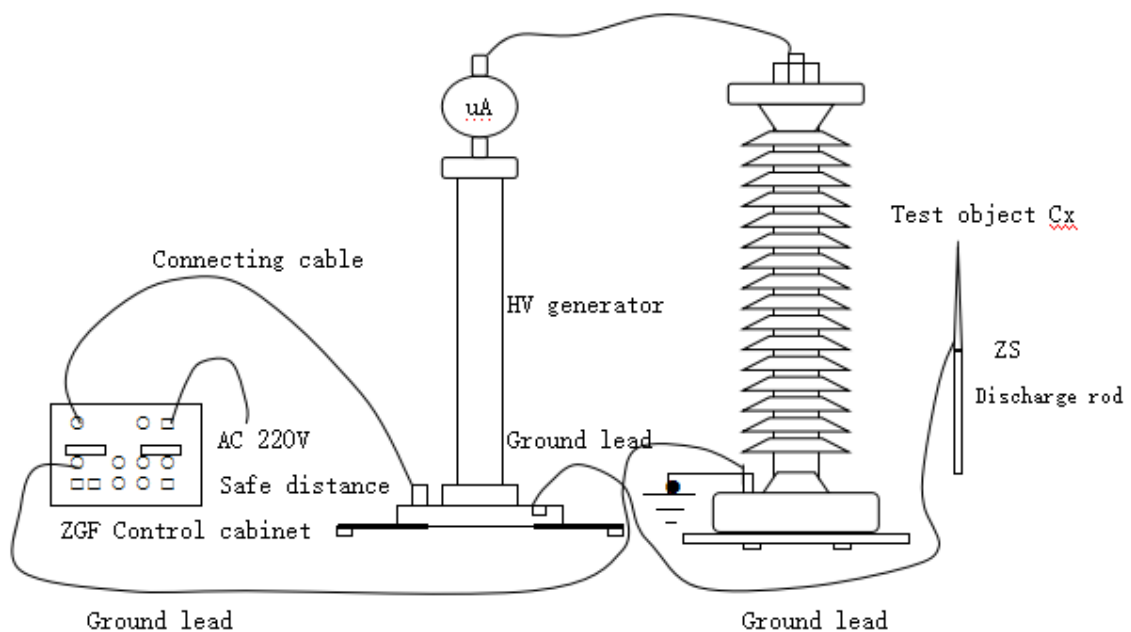


Figura. 2 Conexión para la prueba de (Hi-Pot) para aislador

Cuando ya está realizada la conexión según la figura anterior se debe proceder a utilizar la Tabla 1 para identificar el voltaje que hay que aplicar al conductor, dependiendo el estado en la que se encuentra el conductor.

Tabla 1 Valores de voltaje aceptados para Hi-Pot en prueba de campo según la normativa ICEA [1].

Tipo de aislamiento	Aislamiento Nivel (%)	Tensión nominal del cable							
		5kv		15kV		25kV		35kV	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Elastomérico: base de butilo y aceite	100	25	19	55	41	80	60	----	----
	133	25	19	65	49	----	----	----	----
Elastomérico: EPR	100	25	19	55	41	80	60	100	75
	133	25	19	65	49	100	75	----	----
Polietileno, incluyendo reticulado Polietileno	100	25	19	55	41	80	60	100	75
	133	25	19	65	49	100	75	----	----

Nota : columna 1 Pruebas de instalación, realizadas después de la instalación, antes del servicio; columnas 2: prueba de mantenimiento, realizada después de que el cable ha estado en servicio.

Estos valores de prueba son inferiores a los cables anteriores a 1968 porque el aislamiento es más delgado. Por lo tanto, el voltaje de prueba de corriente alterna es más bajo. El voltaje de prueba de corriente continua se especifica tres veces el voltaje de prueba de corriente alterna por lo que también es más bajo que para los cables más antiguos.

- La prueba de Alto Potencial de cables de medio voltaje se realiza considerando las siguientes actividades:
- El cable a ser probado debe estar desenergizado y se debe aislar en sus dos extremos.
- Se debe comprobar ausencia de voltaje previo a la realización de la prueba.
- Una segunda persona vigila el lado opuesto del cable al que se está energizando, para advertir del peligro al personal durante la realización de la prueba.
- Una vez realizadas las terminaciones de los cables, éstas deben ser aisladas y separadas adecuadamente dependiendo del voltaje.
- Proceder a la limpieza de los extremos del cable a ser probado, identificación de las fases y con los extremos limpios y preparados elegir la fase a ser probada, cortocircuitando las otras dos fases mediante un puente de conexión hacia un punto de tierra.

- Asegurar que el voltaje de prueba regulado en el equipo de Hi-Pot esté de acuerdo a la Tabla 1.
- Registrar la temperatura y humedad relativa.
- Realizar la prueba de Alto Potencial (Hi-Pot) en DC en cada fase, con las otras dos fases conectadas a tierra.
- El voltaje en la prueba se elevará en 5 incrementos de voltaje de igual magnitud, a intervalos de tiempo iguales (no menores a 1 minuto). Ningún incremento será superior a la tensión nominal del cable. Se debe registrar el valor estable al final de cada intervalo.
- Una vez alcanzado el nivel de voltaje de prueba permitido, se deberá seguir tomando las lecturas de corriente de fuga durante los 15 minutos posteriores (en cable apantallado) y durante 5 minutos (en cable sin pantalla) en intervalos de 1 minuto.
- Concluido el punto anterior se deberá disminuir el voltaje aplicado hasta llegar a un valor cercano a los 0 voltios. A continuación se debe abrir el pulsador (OFF) de alto voltaje en la consola de mando, para luego proceder a descargar a tierra la fase probada con la pértiga de descarga (con resistencia). Cuando llegue a valores menores a 20 voltios se utiliza la descarga directa a tierra.

Quando nuevos cables se empalman en los cables existentes, la DC de alto potencial de ensayo se realizará en el nuevo cable antes del empalme, de acuerdo con el procedimiento detallado. Si los resultados de las pruebas están aprobados para el nuevo cable y el empalme se completa, una prueba de resistencia de aislamiento y una prueba de continuidad del *Shield* se realiza en la longitud del cable nuevo y existente incluyendo el empalme. Después de una satisfactoria prueba de aislamiento, una prueba de DC de alto potencial se realizará en el cable, utilizando un voltaje de prueba aceptable según el manual del fabricante y que no exceda del 60% del valor de prueba en fábrica .

Si, la corriente se mantiene constante cuando se aplica un voltaje mayor al de operación, se consideran aceptables las condiciones de aislamiento y por consiguiente la prueba.

Si, la corriente permanece constante pero aumenta antes de alcanzar el voltaje de operación la prueba es rechazada. Si, la corriente de fuga aumenta con una pendiente similar al incremento de voltaje, la prueba es rechazada.

Para un mejor diagnóstico se debe considerar el historial del cable sometido a prueba y a las recomendaciones del fabricante.

2.2 Criterio de aceptación

Si, la corriente disminuye progresivamente mientras el voltaje se incrementa, aun cuando se supera el voltaje de operación, se considera que la prueba de Hi-Pot es exitosa [2].

Si, la corriente se mantiene constante cuando se aplica un voltaje mayor al de operación, se consideran aceptables las condiciones de aislamiento y por consiguiente la prueba [2].

Si, la corriente permanece constante pero aumenta antes de alcanzar el voltaje de operación la prueba es rechazada. Si, la corriente de fuga aumenta con una pendiente similar al incremento de voltaje, la prueba es rechazada [2].

Para un mejor diagnóstico se debe considerar el historial del cable sometido a prueba y a las recomendaciones del fabricante.

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 Los ensayos hi-pot, o de alto potencial, son aplicados al aislamiento de los distintos equipos eléctricos con el fin de evaluar la condición de la aislación. Este tipo de pruebas son de carácter destructivo, vale decir, el aislamiento del equipo se considerará en buenas condiciones si no sufre ruptura con la aplicación de una prueba hi-pot. La metodología de este tipo de ensayos consiste en aplicar una tensión alterna o continua de magnitud superior al valor nominal de voltaje del equipo, en la aislación a tierra, durante un período de tiempo que, por lo general, varía entre 1 y 30 minutos, dependiendo del equipo eléctrico a probar.

Utilizando la Figura. 2 realizar la conexión para la prueba y de la misma manera utilizando el registro de prueba 05-AV-UTC-IELE (HV HIPOT CABLES) llene los valores de la prueba en la Tabla 2.

Tabla 2 lectura de la prueba de Hi - Pot

30Seg	1Min	2Min	3Min	4Min	5Min	6Min	7Min	8Min	9Min	10Min

3.2 Para este trabajo preparatorio llenar lo siguiente:

- ¿Qué es la prueba DC hi-pot?
- ¿Cuál es la función de cada componente de un cable eléctrico aislado?
- ¿Cuál es la clasificación de los cables eléctricos aislados según su tipo de aislamiento?

3.3 Al finalizar la prueba determinar lo siguiente:

- ¿Por qué se realiza esta prueba dentro de una jaula de faraday?
- Mediante un gráfico determine los componentes de un cable eléctrico aislado.
- ¿Por qué se realizan ensayos de sobretensión o HI-POT?
- ¿Cuáles son los factores que deterioran el aislamiento en un cable?

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- AC High Voltage Hipot Tester
- Multímetro digital Fluke 179





Materiales:

- Conductor AWG número 12 conectado a tierra
- Pértiga de puesta a tierra

5 REFERENCIAS

- [1] IEEE Industry Applications Society. Power Systems Engineering Committee., "IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants," p. 750, 1994.
- [2] ISO 707:2008, "International Standard IEC 60950-1," Norma IEC 2005, vol. 2003, p. 13, 2003.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	
	UTC-MT-CIYA-IELE-AVLAB-REG-06	

ELABORADO POR:	VERIFICADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Campuez Francisco Vega Mauro	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
ELECTRICIDAD	IELAV063	ALTO VOLTAJE

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	ALTO VOLTAJE Y PROTECCIONES	DURACIÓN (HORAS)
		ÁREA:	ALTO VOLTAJE
06	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Prueba de rigidez dieléctrica	

1	OBJETIVO
	Determinar que el aceite nuevo o instalado el cual es usado como medio de enfriamiento para los transformadores, tiene características aislantes requeridas para el correcto funcionamiento de los equipos.

2	INTRODUCCIÓN
	<p>En esta práctica se van a realizar ensayos de medida de rigidez dieléctrica en aceites para transformadores, para determinar las principales tensiones que soporte el aceite analizado. En primer lugar, se va a analizar y a realizar el ensayo de medida de rigidez dieléctrica. A continuación, se interpretará los resultados impresos emitidos por el medidor dieléctrico y finalmente se impartirá un criterio de aceptación o rechazo del elemento analizado.</p> <p>2.1 Parámetros generales</p> <p>La medición se realiza sobre una muestra de aceite tomada en un recipiente limpio y seco, utilizando un analizador de aceite dieléctrico automático con impresora incluida, en el cual se pueda seleccionar la norma de ensayo deseada. Los valores arrojados en esta prueba determinan el grado de sequedad del aceite aislante y sirven para tomar la decisión de energizar o volver a procesar el aceite aislante contenido en el transformador. Además, se realiza las pruebas físico – químicas del aceite, como complemento del análisis de aceite dieléctrico.</p> <p>Antes de elaborar los ensayos en el laboratorio se registran los datos de humedad y temperatura ambiente teniendo en cuenta los límites máximos para elaborar estas pruebas son de 30°C y 86% de la humedad dados por el campo meteorológico en la ciudad de Latacunga.</p>

Se tiene en cuenta que los valores medidos no son aceptables, se optará en el caso de ser posible se dará acciones correctivas a ejecutarse; de mantener los resultados no aceptables, el cable debe ser rechazado.

El divisor de voltaje cumple la función de reducir el voltaje de alta tensión a valores controlables por un voltímetro de baja tensión y de esta manera medir la tensión a la cual se produce el arco eléctrico.

La cuba de pruebas es utilizada para almacenar el aceite que será sometido al ensayo, está compuesta por un par de electrodos los cuales son encargados de ser aplicados el voltaje de alta tensión, el arco eléctrico se crea precisamente en el espacio que queda entre los electrodos. Las características o espaciado que se debe tener en cuenta de la copa de pruebas dependen también de la Norma que se utilice:

Para la Norma ASTM D-877 los electrodos deben ser planos y disponer de una separación de distancia de 2.5mm [1].

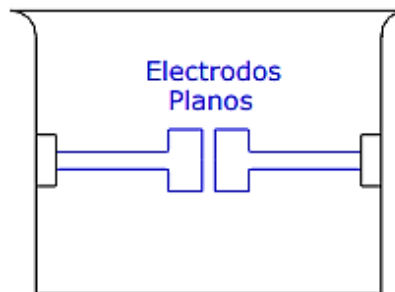


Figura. 1 Vista de los electrodos planos separados a una distancia de 1 mm.

En la norma ASTM D-1816 los electrodos son semiesféricos están separados a una distancia de 1 mm, en este caso, la copa también tiene un agitador que asegura la circulación lenta del aceite, lo que lo hace más representativo de las condiciones a las que trabaja el aceite [1].

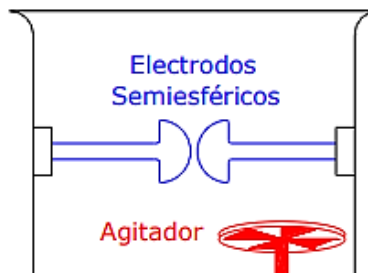


Figura. 2 Vista de los electrodos semiesféricos separados a una distancia de 1 mm.

Los pasos para llevar un proceso correcto de la prueba de rigidez dieléctrica del aceite se describen a continuación:

- La prueba se tiene que realizar con un probador de aceite certificado, para el caso del laboratorio de alto voltaje de la universidad se dispone y se usa el probador de marca Huazheng modelo HZJQ-X1.
- Se debe tomar una muestra de 3 a 4 litros de aceite, esto con el objetivo de conseguir una muestra libre de impurezas.
- Lavar la cuba y los electrodos con aceite aislante en buenas condiciones, evitando tocar con las manos el interior del recipiente. En lugares donde humedad relativa sea alta, debe colocarse ligeramente para evitar condensación.
- Seleccione la norma con el que se va a realizar la prueba. Coloque el selector de la velocidad de incremento de voltaje en la posición que corresponda (0.5 o 3 kV/segundo). Coloque los electrodos correspondientes al estándar seleccionado (planos o semiesféricos).

- Verificar que los electrodos seleccionados no presenten erosión causada por efecto del arco eléctrico. En el caso de detección de falla, los electrodos deben ser pulidos y reemplazados, calibrados la distancia entre los dos puntos.
- Llene el recipiente de prueba con el aceite que se va a probar, hasta un nivel superior a 20 mm por encima de la parte superior de los electrodos. Esto se evitará que suceda un arco en el aire.
- Una vez se deposite la muestra de aceite en la cuba, y comprobando que los electrodos se encuentren bien conectados y en un estado aceptable se coloca la cuba en el robador de aceites cerrando la tapa que a su vez se deberá cerrar la puerta de la Jaula de Faraday, esto con la finalidad de brindar la protección necesaria al personal que realiza las pruebas.
- Como el equipo labora de forma automática, se debe iniciar y esperar el tiempo pertinente para luego obtener la impresión de los resultados.
- La prueba dura 5 minutos aproximadamente, tiempo en el cual se mencionó anteriormente, el probador irá aumentando dependiendo a la norma su tensión en pasos de 0.5 kV o 3kV por segundo hasta que el aceite rompa y se muestre un pequeño arco eléctrico, una vez sucedido este factor procederá a esperar 1 minuto en el cual se disipa cualquier impureza creada por el arco eléctrico, y procede a realizar 4 veces más el ensayo y al final nos da 5 resultados con un promedio de las lecturas obtenidas.

La normativa IEEE Std C57.106 -2015 [2] menciona tablas importantes para cada tipo de aceite como se verá a continuación en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3, ya que nos muestra el límite de prueba para envío de aceite mineral nuevo recibido del proveedor. Para esta prueba se requiere que el comprador solicite al proveedor que proporcione un conjunto certificado de pruebas para el aceite que demuestre que el aceite, tal como se envió, cumplió o superó los requisitos de propiedad de la norma ASTM D3487[2].

Tabla 1 Límites de prueba para envíos de aceite mineral nuevo recibido del proveedor de aceite [1].

Prueba y método	Valor limite
Tensión de ruptura dieléctrica ASTMD1816 kV mínimo espacio de 1 mm espacio de 2 mm	20 35
Factor de disipación (factor de potencia) ASTM D924 25 °C, % máximo 100 °C, % máximo	0.05 0.30
Tensión interfacial ASTM D971 mN/m mínimo	40
Color ASTM D1500 Máximo de unidades ASTM	0.5
Examinación visual ASTM D1524	Brillante y claro
Número de neutralización (acidez) ASTM D974 Mg KOH/g máximo	0.3
Contenido de agua ASTM D1533 mg/kg máximo	35
Contenido de inhibidor de oxidación cuando se especifica ASTM D2668 Aceite tipo I, % máximo Aceite tipo II, % máximo	0.08 0.3
Azufre corrosivo ASTM D1275	No corrosivo
Densidad relativa (gravedad específica) ASTM D1298 15 °C máximo	0.91

La medida de partes por millón (*ppm*) en peso por peso. Desde el punto de vista del voltaje de ruptura dieléctrica, la humedad disuelta en los límites de aceite mineral dados podría ser excesiva a bajas temperaturas debido a niveles más altos de porcentaje de saturación.

Clasificación del aceite mineral

Clase I

En esta clase contiene aceites minerales que se encuentran en condiciones satisfactorias para el uso continuo, así como se muestra en la Tabla 2.

Clase II

Esta clase contiene minerales que no cumplen con los requisitos de voltaje de ruptura dieléctrica, así como se muestra en la Tabla 2.

Clase III

Esta clase contiene aceites minerales en malas condiciones que no cumplen con los límites de la Tabla 2.

Aceite mineral en servicio: límites sugeridos para uso continuo.

Los límites para prueba sugeridos por clase de voltaje para aceites minerales de Clase I en equipos eléctricos para permanecer en servicio continuo se dan en la Tabla 2, están destinados a proporcionar puntos de referencia para la evaluación y las pruebas continuas.

Tabla 2 Límites sugeridos para el uso continuo de aceite mineral en servicio [1].

Prueba y método	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 kV	> 69 ≤ 230kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816 kV mínimo espacio de 1 mm espacio de 2 mm	23 40	28 47	30 50
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D877 (nota: no para transformadores) Separación de 2,54 mm	25	25	25
Factor de disipación (factor de potencia) ASTM D924 25 °C, % máximo 100 °C, % máximo	0.5 5.0	0.5 5.0	0.5 5.0
Tensión interfacial ASTM D971 mN/m mínimo	25	30	32
Número de neutralización (acidez) ASTM D974 mg KOH/g máximo	0.20	0.15	0.10
Contenido de agua ASTM D1533 mg/kg máximo (<i>ppm</i>) ^b	35	25	20
Contenido de inhibidor de oxidación ASTM D2668	0,08% mínimo si está en aceite original		

La Tabla 2 se aplica sólo a los reactores y reguladores de voltaje, no a los transformadores.

Aceite mineral reacondicionado o recuperado límites sugeridos después del llenado, pero antes de energizar.

Los límites de prueba sugeridos en la Tabla 3 pueden usarse después de reacondicionar o recuperar aceite mineral en servicio en transformadores o reactores después del llenado, la Tabla 3 no está diseñado específicamente para equipos nuevos para esa prueba deberá utilizar la Tabla 1.

Tabla 3 Límites de prueba sugeridos para aceite mineral reacondicionado o recuperado en transformadores y reactores después del llenado pero antes de energizar [1].

Prueba y método	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 Kv	> 69 ≤ 230kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816 kV mínimo			
espacio de 1 mm	25	30	35
espacio de 2 mm	45	55	60
Tensión interfacial ASTM D971 mN/m mínimo	35	35	35
Color ASTM D1500 máximo	1.5	1.5	1.5
Examinación visual	Claro	Claro	Claro
Número de neutralización (acidez) ASTM D974 mg KOH/g máximo	0.5	0.5	0.5
Contenido de agua ASTM D1533 mg/kg máximo (ppm) ^b	35	20	15 (<10 deseable)

Criterios de aceptación

Criterios de aceptación

Los valores mínimos aceptables en este tipo de ensayos son de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEEE Std C57.12.1980 [1], y se dice que para aceites dieléctricos nuevos (Luego de llenado y antes de la energización) el valor mínimo es de 26 kV y para aceites dieléctricos (en servicio continuo) el valor mínimo será de 23 kV. De lo contrario, la muestra de aceite debe rechazarse.

Criterio de aceptación para límites sugeridos para el uso continuado de aceite mineral en servicio

Tabla 4 Límites sugeridos para uso continuado de aceite mineral en servicio [2].

Prueba y método	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 kV	>69 ≤230kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816kV mínimo			
1 mm separación	23	28	30
2 mm separación	40	47	50

Criterio de aceptación para Límites de prueba para aceite mineral nuevo recibido en equipos nuevos después del llenado, antes de la energización.

Tabla 5 Límites de prueba para aceite mineral nuevo recibido en equipos nuevos después del llenado, previo a la energización [2].

Prueba y método	Valor para la clase de voltaje		
	≤69 kV	>69 ≤230kV	≥230 kV
Tensión de ruptura dieléctrica ASTM D1816kV mínimo			
1 mm separación	25	30	35
2 mm separación	45	55	60

2.2 Desarrollo de la prueba

Realizada el 15 de Julio del 2022 a la 11:00 horas.

Temperatura 25 °C

Método de Prueba: Probador de aceite.

Transformador: 25 kVA. V=13800/ 7620 120/240, 1 Fase, 60 Hertz,

Imp. =5,25% a 85 °C a Tensión Nominal.

Elevación de temperatura =65 °C, Altitud=2000MSNM, Clase OA.

Ya que se cuenta con la muestra de aceite se vierte en la cuba del probador Figura. 3. Se baja la tapa del equipo para cerrar el circuito que forma una jaula de Faraday y se enciende el probador por medio del interruptor principal para que este comience a trabajar.

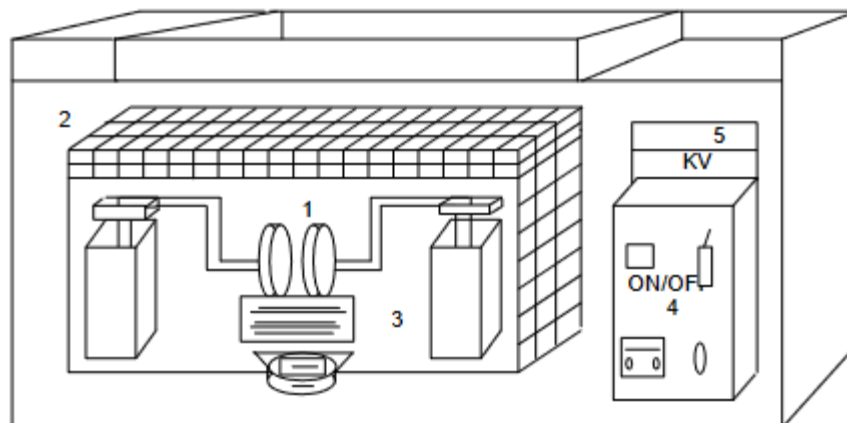


Figura. 3 Probador de aceite de transformador Huazheng HZJQ-X1 [3].

El equipo está compuesto por

- Electrodo de potencial
- Jaula de Faraday
- Cuba de aceite
- Interruptor
- Pantalla de lectura

El probador de aceites realiza la prueba de los 5 minutos de manera automática arrojando en la pantalla del equipo la tensión en la cual se presenta el arco eléctrico para las tres lecturas, arrojando al final un promedio de las mediciones tomadas; las cuales se pueden observar.

Tabla 6 Lecturas obtenidas en la prueba de ruptura dieléctrica del aceite.

Prueba	Tensión de ruptura (kV)
1	30,29
2	32,93
3	30,09
4	28,78
5	32,63
Promedio	30,944

Como se aprecia la prueba es muy sencilla ya que el encargado de realizarla solo tiene que tomar lecturas y reportarlas. Por otra parte, la muestra de aceite rompió su rigidez dieléctrica a una tensión de 30,944 kV indicio de que el aceite se encuentra en buenas condiciones y no contiene impurezas ni humedad en su estructura molecular.

3 TRABAJO PREPARATORIO

3.1 La prueba para el aceite se realiza aplicando progresivamente tensión a dos electrodos de bronce de geometría y separación según la norma que se esté aplicando sumergido en el aceite a probar. La tensión se aplica en una rampa específica para cada tipo de norma. La rigidez es útil para el indicio de la presencia de agua, impurezas, fibras celulósicas, y es importante como concepto de seguridad de operación actual del equipo.

3.2 Para este trabajo preparatorio llenar lo siguiente:

- a) ¿Qué es y cuál es la función del aceite dieléctrico?
- b) ¿Que determina la prueba de rigidez dieléctrica en el aceite?
- c) ¿Cuáles son las precauciones que se debe seguir para tomar una muestra de aceite dieléctrico?
- d) ¿Qué elementos constituyen el probador de rigidez dieléctrica del aceite?

3.3 Al finalizar la prueba determinar lo siguiente:

- a) ¿Cuál es el estado del aceite dieléctrico?
- b) ¿Que determina el voltaje de ruptura dieléctrica?
- c) ¿La prueba de rigidez dieléctrica por si sola da un diagnóstico definitivo del estado del aceite?

4 EQUIPOS Y SEGURIDAD

4.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

- Mandil, casco, gafas claras, guantes de nitrilo y calzado dieléctrico.

4.2 INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:

- Revise el manual de seguridad del equipo de medición.
- Absténgase de usar el teléfono celular.
- Tener en cuenta todas las instrucciones de seguridad, rótulos y notas de advertencias fijados en los módulos de trabajo.
- Evitar distracciones en el momento ejecutar la práctica.
- No usar aretes, anillos, pulseras y todo objeto que podría hacer contacto con elementos energizados.

4.3 EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos e Instrumentos:

- Probador de aceite de transformador Huazheng HZJQ-X1



Materiales:

- Toma de muestra de aceite

5 REFERENCIAS

- [1] A. C57.12.00, "liquid-immersed distribution , power ,general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers," 1980.
- [2] IEEE Std C57.106™-2002, *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment*, vol. 2002, no. April. 2003.
- [3] A. Hernández Acevedo, R. Ledesma Vilchis, and E. Perera Martínez, "Manual de Pruebas a Transformadores de Distribución," 2007.

8.8 ANEXO H

PRUEBAS EN TRANSFORMADORES

- 1) 02-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_TRANS_1F_6325199_3 kVA
- 2) 02-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_TRANS_1F_12551310_25KVA
- 3) 02-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_TRANS_1F_PADMOUNTED_2KVA
- 4) 02-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_TRANS_1F_TRANS_3024292_25KVA
- 5) 04-AV-UTC-IELE_REL_TRANSF_PADMOUNTED_2KVA

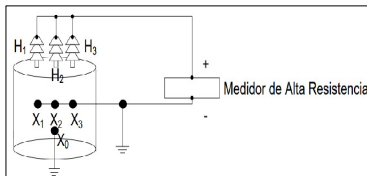
Datos del transformador					
Fabricante:	ECUATRAN S.A.	Potencia Nominal (kVA):	3	Peso (kg):	85
Grupo de conexión:	GRDY-Y	Impedancia (%):	3,7	Temperatura ambiente (°C):	19,7
Serie:	6325199	Voltaje primario (kV):	13200/7620	Presión(BAR):	1030
Clase de aislamiento:	A0	Voltaje secundario (kV):	120/240	Altura: (m.s.n.m.):	1770
Tipo:	DIST. 1F BAÑ. ACEITE	Corriente primario (A):	0,39	Humedad (%):	50
		Tensión de prueba (V):	5000	Tiempo de prueba (minutos):	10

Equipo de medición					
Marca:	Fluke	Serie:	51380001	Modelo:	1550C

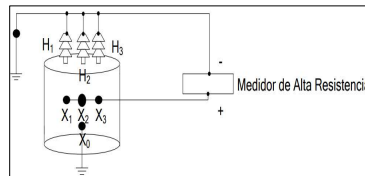
TIEMPO		Alta tensión vs Tierra		Baja tensión vs Tierra		Baja tensión vs Alta tensión	
		RESISTENCIA (GΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (GΩ)	RESISTENCIA (GΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (GΩ)	RESISTENCIA (GΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (GΩ)
0,15	SEG.	331,00	331,00	501,00	501,00	0,051	0,051
0,30	SEG.	378,00	378,00	560,00	560,00	0,054	0,054
1	MIN.	407,00	407,00	582,00	582,00	0,056	0,056
2	MIN.	445,00	445,00	633,00	633,00	0,058	0,058
3	MIN.	449,00	449,00	690,00	690,00	0,058	0,058
4	MIN.	432,00	432,00	730,00	730,00	0,059	0,059
5	MIN.	416,00	416,00	730,00	730,00	0,059	0,059
6	MIN.	417,00	417,00	737,00	737,00	0,059	0,059
7	MIN.	433,00	433,00	735,00	735,00	0,059	0,059
8	MIN.	458,00	458,00	733,00	733,00	0,059	0,059
9	MIN.	440,00	440,00	714,00	714,00	0,059	0,059
10	MIN.	448,00	448,00	724,00	724,00	0,058	0,058
	PI	1,101	1,101	PI	1,244	PI	1,034
	DAR	1,077	1,077	DAR	1,039	DAR	1,039

NOTA 1: Para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección según la normativa IEEE Std 400-2001, en función a la temperatura actual del transformador.

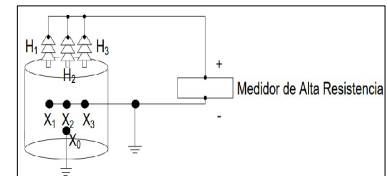
Conecciones:



Alta tensión vs Tierra

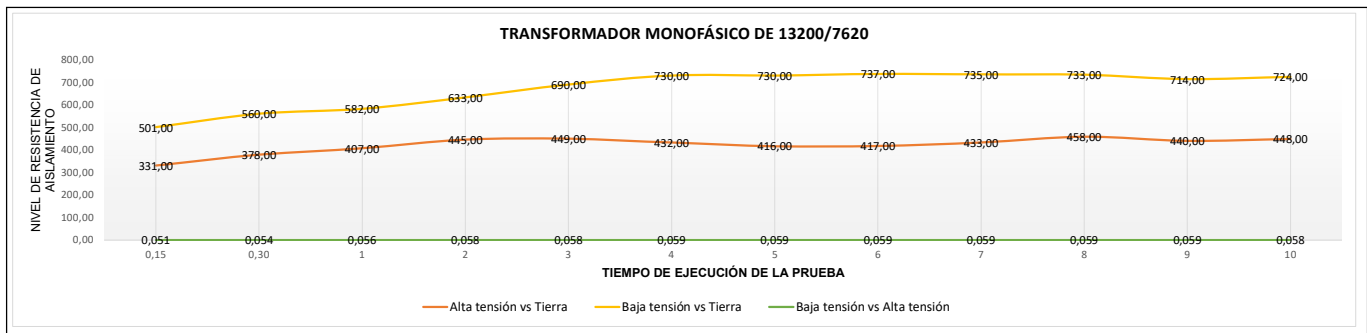


Baja tensión vs Tierra



Baja tensión vs Alta tensión

Gráfica de resistencia vs tiempo:



CRITERIOS DE ACEPTACION:

1. se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
2. Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
3. Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

1. El transformador monofásico puesto en prueba presenta resistencia de aislamiento en valores de giga ohmios los valores verían entre 331 a 448, estos valores no son
2. correspondientes al transformador porque debería arrojar valores en mega ohmio, la razón de estos valores puede ser porque el transformador puesto en prueba es usado
3. y tiene deterioro de aislamiento eléctrico, según cálculos de IP y el DAR de la prueba presenta valores de IP 1,244 como valor más grande entre sus tres configuraciones
4. y el DAR 1,039, aplicando los criterios de aceptación de la normativa IEEE Std 43 2013 ninguno de los dos parámetros cumple con lo establecido por lo que esta prueba
5. es rechazada y no pasa la prueba.

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	04 de mayo del 2022	04 de mayo del 2022		

ASIGNATURA:		Proyecto de titulación 2	CICLO:		Décimo
CARRERA:		Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:		Ciencias de la ingeniería y aplicadas
REG. No.:		02-AV-UTC-IELE-01	HORA:		15:50
PRÁCTICA:		Resistencia de aislamiento en transformadores	FECHA:		04 de mayo del 2022

Datos del transformador

Fabricante:	ECUATRAN S.A.	Potencia Nominal (kVA):	25	Peso (kg):	165
Grupo de conexión:	GRDY-Y	Impedancia (%):	3,4	Temperatura ambiente (°C):	21,9
Serie:	3024292	Voltaje primario (kV):	13200/22860	Presión(BAR):	1030
Clase de aislamiento:	OA	Voltaje secundario (kV):	Y-120/240	Altura: (m.s.n.m.):	2770
Tipo:	DIST. 1F BAÑ. ACEITE	Corriente primario (A):	3,28	Humedad (%):	53
		Tensión de prueba (V):	5000	Tiempo de prueba (minutos):	10

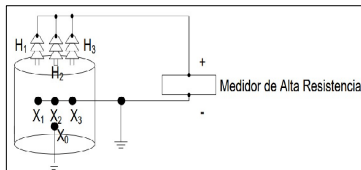
Equipo de medición

Marca:	Fluke	Serie:	51380001	Modelo:	1550C
--------	-------	--------	----------	---------	-------

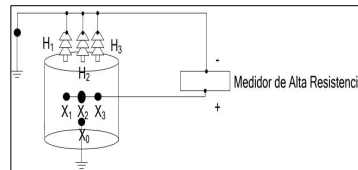
TIEMPO	Alta tensión vs Tierra		Baja tensión vs Tierra		Baja tensión vs Alta tensión		
	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	
0,15	SEG.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
0,30	SEG.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
1	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
2	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
3	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
4	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
5	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
6	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
7	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
8	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
9	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
10	MIN.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	PI	1,000	1,000	PI	1,000	PI	1,000
	DAR	1,000	1,000	DAR	1,000	DAR	1,000

NOTA 1: Para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección según la normativa IEEE Std 400-2001, en función a la temperatura actual del transformador.

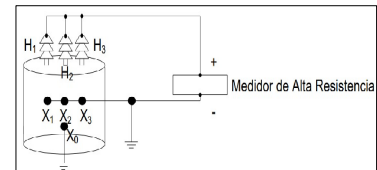
Conexiones:



Alta tensión vs Tierra

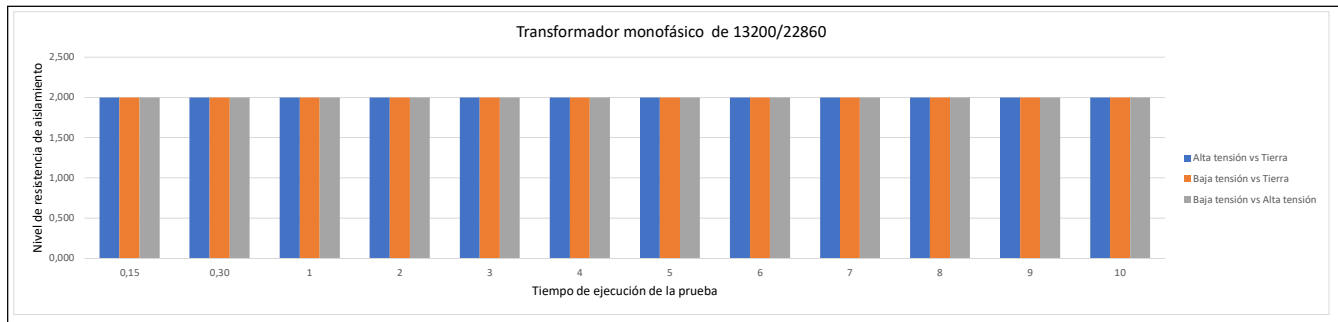


Baja tensión vs Tierra



Baja tensión vs Alta tensión

Gráfica de resistencia vs tiempo:



CRITERIOS DE ACEPTACION:

1. se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
2. Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
3. Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

1. El transformador monofásico puesto en prueba presenta resistencia de aislamiento superior al mega ohmio dando un valor constante de 2.000 Tera ohmios desde el inicio de la
2. prueba asta que finalice dicha ejecución, las razones de este resultado puede ser por qué el transformador que se adquiere en el laboratorio de CIYA es usado, por esa razón
3. presenta una resistencia de aislamiento no conforme a lo adecuado y presenta un IP de 1,000 y el DAR de 1,000 según cálculos realizados y utilizando los criterios de aceptación
4. de IP y DAR de la normativa std 43 2013 el transformador es rechazada.
- 5.

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	04 de mayo del 2022	04 de mayo del 2022		

REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE			
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA TRANSFORMADORES			
02-AV-UTC-IELE			
ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la ingeniería y aplicadas
REG. No.:	02-AV-UTC-IELE-03	HORA:	15:50:00
PRÁCTICA:	Resistencia de aislamiento en transformadores	FECHA:	04 de mayo del 2022



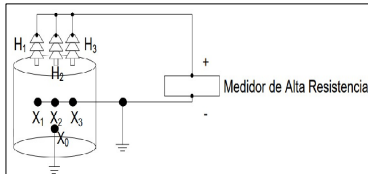
Datos del transformador					
Fabricante:	ECUATRAN S.A.	Potencia Nominal (kVA):	25	Peso (kg):	276
Grupo de conexión:	Ynd1	Impedancia (%):	1,3	Temperatura ambiente (°C):	20,6
Serie:	12551310	Voltaje primario (kV):	13200/7620	Presión(BAR):	1030
Clase de aislamiento:	ONAN	Voltaje secundario (kV):	120/240	Altura: (m.s.n.m.):	1770
Tipo:	DIST. 1F SUMER. ACEITE	Corriente primario (A):	3,28	Humedad (%):	51
		Tensión de prueba (V):	5000	Tiempo de prueba (minutos):	10

Equipo de medición					
Marca:	Fluke	Serie:	51380001	Modelo:	1550C

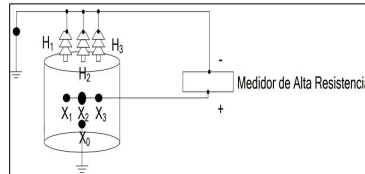
TIEMPO		Alta tensión vs Tierra		Baja tensión vs Tierra		Baja tensión vs Alta tensión	
		RESISTENCIA (TΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (TΩ)	RESISTENCIA (TΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (TΩ)	RESISTENCIA (TΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (TΩ)
0,15	SEG.	0,00209	0,00209	0,00209	0,00209	0,000	0,000
0,30	SEG.	0,00210	0,00210	0,00209	0,00209	0,000	0,000
1	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
2	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
3	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
4	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
5	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
6	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
7	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
8	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
9	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
10	MIN.	0,00210	0,00210	0,00210	0,00210	0,000	0,000
	PI	1,000	1,000	PI	1,000	PI	1,000
	DAR	1,000	1,000	DAR	1,005	DAR	1,000

NOTA 1: Para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección según la normativa IEEE Std 400-2001, en función a la temperatura actual del transformador.

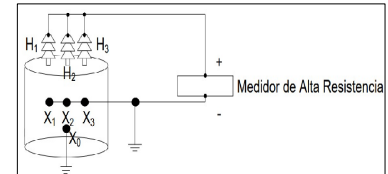
Conecciones:



Alta tensión vs Tierra

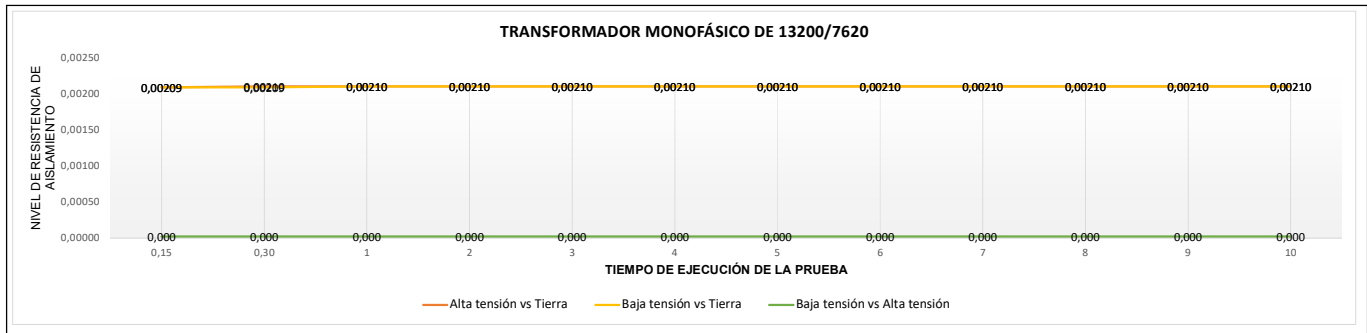


Baja tensión vs Tierra



Baja tensión vs Alta tensión

Gráfica de resistencia vs tiempo:



CRITERIOS DE ACEPTACION:

1. se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
2. Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
3. Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

1. El transformador monofásico puesto en prueba presenta resistencia de aislamiento en valores de tera ohmios los valores son constantes de 0,00210 desde el inicio de la prueba
2. asta finalizar la ejecución, estos valores muestra para las dos configuraciones del transformador y para la tercera configuración tenemos valores de cero de la misma forma en
3. en tera ohmio, la razón de estos valores puede ser porque el transformador puesto en prueba es usado y tiene deterioro de aislamiento eléctrico, según cálculos de IP y el DAR
4. de la prueba presenta valores de IP 1,000 como valor más grande entre sus tres configuraciones y el DAR 1,005, aplicando los criterios de aceptación de la normativa IEEE Std 43 2013
5. entonces ninguno de los dos parámetros cumple con lo establecido por lo que esta prueba es rechazada y no pasa la prueba.

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Viniño	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	04 de mayo del 2022	04 de mayo del 2022		

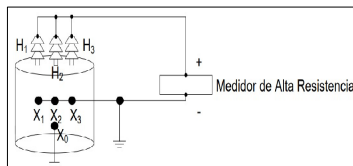
Datos del transformador					
Fabricante:	R.V.R Transformadores	Potencia Nominal (kVA):	2	Peso (kg):	276
Grupo de conexión:	Ynd1	Impedancia (%):	4,5	Temperatura ambiente (°C):	20,6
Serie:	18033097-1	Voltaje primario (kV):	2,2	Presión(BAR):	1030
Clase de aislamiento:	A0	Voltaje secundario (kV):	4,8	Altura: (m.s.n.m.):	2770
Tipo:	Pad Mounted 3F	Corriente primario (A):	5,25	Humedad (%):	51
		Tensión de prueba (V):	500	Tiempo de prueba (minutos):	10

Equipo de medición					
Marca:	Fluke	Serie:	51380001	Modelo:	1550C

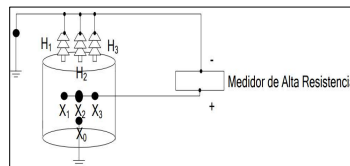
TIEMPO		Alta tensión vs Tierra		Baja tensión vs Tierra		Baja tensión vs Alta tensión	
		RESISTENCIA (MΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (MΩ)	RESISTENCIA (MΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (MΩ)	RESISTENCIA (MΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (MΩ)
0,15	SEG.	1,030	1,030	2,120	2,120	2,670	2,670
0,30	SEG.	1,050	1,050	2,230	2,230	3,270	3,270
1	MIN.	1,630	1,630	4,120	4,120	5,030	5,030
2	MIN.	2,160	2,160	6,320	6,320	6,660	6,660
3	MIN.	2,190	2,190	7,110	7,110	6,820	6,820
4	MIN.	2,180	2,180	7,320	7,320	6,990	6,990
5	MIN.	2,230	2,230	7,720	7,720	7,140	7,140
6	MIN.	2,230	2,230	7,890	7,890	7,370	7,370
7	MIN.	2,240	2,240	8,240	8,240	7,870	7,870
8	MIN.	2,260	2,260	8,540	8,540	8,370	8,370
9	MIN.	2,260	2,260	8,700	8,700	9,030	9,030
10	MIN.	3,390	3,390	8,910	8,910	10,430	10,430
	PI	2,080	2,080	PI	2,163	PI	2,074
	DAR	1,552	1,552	DAR	1,848	DAR	1,538

NOTA 1: Para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección según la normativa IEEE Std 400-2001, en función a la temperatura actual del transformador.

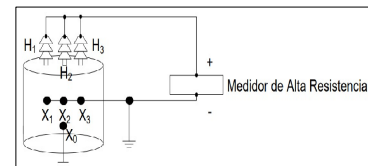
Conexiones:



Alta tensión vs Tierra

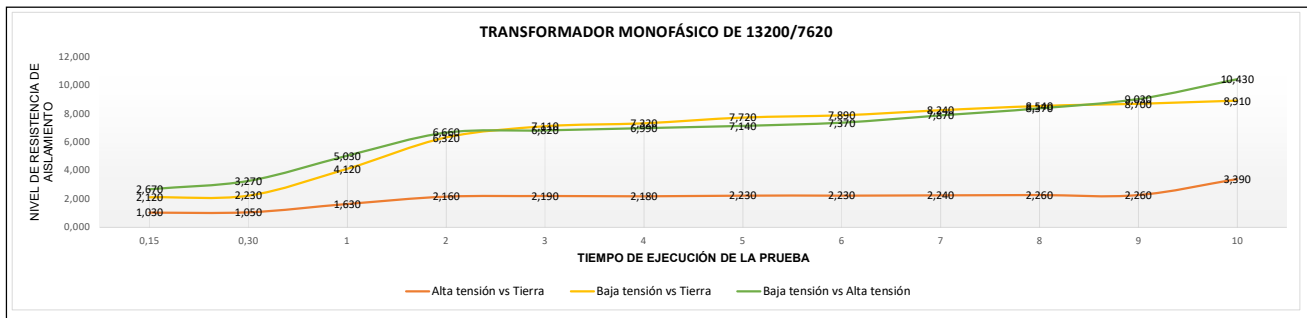


Baja tensión vs Tierra



Baja tensión vs Alta tensión

Gráfica de resistencia vs tiempo:





CRITERIOS DE ACEPTACION:

- se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
- Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
- Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

- El transformador trifásico de tipo Pad Mounted puesto en prueba presenta resistencia de aislamiento en valores de mega ohmios, la lectura de la prueba nos especifica
- valores en el intervalo de megado desde el inicio de la prueba asta finalizar la ejecución, presenta valores coherentes y similares a los datos de la hoja de especificaciones
- del transformador, según los cálculos realizados presenta un IP (mayor a 2.0) y el DAR (mayor a 1.5), y aplicando los criterios de aceptación de la normativa
- IEEE Std 43 2013 se considera que la prueba de resistencia de aislamiento está en perfectas condiciones y la prueba es aceptada y pasa.
-

	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	04 de mayo del 2022	04 de mayo del 2022		



REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN EN TRANSFORMADORES



ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la ingeniería y aplicadas
REG. No.:	04-AV-UTC-IELE-01	HORA:	13:23:00
PRÁCTICA:	Relación de transformación	FECHA:	01 de julio del 2022

Datos del transformador

Fabricante:	R.V.R	Potencia Nominal (kVA):	2	Temperatura del aceite (°C):	20,6
Grupo de conexión:	Ynd1	Impedancia (%):	4,5	Peso (kg):	276
Identificación del transformador:	Trifasico	Voltaje primario (kV):	2,2	Temperatura ambiente (°C):	20,6
Serie:	18033097-1	Voltaje secundario (kV):	4,8	Presión (BAR):	1030
Clase de Aislamiento:	A0	Corriente primario (A):	5,25	Altura: (m.s.n.m.):	2770
Tipo:	Pad Mounted	Corriente secundario (A):	2,41	Humedad (%):	51

EQUIPO DE MEDICIÓN

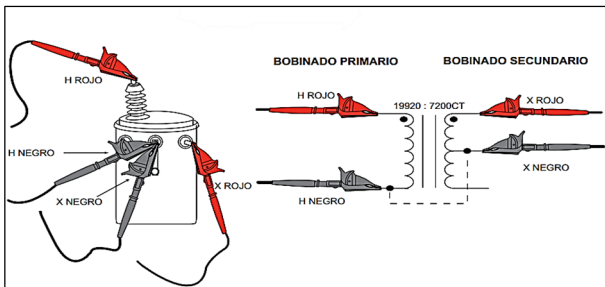
Marca:	CHAUVIN	Serie:	DTR 8510	Modelo:	AEMC DTR 8510
---------------	---------	---------------	----------	----------------	---------------

TAP	MEDIDO			CALCULADO RELACIÓN	% ERROR		
	FASE H1	FASE H2	FASE H3		FASE H1	FASE H2	FASE H3
1/A	1,321	1,321	1,323	1,325	-0,301	-0,377	-0,15
2/B	1,267	1,229	1,286	1,289	0,155	0,077	-0,23
3/C	1,257	1,261	1,262	1,256	-0,079	0,398	0,47
4/D	1,225	1,295	1,23	1,228	-0,244	0,244	0,16
5/E	1,197	1,991	1,195	1,198	-0,083	0,091	-0,25

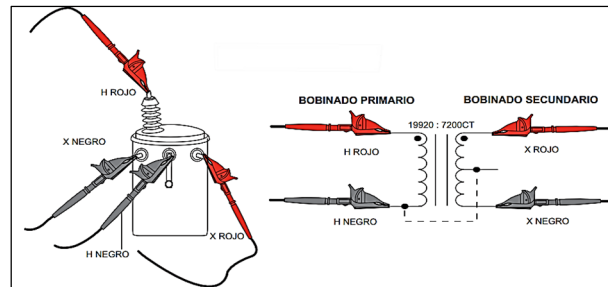
CRITERIO DE ACEPTACIÓN:

1. En pruebas de relación de transformación en todos los transformadores sin carga y con voltaje nominal impreso en un devanado del transformador, todos los demás voltajes nominales deben ser correctos dentro del 0,5 % de las marcas de la placa de identificación según la norma ANSI/IEEE-C57.12.00-1980.

Conexiones:



Conexión de relación 2,767:1 en transformador monofásico.



Conexión de relación 1,383:1

Observaciones y notas correctivas:

1. En la prueba de relación de transformación se puede identificar que el transformador de tipo Pad Mpounted presenta una relación
2. de transformación aceptable, ya que en ninguna fase y para cada paso del tap no existe diferencias mayores a lo establecido la normativa
3. ANSI/IEEE-C57.12.00-1980, que es del 0,5% entonces la prueba es aceptada y pasa.
4. Por otra parte, se comprueba que no hay devanados con polaridades encontradas, derivaciones sin continuidad o en cortocircuito.
- 5.

REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE: Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:			
FECHA: 01 de julio del 2022	01 de julio del 2022		

8.9 ANEXO I

PRUEBAS EN CABLES

- 1) 01-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_CABLE_1F_15kV
- 2) 01-AV-UTC-IELE_RESIS_AISL_CABLES_3F_0.6-1kV



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

REGISTRO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS - LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO PARA CABLES DE MEDIA TENSIÓN

01-AV-UTC-IELE

ASIGNATURA:	Proyecto de titulación 2	CICLO:	Décimo
CARRERA:	Ingeniería Eléctrica	FACULTAD:	Ciencias de la ingeniería y aplicadas
REG. No.:	01-AV-UTC-IELE-01	HORA:	16:07:00
PRÁCTICA:	Resistencia de aislamiento en cable XLP	FECHA:	06 de junio del 2022



Ingeniería
Eléctrica

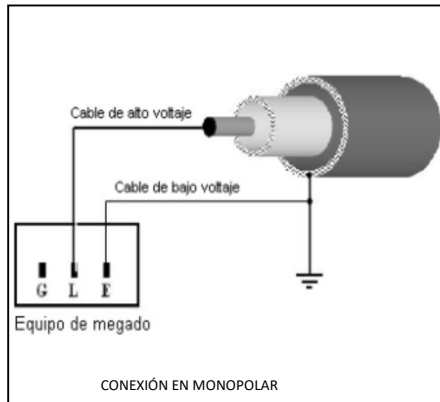
Datos del Conductor

Fabricante:	CONELSA	Tensión Nominal (kV):	15	Peso kg/km:	759
Calibre:	2 AWG/Kcmil	Tipo de aislamiento (%):	Polietileno reticulado XLPE	Temperatura ambiente (°C):	22
Diámetro:	6,81	Espesor:	4,45 mm	presión(hPa):	1020,8
Número de conductores:	uno	Material de encaquetado:	PVC - SR	Altura: (m.s.n.m.):	2770
Longitud del cable:	15 m	Voltaje de prueba:	5000	Humedad (%):	60

NOTA 1: para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección K, dado en la norma IEEE Std 2013.

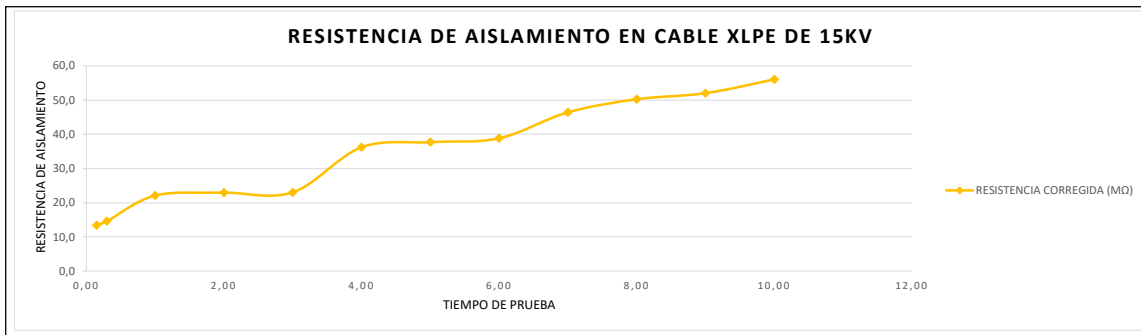
EQUIPO DE MEDICIÓN

Marca:	FLUKE	Serie:	51380001	Modelo:	1550C
--------	-------	--------	----------	---------	-------



TIEMPO	FASE A	
	RESISTENCIA (MΩ)	RESISTENCIA CORREGIDA (MΩ)
0,15 SEG.	13,4	13,4
0,30 SEG.	14,6	14,6
1 MIN.	22,1	22,1
2 MIN.	22,9	22,9
3 MIN.	23,0	23,0
4 MIN.	36,2	36,2
5 MIN.	37,7	37,7
6 MIN.	38,8	38,8
7 MIN.	46,4	46,4
8 MIN.	50,2	50,2
9 MIN.	52,0	52,0
10 MIN.	56,0	56,0
PI	2,53	2,53
DAR	1,51	1,51

Gráfica de Resistencia vs Tiempo



Criterios de aceptación:

1. Se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
2. Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
3. Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

1. La prueba en el conductor XLPE de 15 kV nos identificó valores de lectura correspondientes a maga ohmios, los valores varía desde 13 a 50 (MΩ)
2. y al calcular IP, DAR nos presenta un IP(mayor a 2,0), DAR (mayor a 1,5) entonces utilizando la normativa IEEE Std 400 - 2001, nos muestra que la
3. prueba presenta criterios de aceptación correctamente, por lo tanto, lapasa la prueba y es aceptada.
4. _____
5. _____

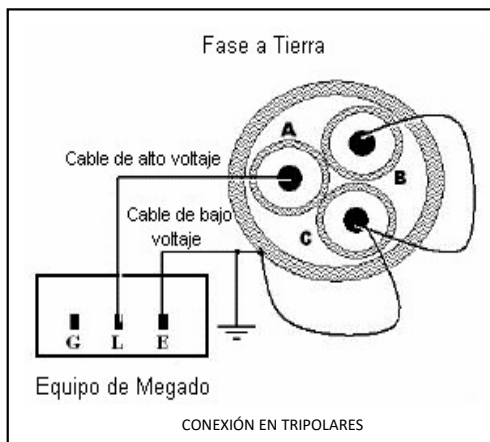
	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	06 de junio del 2022	06 de junio del 2022		

ASIGNATURA:		Proyecto de titulación 2		CICLO:		Décimo	
CARRERA:		Ingeniería Eléctrica		FACULTAD:		Ciencias de la ingeniería y aplicadas	
REG. No.:		01-AV-UTC-IELE-01		HORA:		12:07:00	
PRÁCTICA:		Resistencia de aislamiento en cable XLP		FECHA:		16 de junio del 2022	

Datos del Conductor					
Fabricante:	ELECTROCABLES C.A	Tensión Nominal (kV):	0,6 kV	Peso (kg):	518,93
Calibre:	1/0	Tipo de aislamiento (%):	Presamblado XLPE	Temperatura ambiente (°C):	19,5
Diámetro:	33,62	Espesor:	1,14	presión(hPa):	1020,8
Número de conductores:	7	Material de encaquetado:	polietileno XLPE	Altura: (m.s.n.m.):	2770
Longitud del cable:	15 m	Voltaje de prueba:	500	Humedad (%):	54

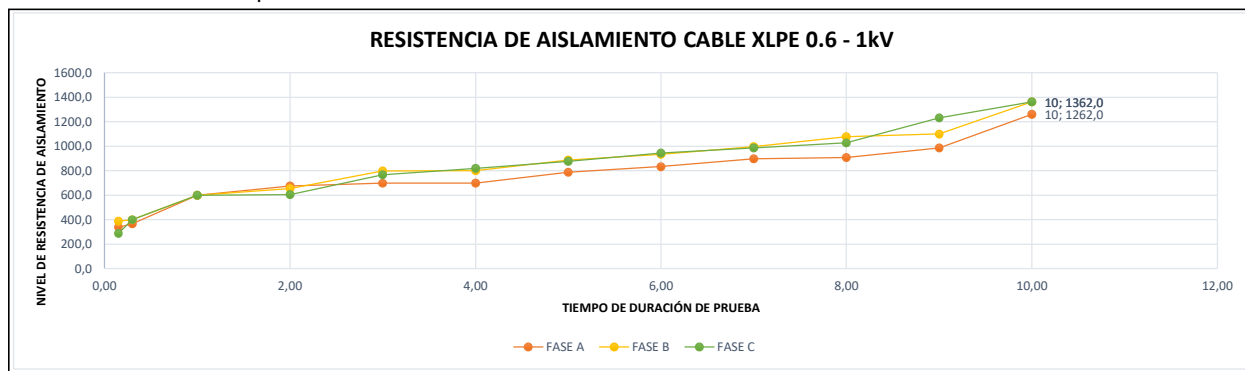
NOTA 1: para el cálculo de la resistencia corregida, se debe multiplicar por el factor de corrección K, dado en la norma IEEE Std 2013.

EQUIPO DE MEDICIÓN					
Marca:	FLUKE	Serie:	51380001	Modelo:	1550C



TIEMPO	FASE A		FASE B		FASE C	
	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA	RESISTENCIA A	RESISTENCIA A CORREGIDA
0,15 SEG.	338,4	338,4	387,4	387,4	287,4	287,4
0,30 SEG.	367,3	367,3	400,3	400,3	300,3	400,0
1 MIN.	599,7	599,7	599,7	599,7	599,7	599,9
2 MIN.	675,0	675,0	655,0	655,0	605,0	605,0
3 MIN.	697,5	697,5	797,5	797,5	767,5	767,5
4 MIN.	700,0	700,0	800,0	800,0	820,0	820,0
5 MIN.	787,4	787,4	887,4	887,4	877,4	877,4
6 MIN.	834,2	834,2	934,2	934,2	944,2	944,2
7 MIN.	897,0	897,0	997,0	997,0	987,0	987,0
8 MIN.	907,3	907,3	1077,3	1077,3	1027,3	1027,3
9 MIN.	987,2	987,2	1100,2	1100,2	1231,2	1231,2
10 MIN.	1262,0	1262,0	1362,0	1362,0	1362,0	1362,0
PI	2,10	2,10	PI	2,27	PI	2,27
DAR	1,63	1,63	DAR	1,50	DAR	1,50

Gráfica de Resistencia vs Tiempo





Criterios de aceptación:

- Se debe comparar el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos con los valores mínimos recomendados según la normativa IEEE Std 400-2001
- Por el valor del Índice de Polarización (PI) Se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido a los 10 minutos y el valor medido en 1 minuto, se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2.0
- Por el valor del Índice de Absorción. El índice de absorción se define como el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento medido en 1 minuto y el valor medido en 30 segundos, se recomienda que el índice de absorción sea mayor a 1.5

Observaciones y notas correctivas:

- La prueba de resistencia de aislamiento en cables XLPE de 0.6 - 15 kV presenta valores en mega ohmios y el intervalo está entre 330 hasta 1362, para los
- tres cables por lo que nos permite identificar la lectura, con lo cual se calcula el IP y el DAR obteniendo resultados del IP (mayor a 2,0) y el DAR (mayor a 1,5),
- con los criterios de aceptación de la normativa IEEE Std 400 - 2001 identifica que los conductores puestos en prueba presentan niveles de aislamiento en
- perfecto estado y se reconoce que el cable pasa la prueba y es aceptado.
-








	REALIZADO POR:	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
NOMBRE:	Vega Chitupanta Mauro Vinicio	Campuez Gualacata Francisco Javier	Carlos Maldonado	Xavier Proaño Maldonado
FIRMA:				
FECHA:	16 de junio del 2022	16 de junio del 2022		

8.10 ANEXO J. INFORME ANTI PLAGIO

Document Information

Analyzed document	TESIS_CAMPUEZ_VEGA.docx (D143339163)
Submitted	2022-08-29 04:37:00
Submitted by	
Submitter email	wilian.guaman8956@utc.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	wilian.guaman8956.utc@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / MEMORIA-TECNICA_SE-138-13.8.docx Document MEMORIA-TECNICA_SE-138-13.8.docx (D110780459) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com		1
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis_Repotenciacion_Patio_de_Construccion_de_redes.UTC.docx Document Tesis_Repotenciacion_Patio_de_Construccion_de_redes.UTC.docx (D113715043) Submitted by: gabriel.pesantes3889@utc.edu.ec Receiver: gabriel.pesantes3889.utc@analysis.arkund.com		8
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Memoria Técnica.pdf Document Memoria Técnica.pdf (D110780731) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com		1
SA	MORA_QUITUIZACA_AVANCE_TESIS_(28-12-2020).pdf Document MORA_QUITUIZACA_AVANCE_TESIS_(28-12-2020).pdf (D90958226)		1
SA	ESTUDIO Y SIMULACIÓN EN MATLAB DE FALLAS POR APANTALLAMIENTO Y FLAMEO INVERSO EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE 23 0KV Y 500KV SALAZAR CRISTOPHER.docx Document ESTUDIO Y SIMULACIÓN EN MATLAB DE FALLAS POR APANTALLAMIENTO Y FLAMEO INVERSO EN LINEAS DE TRANSMISIÓN DE 23 0KV Y 500KV SALAZAR CRISTOPHER.docx (D40158825)		4
SA	PATTY ANDRADE - LIBRO TOMO 1 - OCT. 21 - 2015.docx Document PATTY ANDRADE - LIBRO TOMO 1 - OCT. 21 - 2015.docx (D16263529)		3
SA	9336 rojas_cd.pdf Document 9336 rojas_cd.pdf (D35647889)		2