

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES



**“DISEÑO DE UN GENERADOR DE IMPULSOS DE ALTA TENSIÓN DE
HASTA 20KV PARA ENSAYO, DIAGNOSTICO Y DETECCIÓN DE
FALLAS EN CONDUCTORES ELÉCTRICOS SUBTERRANEOS DE BT Y
MT”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CUYA ESPINOZA, RICARDO ANTONIO

Villa El Salvador
2017

DEDICATORIA

Para mi familia que me apoyó en todos
los proyectos de emprendimiento realizados

Agradecimiento

Agradezco a mi profesor y asesor; por su apoyo en el desarrollo de este proyecto y a mis compañeros de la carrera por acompañar este desafío. A la Universidad por darnos la oportunidad de ser mejores y apostar por nosotros

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	2
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Situación y contexto de la problemática actual	3
1.2 Justificación de la Investigación.....	4
1.3 Delimitación del Proyecto	5
1.3.1 Delimitación Teórica.....	5
1.3.2 Delimitación Espacial:	5
1.3.3 Delimitación Temporal.....	6
1.4 Formulación del Problema	6
1.4.1 Problema General	6
1.4.2 Problemas Específicos.....	6
1.5 Objetivos generales y específicos.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la Investigación	8
2.2 Equipos en el Mercado	11
2.3 Bases teóricas	14
2.3.1 Fallas en cables	14
2.3.1.1 Definición.....	14
2.3.1.2 Tipos de fallas	14
2.3.2 Pruebas de alto potencial.....	17
2.3.2.1 Definición.....	17
2.3.2.2 Clasificación	17
2.3.2.3 Tipos	17

2.3.2.4	Características.....	18
2.3.3	Generadores de Impulsos	18
2.3.3.1	Definición.....	18
2.3.3.2	Tipos	18
2.3.3.3	Características.....	18
2.3.3.4	Usos	18
2.3.4	Forma de onda de tensión completa normalizada 1.2/50us.....	19
2.3.5	Electrodos	21
2.3.6	Generador de Impulsos de Erwin Otto Marx.....	22
2.3.7	Principios básicos de un generador de Impulsos.....	22
2.3.8	Generador de impulsos multietapas de Marx	24
2.3.9	Características Nominales del Generador de Impulso Multietapas.....	24
2.3.10	Métodos de Medición de la Tensión de Impulso.....	26
2.3.11	Estándar de Medición de la Tensión de Impulso.....	26
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA.....		28
3.1	Diseño del generador de impulsos.....	28
3.1.1	Descripción de la fuente de alimentación	28
3.1.2	Diagrama esquemático total de la propuesta.....	54
3.2	Limitaciones	57
3.3	Simulaciones	57
3.3.1	Consideraciones	57
3.3.2	Simulación: Impulso de Tensión Positivo	60
3.4	Resumen y consideraciones.....	64
3.4.1	Resumen de las características de la propuesta de diseño	64
3.4.2	Costo de componentes para la fuente de alimentación	65
3.5	Costo de componentes para el Generador de Impulso	66
3.6	Costo del estudio	67

3.7 Costo total del proyecto	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS	72

Listado de Figuras

Figura 2.01 Representación de una falla	14
Figura 2.02 Circuito equivalente de una falla.....	15
Figura 2.03 Alternativas de fallas.....	15
Figura 2.04 Falla de baja resistencia	16
Figura 2.05 Falla de alta resistencia	17
Figura 2.6 Onda de tensión tipo rayo normalizada 1.2/50 us.....	19
Figura 3.6 Generador de impulso tipo Marx de cuatro etapas	42
Figura 3.7 Tipos de electrodos.....	49
Figura 3.8 Esferas Espinterométricas.	53
Figura 3.9 Generador de Impulso con línea de puesta a tierra.	54
Figura 4.3 Circuito esquemático en SPICE incluyendo la simplificación de las capacitancias para la simulación.....	60
Figura 4.4 Gráfica de Salida en la simulación para tensión de alimentación negativa.	61

Índice de tablas

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de diodos rectificadores.	30
Tabla 3.2 Diámetros de las esferas	51
Tabla 4.1 Resumen.....	64
Tabla 4.2 Costes para la Fuente de Alimentación.	65
Tabla 4.3 Costes para Generador de Impulso.	66

INTRODUCCIÓN

En la actualidad una gran cantidad de sistemas de distribución de energía eléctrica a nivel mundial operan mediante cables subterráneos. Incluso la transmisión de energía en alta tensión por medio de cables ha incrementado en los últimos años. Esto se debe a que los cables subterráneos tienen mucha menor propensión que las líneas aéreas a sufrir fallas ocasionadas por efectos ambientales tales como nieve, hielo, lluvia, descargas atmosféricas, contaminación, etc. Adicionalmente, la reducción del uso de líneas aéreas y postes mejora la visibilidad y el aspecto de las ciudades.

Un problema de particular importancia en la operación de cables subterráneos es la localización oportuna y precisa de fallas, de tal forma que pueda reducirse el tiempo fuera de operación y el área de excavación para realizar las reparaciones correspondientes, así como evitar riesgos de seguridad en el caso de redes subterráneas ubicadas en zonas urbanas.

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema indicando la importancia del desarrollo del proyecto.

En el Capítulo II, se describe la base teórica como normas y consideraciones para la realización del proyecto.

En el Capítulo III, se presenta el desarrollo del proyecto incluyendo gráficos y cálculos respectivos.

RESUMEN

El presente trabajo pretende servir como partida o base teórica y contar con criterios prácticos para conocer como es un ensayo, diagnóstico y detección de fallas de conductores eléctricos de tipo no destructivo usando generadores de impulsos de alta tensión (de tipo Marx en este caso), sustentando su metodología de aplicación en los diferentes métodos modernos que acompañado con equipos adecuados; como el reflectómetros de alta energía, geófonos micro-procesados y seguidores de trazas subterráneas , permitirá la localización de fallas de manera precisa.

Para ello se desarrolla una propuesta de diseño de un equipo denominado Generador de Impulso de Alta Tensión de cuatro etapas, para obtener ondas de tipo rayo y tipo maniobra de baja energía (1.8 Julios) hasta 20 KV. Se realizó un análisis de los componentes del generador. La propuesta de diseño que se mostrará, va acorde con la Teoría de E. Marx sobre las descargas eléctricas en alta tensión. Estos tipos de ensayos generalmente están caracterizados como no destructivos.

Se describe en el presente trabajo, el análisis y la simulación del circuito eléctrico que modela al Generador de Impulso, identificando sus más importantes características y los más relevantes criterios de diseño. Para la simulación y modelamiento del circuito eléctrico se empleó el software académico llamado Altium Designer 14 y ICAP/4 spice.

También se describe la Fuente de Alimentación que usará el Generador de Impulso, con sus principales características, se incluye además, la descripción de una propuesta de seguridad o protección tanto para la Fuente como para el Generador, y se hace mención sobre aspectos de seguridad tanto para la persona que realice o supervise un ensayo de este tipo, como para el lugar o ambiente donde se lleve a cabo el mismo.

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación y contexto de la problemática actual

Básicamente la problemática se produce en los cables subterráneos instalados de Baja Tensión y Media Tensión, en esta última generalmente se tiene metrados elevados y por lo tanto descubrir una falla con la mayor precisión es importante.

El entorno global de la problemática en estudio, abarca lo concerniente a los estándares internacionales para las pruebas de alto potencial y hacia donde se orienta actualmente la investigación, las mejoras de los equipos y sus formas de aplicación. Estas son establecidas y publicadas por instituciones acreditadas mundialmente, las cuales muestran metodologías y procedimientos de ensayo para todos los tipos de materiales, en Baja Tensión y Media tensión. Durante el presente tema de estudio, las instituciones a la que se harán referencia a lo largo de esta tesis son la: American Society for Testing of Materials (A.S.T.M.) y la International Electrotechnical Commission (I.E.C.).

Actualmente la tendencia de la investigación en las pruebas de alto potencial se enfoca en optimizar y buscar mejoras de los equipos que realizan estas pruebas, apuntando a obtener una mayor eficiencia y vida útil de los equipos. En este caso el equipo se usara para los distintos métodos de localización y de fallas en conductores eléctricos subterráneos de baja y media tensión.

Se están llevando a cabo muchas investigaciones y estudios sobre este tema. Al no tener disponibles sustitutos totalmente indestructibles en forma inmediata, los fabricantes están esforzándose por minimizar los efectos destructivos de los métodos que emplean altas tensiones, procurando desarrollar nuevas y mejores técnicas seguras en su reemplazo. La localización de fallas es una parte esencial del mantenimiento de cables. Sin los métodos modernos de detección, les sería imposible a las empresas distribuidoras de energía, ofrecer un servicio confiable a la industria, y al público en general.

En el Perú ya se vienen usando estas técnicas modernas de detección de fallas con pruebas de alto potencia, que si bien es cierto cumplen con el objetivo de localizar la falla en conductores eléctricos subterráneos de media y baja tensión, pero están reducen la vida útil del mismo, debido al uso de equipos usados en el ensayo de alto potencia no cumplen con las normas internacionales mencionados anteriormente.

1.2 Justificación de la Investigación

Con la realización de esta tesina, se busca tener un punto de partida o base teórica y contar con criterios prácticos para conocer como es un ensayo, diagnóstico y detección de fallas de conductores eléctricos de tipo no destructivo usando generadores de impulsos de alta tensión (de tipo Marx en este caso), sustentando su metodología de aplicación en los diferentes métodos modernos

que acompañado con equipos adecuados; como el reflectómetro de alta energía, geófonos, micro-procesados y seguidores de trazas subterráneas, permitirá la localización de fallas de manera precisa.

1.3 Delimitación del Proyecto

Este trabajo se limita a la propuesta de diseño de un equipo denominado generador de impulsos de Alta Tensión para la detección de fallas más comunes en cables subterráneos de Baja tensión y Media tensión como son las fallas de baja y alta resistencia el cual es necesario complementar con otros equipos de acuerdo a los distintos métodos de localización de fallas a usar.

1.3.1 Delimitación Teórica

La propuesta de diseño que se mostrará, se limita y va acorde con la Teoría de E. Marx sobre las descargas eléctricas en alta tensión. Estos tipos de ensayos generalmente están caracterizados como destructivos, pues la muestra de prueba del material es sometido a ruptura dieléctrica mediante la aplicación de un alto nivel de voltaje de tipo transitorio.

1.3.2 Delimitación Espacial:

El proyecto de diseño se desarrolla en el departamento de Lima, provincia de Lima y distrito de Villa el Salvador.

1.3.3 Delimitación Temporal

El diseño del proyecto se realizó en el periodo comprendido entre el 15 de Diciembre del 2016 hasta 6 de marzo del 2017.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General

¿Será viable realizar el diseño de un generador de impulsos de Alta tensión de hasta 20 kV para ser utilizado en la detección de fallas en cables de BT y MT?

1.4.2 Problemas Específicos

¿Es posible obtener ondas de impulsos en un ensayo y justificar la elección de la técnica escogida?

1.5 Objetivos generales y específicos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un Generador de Impulsos de Alta Tensión de hasta 20 kV para ensayo, diagnóstico y Detección de Fallas en Conductores Eléctricos Subterráneos de BT y MT

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la posibilidad de generar ondas de impulsos tipo Marx, incrementando la tensión por bucles, utilizando las herramientas tecnológicas como lo es el software Altium Designer reflejando la tensión de 20 kV y demostrando así que los datos del diseño obtenido son ciertos.
- Comparar las técnicas que se utilizan en la actualidad para la localización de fallas en cables subterráneos de media y alta tensión, con la técnica propuesta en nuestro diseño utilizando un impulso de alta tensión y otras tecnologías.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios relacionados con el diseño de generador de impulsos de alta tensión y técnicas para diagnosticar fallas en cables de potencia.

Santiago Gómez Arango, (2013), Este trabajo consistió en el diseño y construcción de generador de impulsos de alta tensión de una etapa reconfigurable y portátil, para obtener ondas tipo rayo y tipo maniobra de baja energía (1,8 Julios) hasta 12 kV (20kVmax). Se realizó un análisis de los componentes del generador considerando tanto los materiales de construcción como la disposición espacial de sus elementos. Cada componente fue ensamblado con materiales y elementos comerciales de bajo costo.

José Gabriel Aguirre Andrade, (2013), El presente trabajo tiene como objetivo proponer un modelo de aplicación de la Reflectometría en el dominio del tiempo por acoplamiento inductivo, ya que en la actualidad nos encontramos con la dificultad de conectar el reflectómetro a una línea de transmisión energizada, por estar compuesto de una fuente de baja potencia, originando la quema del equipo si no se cuenta con un filtro de aislamiento; esta técnica se basa en suministrar a la línea de transmisión en prueba, un pulso que se va a propagar a lo largo de la misma, con una determinada velocidad que dependerá de sus características, cuando el pulso llega al cambio de impedancia, se producirá un traslado de la onda identificando la distancia aproximada de la discontinuidad, cuando se realiza la comparación de las ondas incidentes y reflejadas. Dado que el método de medición en el modelo propuesto es indirecto la dificultad de conexión no existiría.

Esta investigación ayudaría a las administradoras de electricidad en el proceso de detección de irregularidades Eléctricas o pérdidas no técnicas a nivel de instalaciones subterráneas, como también a la localización de puntos caliente producidos por empalmes no adecuados, entre otros; el tipo de investigación es proyectiva porque permitirá solucionar necesidades y proponer alternativa de cambio, con un diseño mixto. Las simulaciones pueden ser utilizadas para definir los criterios necesarios para poder identificar en la práctica los diferentes tipos de falla que pueden aparecer en un cable de potencia. Mediante simulaciones se pueden representar una gran variedad de fallas que de otra manera sería difícil poder ver en campo.

Camargo Piña Daniel, (2011), En este trabajo se describe el método de la reflectometría en el dominio del tiempo como una técnica para la localización de fallas en cables de potencia. Mediante simulaciones en un paquete computacional para el análisis de transitorios electromagnéticos se muestran diferentes casos de fallas en cables de potencia.

Las simulaciones pueden ser utilizadas para definir los criterios necesarios para poder identificar en la práctica los diferentes tipos de falla que pueden aparecer en

un cable de potencia. Mediante simulaciones se pueden representar una gran variedad de fallas que de otra manera sería difícil poder ver en campo.

Fernando García Diego (1999), En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un generador de impulso de alto voltaje tipo rayo de 10 Kv desarrollado por la Universidad del Valle. El generador se concibió con fines académicos y se construyó para que permitiera en un fácil entendimiento del principio de funcionamiento de un generador multietapas tipo Marx. Los requerimientos para este generador incluyeron portabilidad, modularidad y que sus elementos de construcción fueran comerciales y de bajo costo. El diseño y la construcción incluyeron las etapas de potencia. La fuente de alimentación, el sistema de control de ignición y un divisor capacitivo amortiguado para la medición de ondas generadas. Para el diseño se empleó la herramienta OrCAD y la validación de su funcionamiento se realizó mediante pruebas en el laboratorio de alta tensión de la Universidad del Valle.

Carmona Francisco, Jorge E. Jiménez, Vásquez Francisco (2001). Este trabajo consiste en El ensayo de impulso es uno de los más importantes de cuantos se realizan a los transformadores. Consiste en aplicar una descarga eléctrica de alta tensión y de corta duración sobre cada una de los bornes del transformador. La forma de la onda depende de los elementos pasivos del circuito y de la carga inicial de unos condensadores. Con el fin de que el régimen transitorio cumpla con las exigencias de la normativa, hay que ir probando valores de los distintos parámetros hasta obtener los adecuados. El proceso de cambio de parámetros,

ensayo-error, es tedioso de realizar en la práctica porque los elementos son de un tamaño físico considerable y se ubican en una torre de varios metros de altura, debiendo cambiarse de forma manual. Se propone en este documento una metodología que permite calcular los parámetros manipulables del circuito haciendo uso de herramientas informáticas.

2.2 Equipos en el Mercado

Actualmente contamos en el mercado internacional equipos generadores de impulsado usados para el diagnóstico, localización y detección de fallas de conductores eléctricos, a continuación, algunos de ellos:

Generador de Impulsos, con filtro incorporado para Reflexión de Arco	
Marca	High voltaje Inc.
Modelo	CDS – 2010UF
Procedencia	Estados Unidos
Descripción del equipo	Sistema ultra portable, integrado en un solo módulo de comando y medición. Incluye un probador de aislación y un generador de impulsos de hasta 20 kv, con tres escalones intermedios de energía constante, para localizar en forma precisa, todo tipo de fallas en cables de BT-MT. Incorpora acopladores inductivos para captura de señales de reflectometría, y es compatible con todos los métodos reflectométricos



Fuente: Inducor. (2017). *Inducor*. Obtenido de Inducor:
<https://www.inducor.com.ar/catalogos/cds-2010.pdf>

	existentes. Cable de AT del tipo ultra-flexible blindado y puesta a tierra automática resistiva.
Especificaciones técnicas	
Tensiones de salida	0 – 5 kVDC 0 - 10 kVDC 0 - 20 kVDC
Energía constante de impulso	1000 Joules @ 5 kVDC 1000 Joules @ 10 kVDC 1000 Joules @ 20 kVDC
Corriente máxima	400 mA @ 5 Kvdc 200 mA @ 10 kVDC 100 mA @ 20 kVDC
Tiempos de impulsos	6 – 10 segundos
Otros	Filtro de reflexión de arco & Impulso de corriente. Tensión de salida continuamente ajustable. Bloqueo de salida de AT. Instrumento analógico de tensión. Instrumento analógico de corriente. Alimentación: - 230 V, 50/60 Hz.

Generador de Impulsos de BT/MT, con filtro incorporado para reflexión de Arco.	
Marca	High voltaje Inc.
Modelo	CDS - 3632UF
Procedencia	Estados Unidos

<p>Descripción del equipo</p>  <p>Fuente: Inducor. (2017). <i>Inducor</i>. Obtenido de Inducor: https://www.inducor.com.ar/catalogos/cds-3632.pdf</p>	<p>Sistema portable, integrado en un solo módulo de comando y medición. Incluye un probador de aislamiento y un generador de impulsos de hasta 36 kv, con tres escalones intermedios de energía constante, para localizar en forma precisa, todo tipo de fallas en cables de BTMT. Incorpora acopladores inductivos para captura de señales de reflectometría, y es compatible con todos los métodos reflectométricos existentes. Cable de AT del tipo ultra-flexible blindado y puesta a tierra automática resistiva.</p>
<p>Especificaciones técnicas</p>	
<p>Tensiones de salida</p>	<p>0 - 9 kVDC 0 - 18 kVDC 0 - 36 kVDC</p>
<p>Energía constante de impulso</p>	<p>3200 Joules @ 9 kVDC 3200 Joules @ 18 kVDC 3200 Joules @ 36 kVDC</p>
<p>Corriente máxima</p>	<p>280 mA @ 9 kVDC 140 mA @ 18 kVDC 70 mA @ 36 kVDC</p>
<p>Tiempos de impulsos</p>	<p>6 – 10 segundos</p>
<p>Otros</p>	<p>Tensión de salida continuamente ajustable. Bloqueo de salida de HV. Instrumento analógico de tensión. Instrumento analógico de</p>

	<p>corriente.</p> <p>Filtro de Reflexión de Arco & Impulso de Corriente.</p> <p>Alimentación: - 230 V, 50/60 Hz.</p>
--	--

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Fallas en cables

2.3.1.1 Definición

Se le denomina falla a la condición física que ocasiona la avería de un cable o que no permite que el mismo retenga o mantenga la tensión de servicio requerida. Existen diferentes tipos de fallas: alta resistencia, baja resistencia, fase a fase, fase a tierra, etc.

Una falla también puede verse como una resistencia no lineal en paralelo con un explosor (*spark-grap*), como se muestra en la figura 2.01.

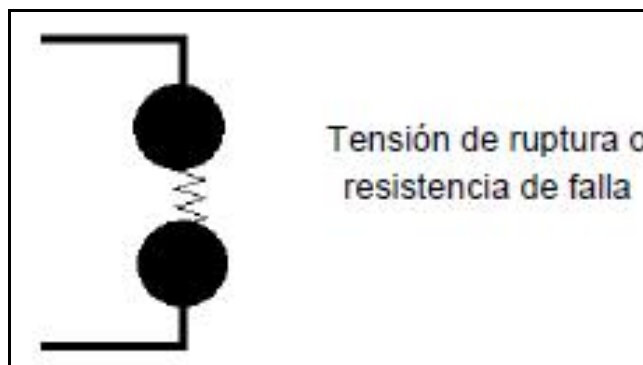


Figura 2.01 Representación de una falla

Fuente: Propia, realizado en Paint

2.3.1.2 Tipos de fallas

Como ya se mencionó existen diversos tipos de fallas en cables, pero en el caso de cables de potencia los más probables son dos tipos de fallas: las fallas de alta y baja resistencia.

- Descripción básica general:

La figura 2.02 muestra el circuito equivalente a una falla, formado por la propia resistencia de falla (R_f) en paralelo con un descargador (V_d).

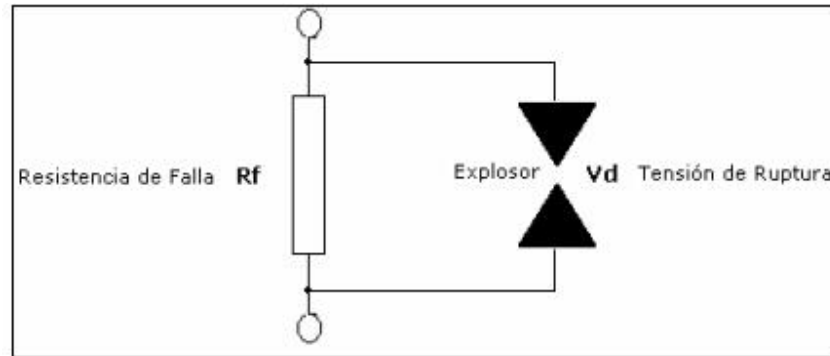


Figura 2.02 Circuito equivalente de una falla

Fuente: Inducor. (2017). *Inducor*. Obtenido de Inducor: https://www.inducor.com.ar/articlostecnicos/localizacion_de_fallas_parte1.pdf

Tanto la resistencia de falla R_f , como el descargador V_d varían mucho según sea el tipo de falla que se trate, siendo generalmente: $R_f > 1\text{ k}$ y $V_d > 1\text{ kV}$.

Generalmente este tipo de fallas, se presenta en derivación entre el conductor y la pantalla, pero es posible también, cualquier otra combinación, como se muestra en el punto siguiente.

Si bien la falla en derivación es la que más comúnmente se presenta, la falla serie es también una de las posibilidades. La figura 2.03 muestra ambas alternativas:

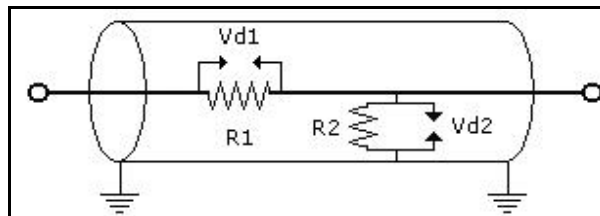


Figura 2.03 Alternativas de fallas

Fuente: Inducor. (2017). *Inducor*. Obtenido de Inducor: https://www.inducor.com.ar/articlostecnicos/localizacion_de_fallas_parte1.pdf

Siendo:

V_{d1} y V_{d2} : tensión de descarga.

R_1 y R_2 : resistencia de continuidad y aislación a tierra.

➤ Falla de baja resistencia:

La falla de baja resistencia se presenta cuando el aislamiento del cable está dañado (la resistencia de falla a tierra es mucho menor que la resistencia de aislamiento), y existen altos niveles de corriente de fuga. Este tipo de fallas se produce como consecuencia de falla entre fases, fase/neutro y fase/tierra, como se muestra en la figura 2.04.

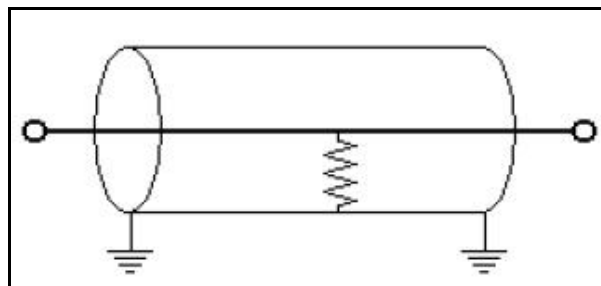


Figura 2.04 Falla de baja resistencia

Fuente: Inducor. (2017). *Inducor*. Obtenido de Inducor: https://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/localizacion_de_fallas_parte1.pdf

➤ Falla de alta resistencia:

También llama falla de cable cortado, esta falla está caracterizada por la falla de continuidad en los extremos del conductor, como se muestra en la Figura. 2.05. En otras palabras, se dice que es de alta resistencia debido a que necesita una mayor tensión de operación para poder romper la resistencia y poder retomar continuidad con el otro extremo del conductor.

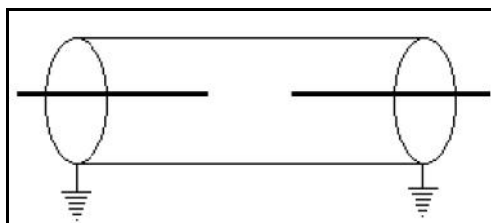


Figura 2.05 Falla de alta resistencia

Fuente: Inducor. (2017). *Inducor*. Obtenido de Inducor: https://www.inducor.com.ar/articulos-tecnicos/localizacion_de_fallas_parte1.pdf

2.3.2 Pruebas de alto potencial

2.3.2.1 Definición

Rigurosamente no existe una definición única de la prueba de alto potencial (voltaje), pero su definición es situacional (lo que se observa in situ) pero básicamente una prueba de alto potencial, es una prueba de fatiga eléctrica llevada a un voltaje dos o más veces el voltaje nominal, a veces se le conoce como prueba de resistencia o prueba de comprobación.

2.3.2.2 Clasificación

Se pueden clasificar según el tipo de corriente eléctrica que usa, y también de acuerdo a la forma de aplicación del voltaje.

- Según tipo de corriente a usar:
 - Prueba de Alto Potencial - Corriente Continua (C.C.)
 - Prueba de Alto Potencial - Corriente Alterna (C.A.)

- De acuerdo a la forma de aplicación del voltaje
 - Estable o fijo
 - Transitorio o Impulsivo

2.3.2.3 Tipos

Según sea el efecto que tiene en el objeto a probar pueden ser de dos tipos:

- Destructiva.
- No Destructiva

2.3.2.4 **Características**

- Aplican sobre voltajes mayores al nominal.
- Alteran las propiedades del objeto a probar.
- En algunos casos simulan condiciones extremas o críticas.
- Consumen buenas cantidades de energía y potencia.

2.3.3 **Generadores de Impulsos**

2.3.3.1 **Definición**

Es un instrumento o equipo de laboratorio capaz de aplicar a un objeto de prueba, una forma de onda transitoria de polaridad positiva o negativa, con un alto nivel de magnitud de la misma.

2.3.3.2 **Tipos**

Dependiendo del parámetro eléctrico a aplicarse, pueden ser dos tipos:

- Generador de Impulso de Voltaje o Tensión.
- Generador de Impulso de Corriente o Intensidad.

2.3.3.3 **Características**

- Son equipos que consumen buenas cantidades de potencia y energía.
- Dependiendo de la capacidad que tengan, estos pueden ser medianos o grandes en tamaño.
- Sus componentes funcionales son algo costosos

2.3.3.4 **Usos**

- Pruebas de Alto Potencial.
- Pruebas de Aislamiento.
- Detección de fallas de cables soterrados.

- Mediciones de Rigidez Dieléctrica.
- Evaluación del desempeño de equipos eléctricos.
- Ensayo de materiales

2.3.4 Forma de onda de tensión completa normalizada 1.2/50us

La forma de onda de tensión de impulso completa normalizada 1.2/50 μs que establecen las normas ASTM D-3426 [2] - IEC 60243-3 [11], para ensayos que reproduzcan la caída de un rayo, con lo que se prueban transformadores, materiales aislantes, etc. se muestra a continuación en la figura 2.2.

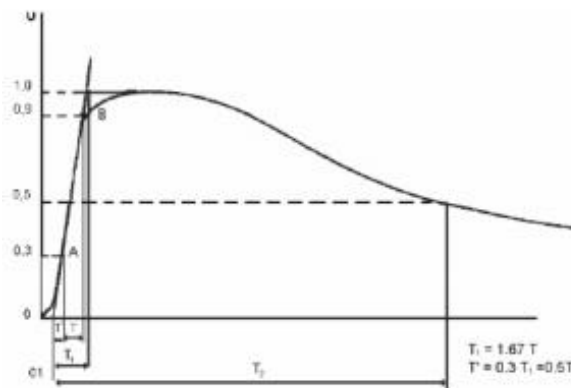


Figura 2.6 Onda de tensión tipo rayo normalizada 1.2/50 us

Fuente: Diego García. (2009). *udistrital*. Obtenido de Inducor: <https://www.revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6262/7784>

Dicha onda puede ser representada matemáticamente en forma aproximada como la resta de dos funciones exponenciales:

$$U_{(t)} = U_0 (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (2.1)$$

Para el gráfico anterior, las normas ASTM D-3426 - IEC 60243-3, establecen las siguientes definiciones:

- a) Onda de Tensión de Impulso Completa: Tensión transitoria aperiódica que crece rápidamente hasta un valor máximo, decreciendo después más lentamente hasta cero.
- b) Valor de cresta (de una onda de tensión de impulso), U_p : Valor máximo de la tensión.
- c) Valor de cresta convencional (de una onda de tensión de impulso), U_1 : Valor obtenido a partir del registro de una tensión de impulso sobre la que pueden existir oscilaciones de alta frecuencia o descargas de amplitud limitada.
- d) Origen convencional (de una onda de tensión de impulso), O_1 : Punto de intersección O_1 de la recta de tensión nula con la recta de unión de los puntos correspondientes a 0.3 veces y 0.9 veces el valor de cresta convencional sobre el frente de una onda de tensión de impulso.
- e) Duración convencional del frente (de una onda de tensión de impulso), t_1 : Duración igual a 1.67 veces el intervalo de tiempo t_f que separa los instantes en que la tensión es igual a 0.3 veces y 0.9 veces el valor de cresta.
- f) Duración convencional hasta el valor medio t_2 : Intervalo de tiempo t_2 comprendido entre el origen convencional O_1 y el instante, situado sobre la cola, en que la tensión cae a la mitad del valor de cresta.

Asimismo las normas ASTM D-3426 - IEC 60243-3, indican lo siguiente:

- i. Las tensiones transitorias provocadas por el rayo pueden ser de polaridad positiva o negativa. En un campo simétrico creado entre electrodos idénticos, la polaridad no tiene ningún efecto sobre la rigidez dieléctrica. No obstante, con electrodos diferentes, puede existir un efecto de la polaridad pronunciado. Cuando se utilizan electrodos asimétricos para ensayar materiales, para los que el

experimentador no tiene experiencia ni conocimiento con anterioridad, se recomienda que los ensayos comparativos se efectúen en los dos sentidos de la polaridad.

- ii. Esta forma de onda normalizada es una onda de 1.2/50 μs , que alcanza la tensión de cresta en alrededor de 1.2 μs y decrece hasta en un 50% del valor de cresta en alrededor de 50 μs desde el instante correspondiente a la cresta de la onda.
- iii. El generador debe permitir la adaptación de la forma de onda aplicada a la muestra de ensayo, a fin de obtener una duración convencional del frente t_1 de 1.2 $\mu\text{s} \pm 0.36 \mu\text{s}$, y una duración convencional hasta el valor medio t_2 de 50 $\mu\text{s} \pm 10 \mu\text{s}$ (véase figura 2.2)

2.3.5 Electrodo

Los electrodos son a través de los cuales se lleva a cabo la descarga (normalmente son 2 electrodos) y entre los cuales estará el espécimen de prueba, rodeados del medio circundante que en este caso es el aire. Igualmente indicado por las normas [1] [10], podemos encontrar tablas que muestran los tipos de electrodos típicos que se usan para este tipo de pruebas, su descripción, su forma física y el tipo de espécimen a probarse que está asociado al tipo de electrodo mencionado. El campo eléctrico que se forma entre estos electrodos y que recibe el espécimen de prueba, se verá afectado por la forma física de los electrodos y por el medio que los rodea, ya que el campo eléctrico se puede presentar de forma homogénea o no homogénea. Por lo tanto debe escogerse adecuadamente la forma y el material de los electrodos a usar, de acuerdo con las especificaciones indicadas la norma ASTM D-149 – IEC 60243-1.

2.3.6 Generador de Impulsos de Erwin Otto Marx



Fuente: Alchetron. (2017). *Alchetron*. Obtenido de Inducor: <https://www.alchetron.com/Erwin-Otto-Marx-1295521-W>

Erwin Otto Marx, fue un Ingeniero Electricista conocido por su “Generador de Marx” que genera impulsos de alta tensión en forma de bucles.

2.3.7 Principios básicos de un generador de Impulsos

El circuito equivalente básico de un generador de ondas de impulso de tensión se muestra en la figura X. En el circuito mostrado se han despreciado la inductancia serie equivalente del Generador, así como la inductancia y resistencia del objeto bajo prueba. El principio de funcionamiento es el siguiente: La capacitancia C_s , es cargada previamente a una tensión V_o , posteriormente, al accionar el GAP (Esferas espinterométricas), esta transfiere su carga a la capacitancia C_b , a través de R_d , para ello se requiere que $R_d \ll R_e$. Esta parte determina el tiempo de frente o crecimiento de la onda, una vez C_b se ha cargado, las dos capacitancias se descargan a través de R_e generando la fase de descarga o cola de la onda de impulso.

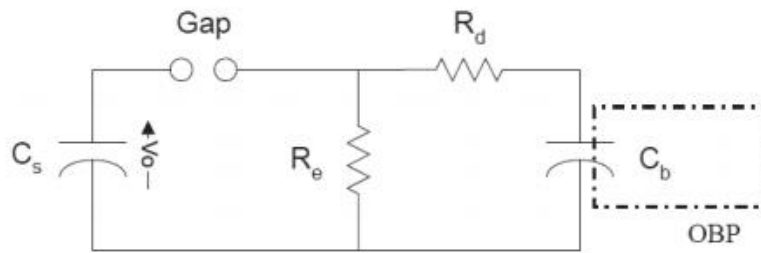


Figura 2.06 Generador de Impulsos básico

Fuente: Diego García. (2009). *udistrital*. Obtenido de Inducor: <https://www.revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6262/7784>

Los dos procesos de carga y descarga del C_b corresponden a dos ondas exponenciales superpuestas que dan origen a la onda de impulso. Los tiempos de frente y de cola de la onda de impulso se logra mediante la manipulación de las constantes del tipo de las señales exponenciales de carga y descarga, es decir que una vez se defina C_s y C_b , los tiempos de la señal de impulso se obtienen de la correcta selección de las resistencias de frente y de cola R_d y R_e respectivamente.

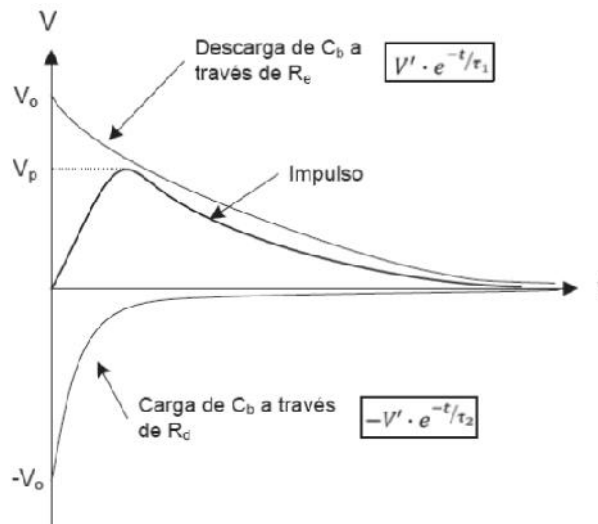


Figura 2.07 carga y descarga del condensador C_b

Fuente: Diego García. (2009). *udistrital*. Obtenido de Inducor: <https://www.revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6262/7784>

2.3.8 Generador de impulsos multietapas de Marx

Desde el punto de vista económico, el empleo de un generador de una sola etapa, es válido para tensiones que no superen los kilovoltios de diseño de la etapa cuatro. Además, para obtener un rango amplio de tensiones de prueba es necesario disponer de un generador de impulsos de varias etapas que cumpla con la siguiente característica: que mediante la conexión en serie de dichas etapas se produzca la tensión de prueba deseado al momento de la descarga.

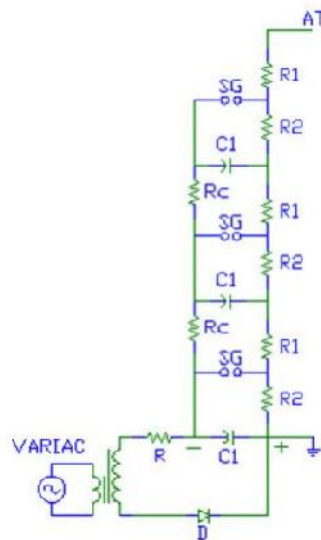


Figura 2.08 Generador de impulsos multietapas

Fuente: Inducor. (2017). Inducor. Obtenido de Inducor: <https://www.inducor.com.ar/articulos tecnicos/marco-referencial-generadores-de-impulsos.pdf>

El generador consta de n etapas en donde los condensadores $C1$ de cada una de éstas son cargados en paralelo, a la tensión DC deseada, a través de la resistencia de frente $R1$, de cola $R2$ y de carga Rc (ésta última de un valor mucho más grande que las demás (alrededor de las decenas de Kohm))

2.3.9 Características Nominales del Generador de Impulso Multietapas

Como todas las máquinas o aparatos, el generador de impulsos es definido por varios datos que representan sus características eléctricas, a saber:

- ***Tensión Nominal***

La tensión nominal de salida de un generador de n etapas es el voltaje máximo de carga V_o multiplicado por el número de etapas, esto es: $V_x = n \cdot V_o$. En la realidad el voltaje máximo del impulso que puede ser aplicado al objeto de prueba es menor que $n \cdot V_o$ ya que el rendimiento en la generación de la tensión de impulso es menor al 100%. Típicamente, el voltaje de carga V_o está en el rango de 50kV a 400kV mientras que los generadores son construidos para impulsos de voltaje que pueden llegar hasta los 5MV.

- ***Capacitancia Nominal***

La capacitancia nominal de un generador de impulsos es la capacitancia por etapa C_1 dividida entre el número de etapas n . Generalmente, C_1/n es mínimo cinco veces la capacitancia del objeto de prueba o de lo contrario la eficiencia de voltaje será muy baja. Usualmente, la capacitancia por etapa se diseña para valores que estén por el orden de los 200nF a 2000nF.

- ***Energía Nominal***

La energía nominal de un generador está dada por la máxima energía que éste puede almacenar; e se puede calcular empleando la expresión $W = 1/2 \cdot n \cdot C_1 \cdot (V_o)^2$, el rango típico está entre los 10 kJ y 100 kJ.

- ***Número de Etapas***

La selección del número de etapas depende de varios factores. Para formas de onda con oscilaciones apreciables, es necesario reducir la inductancia L del circuito y esto se logra limitando las etapas y por consiguiente, el número de resistencias de frente y cola se mantienen en la mínima cantidad posible. El otro factor es el voltaje de carga V_o , que indica la cantidad de capacitores de carga a utilizar y por ende el número de etapas n . Por lo general, los generadores de impulsos de pueden tener desde unas pocas etapas hasta, por ejemplo, cincuenta de ellas.

2.3.10 Métodos de Medición de la Tensión de Impulso

En la prueba de impulso es necesario efectuar la medición de la tensión que se aplica al objeto de prueba, la cual se puede hacer utilizando algunos de los siguientes métodos: a través de un espinterómetro de esferas, por medio del divisor de tensión conectado a un osciloscopio y por medio del divisor de tensión conectado a un voltímetro pico.

2.3.11 Estándar de Medición de la Tensión de Impulso

La norma ANSI/IEEE Standard 4-1995 [7] define al espinterómetro como “un dispositivo constituido por dos electrodos metálicos, esféricos y de igual diámetro, donde la distancia que los separa es regulada a voluntad”. Al aplicar entre dichas esferas un potencial, la descarga a cierta distancia de ruptura ocurre a un valor de tensión predeterminado. En la prueba de impulso, este valor es el voltaje pico de la onda o nivel básico de asilamiento (BIL) del equipo a ensayar. La disposición física de las esferas se hace vertical u horizontalmente, como se ve en la siguiente figura.

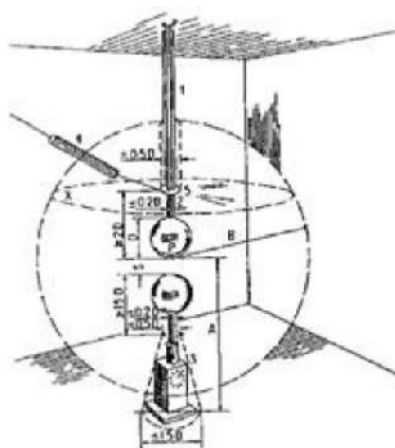


Figura 2.09 Esferas Espinterométricas vertical

Fuente: Inducor. (2017). Inducor. Obtenido de Inducor: <https://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/marco-referencial-generadores-de-impulsos.pdf>

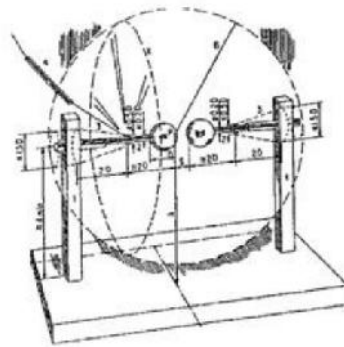


Figura 2.10 Esferas Espinterométricas horizontal

Fuente: Inducor. (2017). Inducor. Obtenido de Inducor: <https://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/marco-referencial-generadores-de-impulsos.pdf>

Las dimensiones mostradas son las distancias exigidas a los soportes y bases de las esferas, donde A y B son las distancias mínimas a tierra (clearances) del espinterómetro respecto a cualquier objeto circundante. Cabe destacar, que para espacios interelectrónicos pequeños la ubicación de cualquier objeto a tierra en la vecindad del espinterómetro no afecta considerablemente la medición, pero a espacios entre esferas más grandes la presencia de superficies tales como paredes tiene un importante efecto. La tabla siguiente muestra las distancias mínimas y máximas que debe tener el espinterómetro respecto a cualquier objeto ubicado en las cercanías.

Diámetro de las esferas D [mm]	A _{min}	A _{max}	B _{min}
62.5	7D	9D	14S
125	6D	8D	12S
250	5D	7D	10S
500	4D	6D	8S
750	4D	6D	8S
1000	3.5D	5D	7S

De la Tabla 3 distancias mínimas y máximas del espinterómetro respecto a objetos cercanos.

Fuente: Inducor. (2017). Inducor. Obtenido de Inducor: <https://www.inducor.com.ar/articulostecnicos/marco-referencial-generadores-de-impulsos.pdf>

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 Diseño del generador de impulsos

3.1.1 Descripción de la fuente de alimentación

Elevador de tensión

Del diagrama de bloques (figura 3.1) el sub bloque “Elevador de Tensión”, lo conforma un Transformador Elevador Variable Monofásico con las siguientes características eléctricas:

- Tensión en primario : 0.22 kV.
- Tensión en secundario : 39 kV.
- Corriente en secundario : 50 mA.
- Potencia nominal : 0.25 kVA.
- Frecuencia : 60Hz.

Conforme a los datos anteriores, la corriente de salida del transformador es baja (50 mA), ya que nos interesa obtener a la salida de la fuente, es tensión mas no elevadas corrientes. El Generador de Impulsos tipo Marx es visto por la Fuente de Alimentación como una carga, y como lo que se busca finalmente es obtener, un impulso de alta tensión a baja corriente, entonces la fuente que lo alimente debe tener tal característica.

Se propone que sea un transformador elevador variable para poder aplicar correctamente el ensayo de alto potencial de tipo no destructivo, tal como lo establece las normas respectivas, pues en este tipo de ensayo el nivel pico de tensión de prueba que se debe aplicar al material se debe ir aumentando en forma gradual según como esta descrito en las normas, y como el transformador que se propone es variable, entonces se puede fijar el nivel pico de tensión de prueba, variando la relación de vueltas en las bobinas del transformador (primario a secundario).

Rectificador

El sub bloque “Rectificador” del diagrama de bloques mostrado (ver figura 3.1), lo conforma una cadena serie de diodos de alta tensión que constituyen un puente rectificador. Debido a que no es factible encontrar un sólo dispositivo semiconductor que sea capaz de soportar elevadas tensiones (en el orden de los kilovoltios) sin sufrir daños; se propone usar una cadena serie de diodos permitiendo así que la tensión pico inversa a la que estarán sometidos durante medio ciclo de la onda de entrada (tensión de línea) se reparta entre todos los diodos. De esta forma la tensión pico inversa total a la que estará sometida la cadena serie de diodos, será menor que la suma de las tensiones pico inversa que soporta cada diodo individualmente.

La mayoría de diodos rectificadores estándar comerciales para alto voltaje, son capaces de manejar asimismo, importantes cantidades de corriente. Pero dado que lo que se busca es manejo de voltaje y no de corriente, se escogerá un diodo comercial de alta tensión con la menor cantidad de manejo de corriente posible, aunque esto último no sea comercialmente tan factible.

De este modo, se tiene dos opciones para el diodo rectificador:

- Diodo 5SDD07D6000 de ABB

➤ Diodo SD500N/45 de IRF

De las hojas de datos técnicos proporcionado por los fabricantes, se muestra a continuación un cuadro 3.1 comparativo con las características eléctricas que corresponde a cada diodo y que son trascendentes en nuestra propuesta de diseño:

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de diodos rectificadores.

Características eléctricas principales	Diodo 5SDD07D6000 de ABB	Diodo SD500N/45 de IRF
Tensión pico inverso máximo (Transitorio)	6.2 kV	4.6 kV
Tensión pico inverso máximo (Repetitivo)	6 kV	4.5 kV
Corriente de conducción máxima (Promedio)	0.685 kA	0.475 kA
Corriente de conducción pico máxima (Transitoria)	11 KA	7.85 KA
Tensión de Conducción (V)	0.92 V	0.925 V

De la Tabla 3.1 comparativo de diodos rectificadores, se escogerá para la presente propuesta, el diodo 5SDD07D6000 de ABB, pues soporta mayor cantidad de tensión pico inverso máximo (repetitivo y transitorio) y es capaz de manejar buenas cantidades de corriente de conducción tanto repetitiva como transitoria (aunque esto no sea demasiado relevante). Además, otra razón por la cual se escogió este diodo, es que al ser capaz de soportar mayor cantidad de tensión pico inverso, el número de unidades del mismo que se requerirá para la aplicación, será menor que si se usara el otro diodo (SD500N/45 de IRF).

Cálculos:

Tensión eficaz (RMS) en el lado secundario del transformador: 5 kV.

Tensión máxima en el lado secundario del transformador:

$$5 \times \sqrt{2} \text{ kV} = 7.071 \text{ kV}.$$

Para conocer el voltaje pico inverso de trabajo (P.I.V.) al que estará sometido la cadena serie de diodos, se usará la siguiente fórmula:

$$P.I.V. = 2 \times V_{max} - n \times V_y \quad (3.1)$$

De donde:

V_{max} : Tensión máxima en el lado secundario del transformador.

n : Número de diodos en serie.

V_y : Tensión de conducción.

Luego:

$$P.I.V. = 2 \times 7.071 \times 10^3 - n \times 0.92 = 14.142 \times 10^3 - n \times 0.92$$

Como se trata de una cadena serie de diodos, entonces para calcular el número de diodos en cada rama del puente rectificador y que pueda soportar el nivel de P.I.V. encontrado anteriormente, debe cumplirse la siguiente desigualdad:

$$n \times V.P.I.M. > P.I.V.$$

(3.2)

De donde:

n : Número de diodos en serie.

$V.P.I.M.$: Tensión Pico Inverso Máximo (Repetitivo) - dato del fabricante.

$P.I.V.$: Tensión de pico inverso (de trabajo).

Luego:

$$n \times (6 \times 10^3) > 14.142 \times 10^3 - n \times 0.92$$

$$n > 2.356 \rightarrow n = 3 \rightarrow P.I.V. = 14.139 \text{ kV}$$

Comprobando:

P.I.V que recibirá cada diodo de la cadena de serie:
 $\frac{14.139}{3}kV = 4.713kV.$

Voltaje pico inverso máximo que puede soportar cada diodo (hojas de datos): 6 kV.

De esta forma se verifica para cada diodo que:

Tensión pico inverso de trabajo 7. 713 Kv es menor que la tensión pico inverso máximo (hojas de datos) 6 Kv.

Luego, para conocer el valor de la corriente promedio que circulará en cada diodo, se usará la siguiente relación:

$$I_{prom} = \frac{I_{DC}}{2} \quad (3.3)$$

Donde:

I_{DC} : Corriente constante que circula en la carga

Por diseño y por la característica de la aplicación que se está presentando, el interés es manejo de tensión y no de corriente. Por ello mismo, desde la selección del transformador elevador nos aseguramos que la salida de la fuente sea en alta tensión con baja corriente, de esta manera:

$$I_{DC} = 50mA. \text{ (Máxima corriente entregada por el transformador)}$$

$$I_{prom} = 25 mA.$$

De este último resultado y comparándolo con el dato proporcionado por el fabricante, el diodo soportará las condiciones de trabajo en la aplicación.

Filtrado:

Remitiéndose al diagrama de bloques de la propuesta (figura 3.1), el sub bloque "Filtrado" lo conforma un condensador (C_f) de capacitancia

igual a 1 μF para realizar el filtrado de la onda rectificada pulsante que se obtiene a la salida del puente rectificador.

Cálculos:

Se escoge este valor de capacitancia (1 μF) para el condensador de filtro, pues es el valor mínimo necesario que permite obtener a la salida de la fuente, un voltaje continuo promedio suficiente, para lograr el nivel de tensión de prueba final que se obtendrá a la salida del generador.

Para calcular el voltaje de rizado pico-pico en la salida de la fuente de alimentación, usaremos la siguiente relación:

$$V_{rp-p} = \frac{I_{DC}}{2 \times f \times C} \quad (3.4)$$

De donde:

I_{DC} : Corriente constante que circula en la carga.

f : Frecuencia eléctrica (60 Hz).

C : Capacitancia del condensador de filtro (C_f).

Luego:

$$V_{rp-p} = \frac{50 \times 10^3}{2 \times 60 \times 1 \times 10^{-6}} = 416.667 \text{ V.}$$

Nota:

Si lo que se busca es obtener un menor voltaje de rizado pico-pico, bastaría con aumentar el valor de capacitancia del condensador de filtro (C_f), pues de lo anterior se puede apreciar que el voltaje de rizado y la capacitancia del condensador de filtro, varían inversamente; pero hacer esto implicaría aumentar significativamente los costos de implementación (componentes) para la fuente de alimentación y por ende, de la presente propuesta. Además, por la misma característica de esta aplicación, no es necesario reducir aún más el nivel de rizado

en la tensión continua de salida (promedio) pues lo que se busca es tener un buen nivel alto de tensión promedio para la carga de los condensadores en el generador de impulso, y obtener un buen desempeño del mismo.

Ahora para calcular el nivel de tensión continua promedio que se obtendrá a la salida de la fuente de alimentación y que será la que reciba como entrada el generador de impulsos, se usará la siguiente fórmula:

$$V_{DC} = V_{max} - n \times V_Y - \frac{I_{DC}}{4 \times f \times C}$$

(3.5)

De donde:

V_{max} : Tensión máximo en el lado secundario del transformador.

V_Y : Tensión de Conducción.

n : Numero de diodos.

I_{DC} : Corriente constante que circula en la carga.

f : Frecuencia eléctrica (60 Hz).

C : Capacitancia del condensador de filtro (C_f).

Luego:

$$V_{DC} = 7.071 \times 10^3 - 3 \times 0.92 - \frac{50 \times 10^{-3}}{4 \times 60 \times 1 \times 10^{-6}} = \pm 6.860 \text{ kV}$$

Circuito de Protección:

Los aspectos de seguridad que se deben tomar en cuenta para la realización de las pruebas de rigidez dieléctrica de tipo destructiva, no son mencionados por las normas correspondientes: ASTM D-3426 [2] – IEC 60243-3 [11]; ya que estas establecen definiciones y metodologías

para realizar el ensayo, mas no sugieren criterios de seguridad, pues es sólo responsabilidad del que realiza las pruebas, por ello a continuación se expone una propuesta de circuito de protección para la fuente de alimentación descrita anteriormente.

El sub bloque "Circuito de Protección" del diagrama de bloques mostrado en la figura 3.1, lo conforman dos elementos: un Interruptor termo magnético y un fusible, por la siguiente razón: La Fuente de Alimentación recibe como entrada la tensión de línea de la red eléctrica (220 V Eficaces C.A. a 60 Hz.) y entrega a la salida una tensión continua (positiva/negativa) de alto valor (6.860 kV.). Se ha considerado la protección tanto de la red eléctrica como en la salida de la fuente. Para la entrada (red eléctrica) se ha propuesto usar un Interruptor Termo magnético Monofásico (Fabricante: General electric) de 2 A., y para la salida, un Fusible de Alta Tensión Limitador de Corriente y Rango Completo de 100 mA. (EJO-1 9F64 Full Range – Fabricante: General Electric).

Cálculos y justificación:

✓ Interruptor termo magnético

Como el Transformador Elevador Variable Monofásico es una máquina eléctrica estática, entonces los cálculos para seleccionar el Interruptor Termo magnético parten de la potencia eléctrica del transformador.

Datos del transformador:

- Tensión en primario ($T_{primario}$) : 0.22 kV.
- Tensión en secundario ($T_{secundario}$) : 5 kV.
- Potencia nominal (S) : 0.25 kVA.

Calculamos la corriente nominal en el lado primario del transformador según la siguiente fórmula:

$$I_{nominal} = \frac{S}{T_{primario}} \quad (3.6)$$

De esta forma se obtiene:

$$I_{nominal} = \frac{0.25 \times 10^3}{220} = 1.134 \text{ A.}$$

Para encontrar la corriente de selección del Interruptor Termo magnético, usamos la siguiente expresión:

$$I_{ITM} = 1.25 \times I_{nominal}$$

(3.7)

Obteniéndose:

$$I_{ITM} = 1.25 \times I_{nominal} = 1.25 \times 8.86 = 1.4175 \text{ A.}$$

Se escoge el valor de 15 A. tomando como referencia la tabla de valores comerciales de Interruptores Termo magnéticos del fabricante General electric, pues además es el valor comercial más cercano a la corriente de selección calculada anteriormente para el Interruptor Termo magnético.

Se escogió un Interruptor Termo magnético porque combina la protección contra una sobrecarga (acción térmica) en la red eléctrica, y la protección ante un cortocircuito (acción magnética) en el caso que ocurra en el lado primario del transformador.

Otra de las razones por las que se optó por un Interruptor Termo magnético es porque la operación de la Fuente de Alimentación se realizará en forma manual por un especialista en el área de electricidad o electrónica; y de acuerdo a los criterios de diseño, cuando se trata de un conjunto o sistema eléctrico manual, se sugiere emplear un Interruptor Termo magnético en lo que a protección se refiere.

✓ Fusible

Dado que el Generador de Impulso, es visto como una carga para la Fuente de Alimentación, entonces se protege la salida de la Fuente con un fusible para evitar que se dañe la misma en caso ocurra un cortocircuito entre la salida de voltaje continuo (V_{DC}) y la referencia (tierra).

Los cálculos para seleccionar el fusible parten por conocer la corriente de salida que entrega el transformador en su lado secundario y que a su vez será la máxima corriente que entregará a la salida la Fuente de Alimentación.

Valiéndonos de los datos del transformador vemos que el dato que nos interesa es la corriente en el lado secundario (50 mA).

Para encontrar la corriente de selección del fusible, usamos la siguiente relación:

$$I_{fusible} = 2 \times I_{nominal}$$

(3.8)

Obteniéndose:

$$I_{fusible} = 2 \times I_{nominal} = 2 \times 50 \times 10^{-3} = 100 \text{ mA}$$

Se escogió un Fusible de Alta Tensión Limitador de Corriente y Rango Completo, pues la tensión de salida de la Fuente de Alimentación está el orden de los KV (C.D.) y un cortocircuito a ese nivel de tensión puede llegar a ser muy peligroso si el fusible no es capaz de responder adecuadamente.

Un Fusible de Alta Tensión Limitador de Corriente y Rango Completo, está diseñado para la interrupción en corrientes bajas, además de interrumpir un ratio (relación) máximo de corriente.

Para este caso específico se tomó de referencia el modelo comercial: EJO-1 9F64 Full Range, del fabricante General Electric y además este tipo de fusibles son de acción rápida y pueden ser usados interna o externamente sin que se requiera algún encapsulado de protección.

Diagrama esquemático de la fuente de alimentación:

El diagrama esquemático de la fuente de alimentación descrita anteriormente, que usará el generador, es el que se muestra a continuación en la figura 3.2.

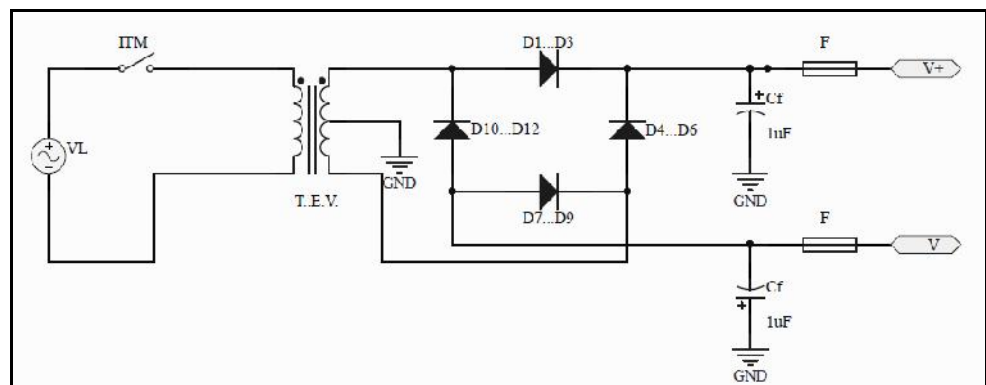


Figura 3.2 Fuente de alimentación

De donde:

VL: Voltaje de Línea 220 V Eficaces C.A. a 60 Hz.

T.E.V.: Transformador Elevador Variable 220 V / 5 KV, 0.25 KVA, 1 .

D1...D3: Cadena Serie de Diodos de Alta Tensión (5SDD07D6000 de ABB).

D4...D6: Cadena Serie de Diodos de Alta Tensión (5SDD07D6000 de ABB).

D7...D9: Cadena Serie de Diodos de Alta Tensión (5SDD07D6000 de ABB).

D10...D12: Cadena Serie de Diodos de Alta Tensión (5SDD07D6000 de ABB).

Cf: Condensador para filtrado de 1 μF a 5 kV.

ITM: Interruptor Termo magnético Monofásico de 220 V Eficaces C.A. a 60 Hz. de 2 A.

F: Fusible de Alta Tensión Limitador de Corriente y Rango Completo de 100 mA. (EJO-1 9F64 Full Range).

3.1.2.1. Descripción del Generador de Impulsos tipo Marx de cuatro etapas

3.1.2.1.1. Revisión de la posible solución y justificación de la técnica escogida

El método de la Bobina de Tesla

Tradicionalmente, el método usado para generar alto voltaje era la Bobina de Tesla, cuyo circuito esquemático se muestra a continuación en la figura 3.3.

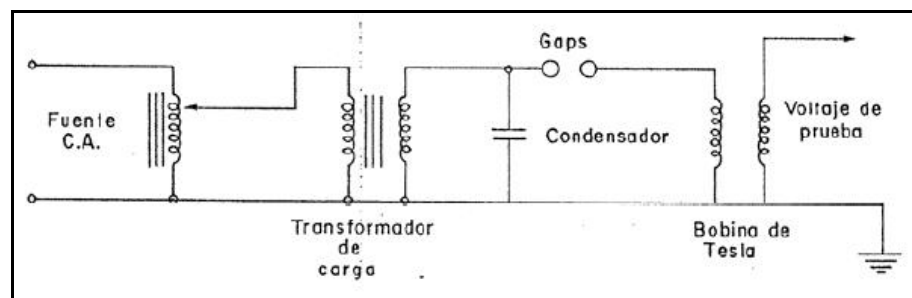


Figura 3.3 Bobina de Tesla.

Durante el funcionamiento, el condensador se carga cada medio ciclo del voltaje de alimentación de la fuente de corriente alterna hasta un nivel en el que ocurre un arco eléctrico entre las esferas (gaps), y entonces el condensador se descarga sobre el arrollamiento primario de la Bobina de Tesla, teniendo como

resultado en el punto de salida del arrollamiento secundario (voltaje de prueba), una onda de alto voltaje y de alta frecuencia que ocurre cada medio ciclo del voltaje de alimentación de la fuente de corriente alterna tal como se puede apreciar a continuación en la figura 3.4.



Figura 3.4 Forma de onda de una bobina de Tesla

Para el presente tema de estudio, no se usará ésta técnica descrita anteriormente, debido a que la forma de onda obtenida con este método, no se ajusta a la forma de onda de impulso de tensión tipo rayo normalizada, que establecen las normas para un ensayo de alto potencial.

El generador de Impulsos tipo Marx:

La técnica escogida en la presente propuesta, para realizar las pruebas de alta tensión, es el uso de un generador de impulsos acorde con el ideado y desarrollado por E. Marx, que es con lo que actualmente se llevan a cabo estas pruebas recomendadas por las diferentes normas e instituciones internacionales como la ASTM o la IEC; el cual es un método para la obtención de altas tensiones de prueba a la salida, a partir de una entrada de tensión continua, mediante la carga de condensadores en paralelo y su respectiva descarga en serie por medio de esferas espinterométricas (sphere gaps o spark gaps). A manera de esquema se puede ver a continuación en la figura 3.5.

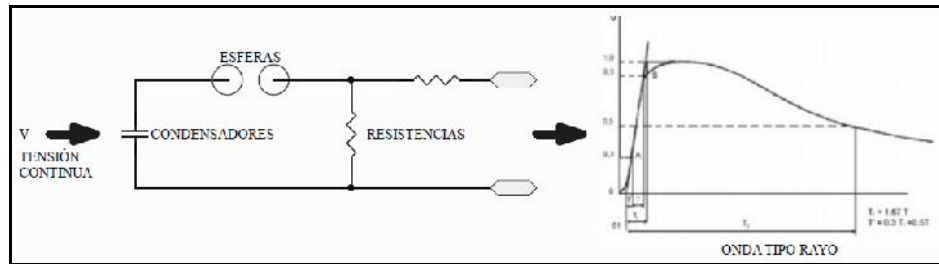


Figura 3.5 Generador tipo Marx

Fuente: Diego García. (2009). *udistrital*. Obtenido de Inducor: <https://www.revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/6262/7784>

La aparición del circuito de E. Marx permitió la generación de ondas de impulso de alta tensión con bastante aproximación y además cuenta con la ventaja de controlar la onda de impulso en magnitud y forma; en la actualidad la mayoría de los generadores de impulso que se usan en los laboratorios de alta tensión están contruidos de acuerdo con el circuito de Marx o con circuitos derivados de éste.

3.1.2.1.2. Circuito RC

Del diagrama de bloques (figura 3.1) el sub bloque “Circuito RC” lo conforma un arreglo convenientemente adecuado, de resistencias y condensadores (elementos pasivos) que es propiamente el Generador de Impulsos tipo Marx.

Para pruebas de alta tensión con voltajes elevados, los circuitos generadores de impulso de una sola etapa resultan insuficientes, principalmente por la dificultad y alto costo que representa el obtener voltajes de corriente directa para carga a valores de voltaje elevados.

Para superar este inconveniente, se usa un circuito rc generador de impulso de cuatro etapas que va acorde con la propuesta original de E. Marx, el cual consta de un conjunto de condensadores (C) que se cargan en paralelo a través de resistencias de alto valor (R) y se descargan en serie por medio de Esferas Espinterométricas (E.E.) al

producirse un arco eléctrico entre estas esferas. A continuación en la figura 3.6 se muestra el circuito rc generador de impulso tipo Marx de cuatro etapas.

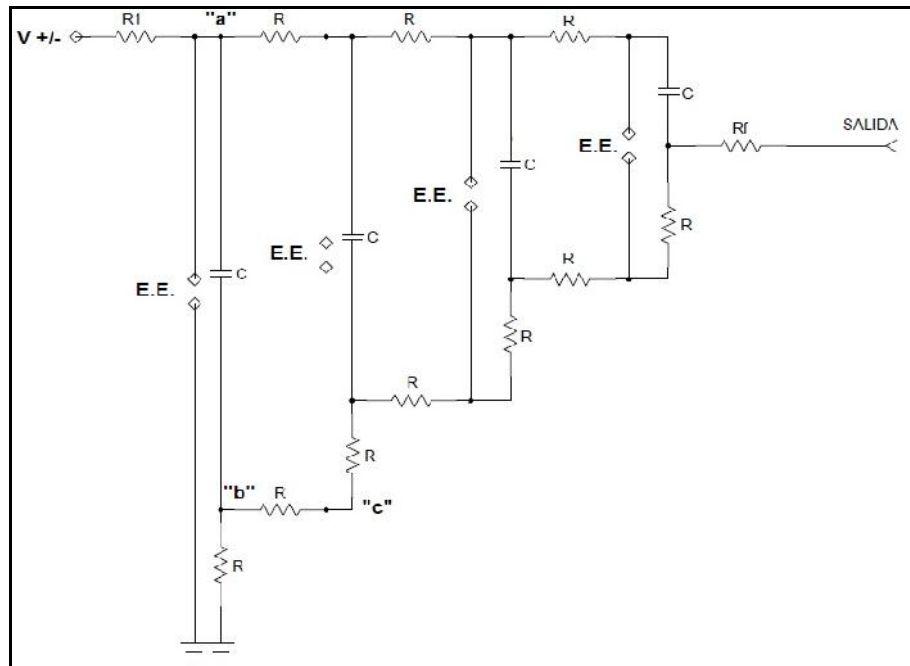


Figura 3.6 Generador de impulso tipo Marx de cuatro etapas

En donde:

R: Resistencia de Carga de 1 K , de alto voltaje y de baja inductancia.

C: Condensador de Etapa de 0.46 μ F a 6 KV, de baja inductancia para descargas de elevadas corrientes, de tipo: papel impregnado en aceite o dieléctrico seco, montado en recipiente de porcelana o resina sintética.

R_f: Resistencia de frente, de 7.5 , de carbón, de baja inductancia.

R_c: Resistencia de cola, de 85 , de carbón, de baja inductancia.

E.E.: Esferas Espinterométricas (Sphere Gaps o Spark Gaps) de Cobre de 6.25 cm. de diámetro.

El funcionamiento de este circuito rc generador de impulso de cuatro etapas puede ser descrito como sigue a continuación. Todos los condensadores de etapa (C), uno en cada etapa, son cargados a un voltaje (V) en la entrada respecto a la referencia (tierra); el arco eléctrico que ocurre en el primer arreglo de esferas espinterométricas (E.E.), cerca de la entrada de voltaje (V), es producido por inyección de voltaje, descargándose así el condensador de etapa (C); seguidamente, en el resto de las demás esferas espinterométricas (E.E.) ocurren arcos eléctricos, descargando así cada condensador en cada etapa (C); el resultado es una acumulación de diferencias de potenciales que van de 0 a "n".V donde "n" es el número de etapas del generador de impulso (n=4 en este caso), de esta forma idealmente a la salida se tiene la onda de tensión de impulso completa normalizada 1.2/50 μ s de amplitud 4V.

Las esferas espinterométricas (E.E.) actúan como interruptores; una vez que ocurre el arco eléctrico en el primer par de esferas, el condensador (C) se descarga de un nivel de voltaje (V) a 0 (véase el nodo "a"); esto representa un cambio de potencial de $-V$ y en ese instante el voltaje en el nodo "c" es aproximadamente $-V$ dado que la Resistencia frontal R_f es baja comparada con la Resistencia de cola R_c (véase nodo "b"); dando como resultado una diferencia de potencial de 2V a la que estará sometido el segundo par de esferas, causando otro arco eléctrico; esta acción descrita antes continúa en la siguiente etapa y arreglo de esferas (y así subsecuentemente si hubieran más etapas); el primer par de esferas

es como un gatillo que es disparado por aplicación del pico de voltaje a la carga.

Para calcular el valor de las resistencias frontal R_f y de cola R_c que son las que fijan los tiempos de frente y de cola de la onda de impulso completa normalizada se pueden emplear las siguientes relaciones como referencia que en realidad son aproximaciones hechas para el estudio y diseño de un Generador de Impulso tipo Marx.

$$\text{Tiempo de cola: } t_c \text{ o } t_2 = 0.693 \times C \times R_c \quad (3.9)$$

$$\text{Tiempo de cola: } t_f \text{ o } t_1 = f(C, C_g, C_o, R_f)$$

(3.10)

De donde:

C : Condensador de etapa.

C_g : Capacitancia del propio generador.

C_o : Capacitancia del objeto de prueba.

R_f : Resistencia de frente.

R_c : Resistencia de cola.

Para hacer los cálculos se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La resistencia de carga R , del generador de impulso se escogerá lo suficientemente alta en comparación con las otras 2 resistencias (de cola y de frente) de modo que solo cumpla su objetivo en la carga de los condensadores de etapa y no afecte en la descarga de los mismos.

- ✓ El valor del condensador de etapa C , es un valor fijo y que a partir de ahí debe hacerse los demás cálculos.
- ✓ El valor de la capacitancia del propio generador C_g es un valor inherente de todo generador de impulso que aparece a la salida del mismo debido a que se trabaja con tensiones del orden los kilovoltios, es de esperarse que aparezca una capacitancia entre la salida y el nivel de referencia o tierra; en forma práctica, es bastante común que esta capacitancia tome un valor del orden de decenas de nanofaradios.
- ✓ La capacitancia del objeto de prueba C_o depende de la aplicación final del generador de impulso, en este caso se trata de un material polímero aislante, el cual tiene una elevada impedancia (del orden de los Gigaohmios) y una alta rigidez dieléctrica, lo que hace complicado estimar exactamente el valor de esta capacitancia; es conocido que todo material tiene propiedades eléctricas y/o dieléctricas, tales como: resistencia, resistividad, conductancia, inductancia, capacitancia, rigidez, etc; muchas veces determinar estas propiedades en forma directa resulta bastante complicado por el mismo hecho de que se necesitaría de equipos especiales y costosos además de específicas condiciones para su medición, pero para el presente estudio se puede considerar que ya que es un material no conductor y no almacena energía significativa, entonces se puede considerar que su capacitancia C_o es lo suficientemente baja en comparación con la capacitancia propia del generador.
- ✓ Dado que las resistencias de frente R_f y de cola R_c , son las que fijan los tiempos de frente y de cola para la forma de onda estudiada, las fórmulas antes mencionadas son referenciales, el

valor final que estas resistencias toman, son obtenidas mediante prueba y error que se hacen en simulaciones del circuito generador de impulso, ya que debe calibrarse con estas resistencias los tiempos de frente y de cola, para que cumplan con las tolerancias para los tiempos de frente y de cola, dadas por las normas respectivas: ASTM D-3426 [2] - IEC 60243-3, y otros criterios de diseño.

Cálculos:

Considerando lo siguiente:

C : Condensador de Etapa = 0.47 μ F.

C_g : Capacitancia (típica) del propio generador = 15 nF.

C_o : Capacitancia del objeto de prueba, en pF, de modo que: $C_g \gg C_o$,

entonces: $C_g + C_o \approx C_g$

Se tiene que:

Tiempo de Cola = 50 μ s \pm 10 μ s; entonces:

Tiempo de Cola Máximo permitido = 60 μ s.

Tiempo de Cola Mínimo permitido = 40 μ s.

Luego, en la fórmula 3.9:

$40 \times 10^{-6} = 0.693 \times 0.47 \times 10^{-6} \times \text{Resistencia de cola mínima}$; de

donde:

Resistencia de cola mínima = 133.19 .

De igual forma, nuevamente en la fórmula 3.9:

$60 \times 10^{-6} = 0.693 \times 0.47 \times 10^{-6} \times \text{Resistencia de cola máxima}$; de

donde:

Resistencia de cola mínima = 184.22 .

Entonces se tiene que:

Resistencia de cola, $R_c \in [133.19 \Omega, 184.22 \Omega]$.

Además se tiene que:

Tiempo de Frente = $1.2 \mu\text{s} \pm 0.36 \mu\text{s}$; entonces:

Tiempo de Frente Máximo permitido = $1.56 \mu\text{s}$.

Tiempo de Frente Mínimo permitido = $0.84 \mu\text{s}$.

Viendo los rangos posibles para los valores que pueden tomar las resistencias de cola y de frente; se escoge un valor de resistencia de carga R , igual a 1 K , el cual se ve que es mucho mayor que cualquier posible valor que pueda tomar las resistencias mencionadas anteriormente; además está el hecho de que es un valor comercial para la resistencia de carga R .

Tomando como criterio de diseño el hecho de que la resistencia de cola R_c debe ser mucho mayor que la resistencia de frente R_f ($R_f \ll R_c$), para asegurar el correcto funcionamiento del generador de impulso, debido a que se basa en la acumulación de descargas en cada etapa, de modo que cuando ocurra la descarga del condensador de cada etapa por medio de sus respectivas esferas, la corriente fluya principalmente por la resistencia de frente y una pequeña parte de la corriente de descarga fluya a través de la resistencia de cola.

Con todo lo anteriormente descrito, después de hacer pruebas de simulación del circuito generador de impulsos, con los posibles valores que pueden tomar las resistencias de frente y de cola, mediante prueba y error se determinó los siguientes valores luego de varias iteraciones.

- R_f : Resistencia de frente = 7.5 .
- R_c : Resistencia de cola = 120 .

Cumpléndose así que:

$$R_f \ll R_c \quad (7.5 \, \Omega \ll 85 \, \Omega).$$

$$R_c = 85 \, \Omega \in [133.19 \, \Omega, 184.22 \, \Omega].$$

3.1.2.1.3. Electrodo Esferas Espinterométricas

Del diagrama de bloques (figura 3.1) el sub bloque “Electrodos” lo conforman juegos de dos esferas espinterométricas convenientemente colocados en el circuito eléctrico, y que son parte importante del Circuito RC Generador de Impulso tipo Marx descrito anteriormente.

Para entender el funcionamiento de las esferas espinterométricas, se debe recordar que consiste en un arco eléctrico que ocurrirá entre estas en un medio gaseoso como es el aire en este caso; las descargas eléctricas en gases dependen de varios factores tales como: tipo de gas, forma de los electrodos, tipo de tensión aplicada, condiciones atmosféricas, entre otros.

En técnicas de alta tensión, el gas más usado es el aire para producir descargas ya que se encuentra libre en la naturaleza y no es necesario someterlo a procesos artificiales como otros dieléctricos.

El tipo de descarga depende de la forma de los electrodos ya que se encuentra directamente relacionada con la formación de campo eléctrico, este campo puede ser homogéneo como es el caso de las esferas o un arreglo de placas paralelas, o no homogéneo como el caso de un arreglo punta-placa, punta-punta o barra-barra, tal como se pueden apreciar seguidamente en la figura 3.5.

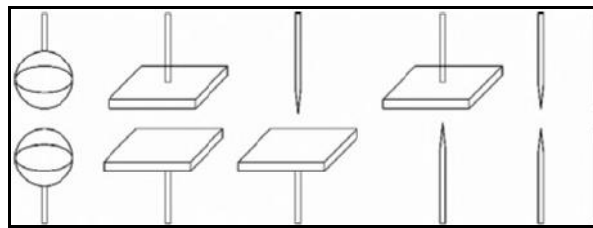


Figura 3.7 Tipos de electrodos.

Fuente: Altium Designer

Con relación a la figura 3.5, se puede distinguir los siguientes tipos de arreglos:

Campo eléctrico homogéneo:

A: Esfera – Esfera

B: Placa – Placa

Campo eléctrico no homogéneo (Disperso):

C: Punta – Placa

D: Placa – Punta

E: Punta – Punta

F: Barra – Barra

Debido a que las condiciones atmosféricas tales como: presión, temperatura, humedad, densidad relativa del aire y altura sobre el nivel del mar, afectan también las descargas eléctricas en un medio como el aire, al variar estos factores, varía también la formación de las descargas, al aumentar la altura sobre el nivel del mar disminuye la presión y aumenta la probabilidad de descarga.

Ya que las esferas espinterométricas funcionan como interruptores en el circuito rc generador de impulsos (figura 3.4), estas deben operar en todos los casos (polaridad del impulso positiva o negativa) con una mínima dispersión respecto a un nivel de tensión dado., por ello es que se escoge el arreglo de las esferas porque se presenta una distribución homogénea de campo eléctrico. También puede lograrse con el uso el arreglo de placas paralelas siempre que la descarga se concentre en todo el centro de las placas y no hacia sus extremos; pero a niveles altos de tensión y significativas distancias entre electrodos, la concentración de campo eléctrico se hace notoria en los extremos (efecto de borde) aumentando así la probabilidad de descarga en esa región y no en el centro, debido al campo eléctrico disperso, lo que conlleva a distorsión en la forma de onda de salida del generador.

El arreglo esfera-esfera no presenta problemas de concentración de campo eléctrico, siempre que la distancia de separación entre las esferas alineadas no supere la mitad del diámetro de las esferas [9], el campo eléctrico se presentará en forma homogénea.

Para encontrar el diámetro de las esferas, basta remitirse a las tablas que aparecen en la norma respectiva [9], pues estas tablas nos dan el diámetro de la esfera (en centímetros) en función de la separación que habrá entre estas (en milímetros) y la tensión de ruptura cuya probabilidad que aparezca es del 50%, según la máxima tensión suministrada por el generador.

Los valores estándar para el diámetro de las esferas fijadas por la norma IEE Std.4 –

1995, se pueden apreciar a continuación en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Diámetros de las esferas

Diámetros estándares de esferas espinterométricas para impulsos tipo rayo normalizado de polaridad positiva y negativa			
6.25 cm.	12.5 cm.	25 cm.	100 cm.
75 cm.	100 cm.	150 cm.	200 cm.

Cálculos:

Para buscar en las tablas el diámetro de las esferas, se debe comenzar por el cálculo de la tensión máxima que aparecerá en el lado secundario del transformador elevador variable que forma parte de la fuente de alimentación (figura 3.2).

Tensión eficaz (RMS) en el lado secundario del transformador = 5 kV .

Tensión máxima en el lado secundario del transformador = $5 \times \sqrt{2} \text{ kV} = 7071 \text{ kV}$

Tensión continuo promedio en la salida de la fuente $V_{DC} = \pm 6.860 \text{ kV}$

Partiendo del hecho de que se necesita un valor pico de 20 kV a la salida del generador para poder efectuar el ensayo de alto potencial conductor en cuestión (según el método usado) basándose en la normas respectivas; se escogió este valor de tensión (5 kV) en el diseño del transformador elevador variable para la fuente de alimentación, pues el valor que se obtiene a la salida de la misma (6.860 kV) cumple con ser el voltaje necesario (en CD) que se requiere a la entrada del Generador de Impulso tipo Marx de cuatro etapas (Figura 3.9) - pues en esencia este generador es un multiplicador de tensión - para que al ser multiplicado este valor (6.860 kV) por cuatro (número de etapas del generador) se logre con

seguridad tener a la salida el valor deseado (27.44 KV) aún frente a las caídas de tensión que aparecen inevitablemente en todo circuito eléctrico.

Asimismo, cuanto más nivel de tensión se requiera a la salida del generador para efectuar un ensayo como el de alto potencial, implica usar un mayor número de etapas en el generador de impulso, pero eso trae como consecuencia que aparezcan sobre impulsos y la consecuente distorsión en la forma de onda a la salida del generador, lo cual hace que esto no sea aceptable para un ensayo normalizado.

Se escoge el valor de 6.25 cm. para el diámetro de las esferas según las tablas dadas por la norma respectiva, para impulsos tipo rayo de polaridad positiva con una distancia de separación máxima entre las esferas de 20 mm. (2 cm.) y además cumple con que esta distancia de separación es menor que el radio de las esferas (6.25 cm.); otra razón por la que se escogió este diámetro para las esferas, es que en el diseño se considera además que la forma de onda normalizada a la salida del generador puede fijarse para que sea positiva o negativa, ya que por la misma configuración del generador de impulso, éste invierte la polaridad de la forma de onda a la salida, pues es importante señalar que existen tablas dadas por la misma norma para escoger el diámetro de las esferas tanto para impulsos tipo rayo de polaridad positiva como de polaridad negativa, y los valores de tensión pico que aparecen en las tablas suelen diferir en ambos casos; pero para este caso particular coinciden.

A continuación, la figura 3.8 nos da una idea de la forma y disposición física de las esferas espinterométricas que conforman el circuito Generador de Impulso.

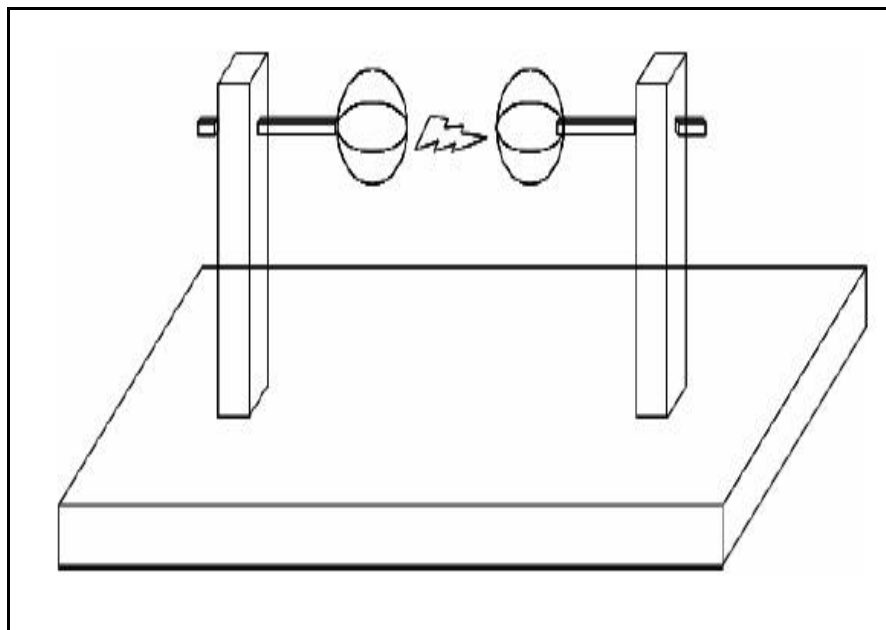


Figura 3.8 Esferas Espinterométricas.

3.1.2.1.4. Protección: Línea de Tierra

El sub bloque “Protección” del diagrama de bloques (figura 3.1) para el Generador de Impulso (ver figura 3.9), lo conforma una línea de tierra que une el chasis o masa del equipo y que va a un pozo de tierra de muy baja impedancia (menor o igual a 5Ω), este pozo de tierra no debe ser el mismo que el de la instalación, ambiente o laboratorio donde se realice esta prueba. En la figura 3.x se muestra en forma esquemática, la puesta a tierra del Generador de Impulsos.

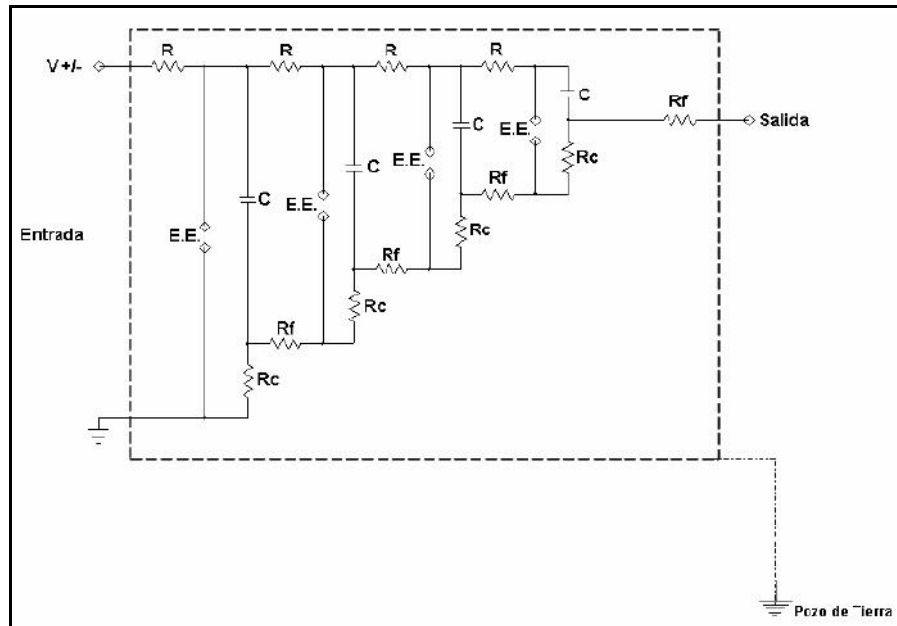


Figura 3.9 Generador de Impulso con línea de puesta a tierra.

Nota: Debido a que el generador trabaja con elevadas tensiones (en el orden los KV.), es preciso contar con un pozo a tierra independiente y de baja impedancia como se menciona en el párrafo anterior, si este pozo fuese el mismo que para los demás equipos del laboratorio o ambiente donde se efectúa el ensayo, podría resultar perjudicial en caso de que ocurra una descarga, pues ésta puede propagarse también a través de las demás líneas de puesta a tierra que comparten el mismo pozo.

3.1.2 Diagrama esquemático total de la propuesta

A continuación en la figura 3.10, se muestra el diagrama esquemático completo de toda la propuesta de diseño, la cual lo conforman la Fuente de Alimentación y el Generador de Impulso tipo Marx de cuatro etapas.

Es importante mencionar que el laboratorio o sala donde se efectúe este tipo de prueba/ensayo, debe contar con su pozo o malla de tierra independiente, además de tener su respectivo tablero de distribución para los demás equipos que se usen en el mismo, y contar con extintores de fuego.

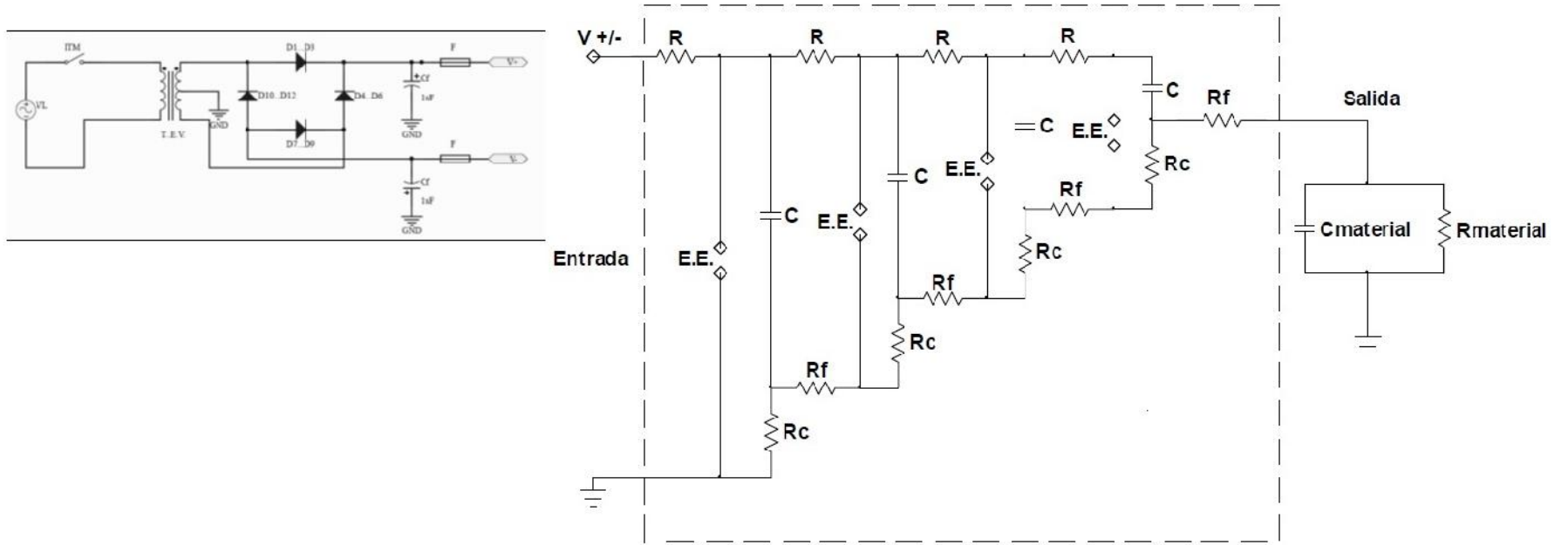


Figura 3.10 Diagrama esquemático completo: Fuente de alimentación y generador tipo Marx de cuatro etapas.

3.2 Limitaciones

Este trabajo se limita a la propuesta de diseño de un equipo denominado generador de impulsos de Alta Tensión para la detección de fallas más comunes en cables subterráneos como son las fallas de baja y alta resistencia el cual es necesario complementar con otros equipos de acuerdo a los distintos métodos de localización de fallas a usar.

La propuesta de diseño que se mostrará, se limita y va acorde con la Teoría de E. Marx sobre las descargas eléctricas en alta tensión. Estos tipos de ensayos generalmente están caracterizados como destructivos, pues la muestra de prueba del material es sometido a ruptura dieléctrica mediante la aplicación de un alto nivel de voltaje de tipo transitorio.

3.3 Simulaciones

3.3.1 Consideraciones

El Circuito RC Generador de Impulso tipo Marx de cuatro etapas (figura 3.9) fue simulado usando el software académico SPICE ICAP/4 de INTUSOFT. Para efectos de simulación, las esferas espinterométricas (“sphere gaps” o “spark gaps”) han sido representadas como un cable o cortocircuito con el fin de representar el instante de las descargas de los condensadores de etapas (arcos eléctricos), considerando como condición inicial las cargas de los condensadores de etapas, pues como se describió anteriormente cada condensador de etapa se carga a un nivel de voltaje de entrada (“V” positivo o negativo) y esto se hace durante un tiempo grande (varios segundos) que viene a ser como una suerte de “cebado” de los condensadores de etapa, para que después se descarguen mediante los arreglos de esferas en cada etapa y tener a la salida la forma de onda deseada con el nivel pico de tensión de prueba requerido.

Para la simulación también se ha incluido la capacitancia propia del generador C_g y a la salida del mismo se ha representado a la carga, que en este caso es un espécimen de prueba del cable conductor (alambre de

cobre), como una resistencia su en paralelo con su capacitancia propia de objeto, tal como lo muestra a continuación la figura 4.1

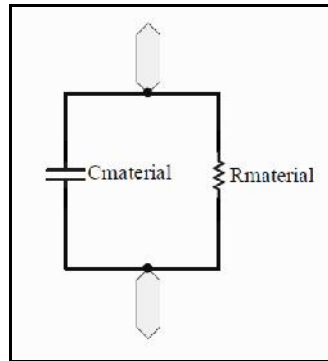


Figura 4.1 Modelo eléctrico del conductor a probar.

Se hará la simulación tanto para una entrada de voltaje (carga inicial de los condensadores) positiva como negativa para apreciar que por la forma misma del generador, éste a la salida invierte la polaridad de la tensión continua con la que se cargan sus condensadores de etapas, es decir: si se cargan los condensadores a un voltaje positivo, la polaridad de la forma de onda tipo rayo normalizada $1.2/50 \mu s$ a la salida será negativa y viceversa.

A continuación en la figura 4.2, se muestra el circuito rc esquemático del generador de cuatro etapas incluyendo la capacitancia propia del generador (típicamente toma un valor de 15 nF .) y el modelo eléctrico del espécimen de prueba a manera de carga, a la salida del generador.

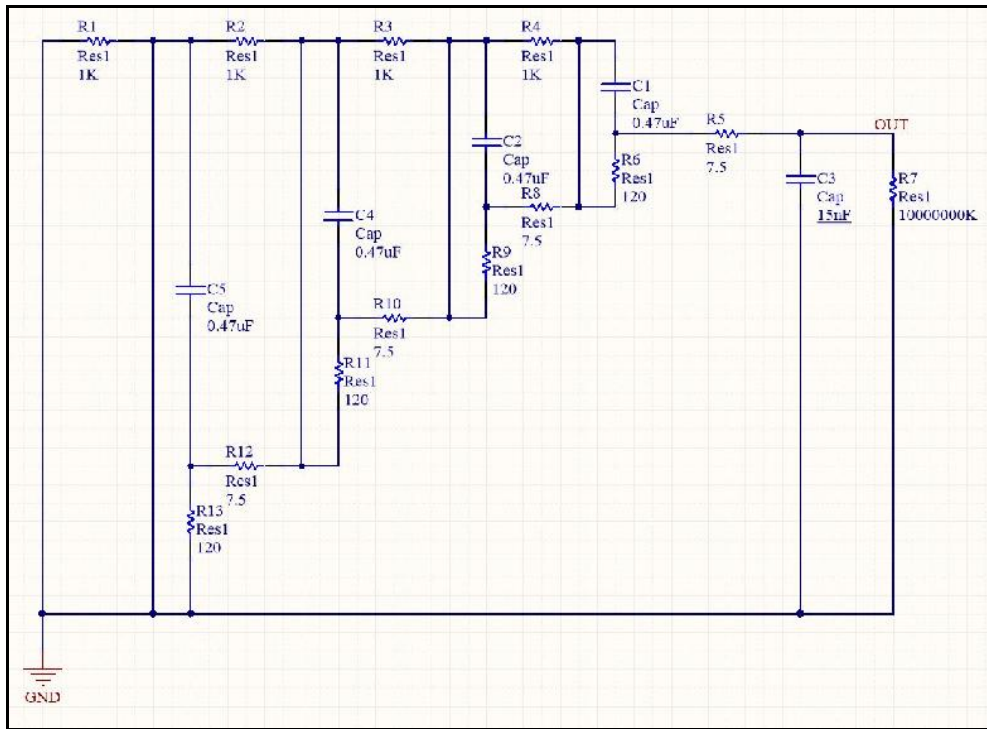


Figura 4.2 Circuito esquemático en SPICE incluyendo el modelo eléctrico completo.

Debido a que estimar el valor de la capacitancia del espécimen de prueba del material (alambre de cobre) en forma directa resulta complicado por el hecho de requerir equipos y condiciones especiales de prueba, se usará el hecho de que como esta capacitancia está en paralelo con la capacitancia propia del generador y que además la capacitancia del espécimen de prueba, es mucho menor que la capacitancia propia del generador, por las consideraciones expuestas en los cálculos de los componentes del generador, entonces por asociación de condensadores en paralelo, la que predomina y la que queda para efectos de simulación, es la capacitancia propia del generador.

En la figura 4.3, se muestra el diagrama esquemático del Generador de Impulso tipo Marx de cuatro etapas hecho en SPICE incluyendo la simplificación anteriormente descrita, con las condiciones iniciales de carga

de condensadores de etapa igual a 6.860 KV, que es la tensión continua obtenida a la salida de la Fuente de alimentación (figura 3.5), y que viene a ser la entrada “V” en el generador.

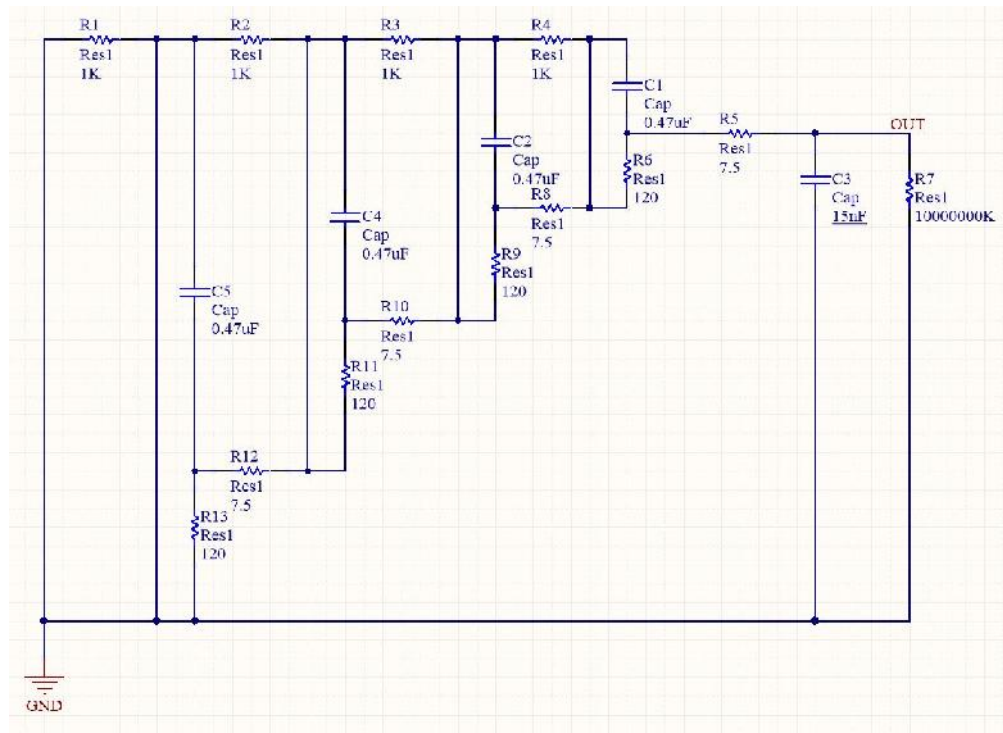


Figura 4.3 Circuito esquemático en SPICE incluyendo la simplificación de las capacitancias para la simulación.

Nota: Tal como ya se describió anteriormente en las figuras 4.2 y 4.3, se han representado a los arcos eléctricos que ocurren entre las esferas espinterométricas, como cables o cortocircuitos, sólo para fines de simulación y representar el instante en que los condensadores se descargan por medio de estas esferas.

3.3.2 Simulación: Impulso de Tensión Positivo

Luego de hacer la simulación respectiva, se obtuvo la gráfica que se muestra a continuación en la figura 4.4.

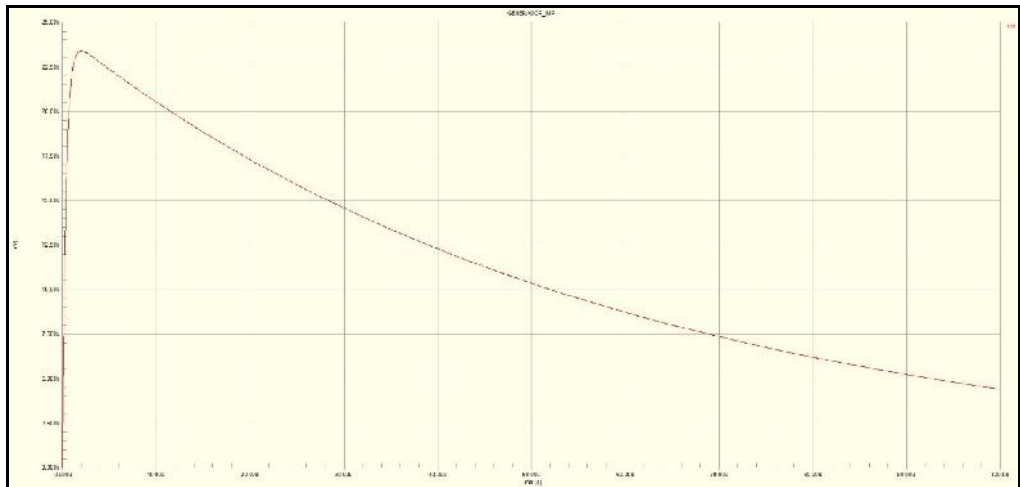


Figura 4.4 Gráfica de Salida en la simulación para tensión de alimentación negativa.

De este gráfico obtenemos los siguientes valores:

Nivel de Voltaje Máximo = 23.40 kV.

Tiempo de Cola, t_c o t_2 , al 50% del Nivel de Voltaje Máximo (11.70 kV.) = 42.860 μ s.

Tiempo al 90%, $t_{90\%}$ del Nivel de Voltaje Máximo (21.06 kV.) = 871.4 ns.

Tiempo al 30%, $t_{30\%}$ del Nivel de Voltaje Máximo (7.896 kV.) = 116.6 ns.

Ahora calculamos el tiempo de frente t_f o t_1 , tal como lo establece las normas:

$$\text{Tiempo de frente} = 1.67 \times (t_{90\%} - t_{30\%}) \quad (4.1)$$

$$\text{Tiempo de frente} = 1.67 \times (871.4 \times 10^{-9} - 116.6 \times 10^{-9}) = 1.260 \mu\text{s}.$$

De lo anterior se ve que tanto los tiempos de cola y de frente son lo bastante aproximados a los que fijan las normas, y están dentro de los rangos permitidos para una onda tipo rayo normalizada.

Idealmente se espera que en un Generador de Impulso tipo Marx de “n” etapas, si la entrada de voltaje de carga es de V, la salida sea “n”V, viendo los resultados anteriores podemos apreciar que siempre se presentan caídas de tensión propias en todo circuito.

En este caso si la entrada es $V = 6.860 \text{ kV}$ (olvidándonos del signo momentáneo), se esperaría a la salida del generador, un nivel de tensión igual a cuatro veces el valor anterior, o sea de 27.44 kV ., pero vemos que el nivel de tensión a la salida es igual 23.40 kV , entonces se ve que hubo una caída de tensión de 1.37 kV .

De esto último, calculemos la eficiencia de este generador de cuatro etapas como:

$$n = \left(\frac{\text{Tensión de salida máxima}}{\text{Tensión de salida ideal}} \right) \times 100$$

(4.2)

Con los datos obtenidos, al reemplazar se obtiene que:

$$n = \left(\frac{26.32 \text{ kV}}{27.44 \text{ kV}} \right) \times 100$$

$$n = 85.28 \%$$

Esto quiere decir que el Generador de Impulso tipo Marx de cuatro etapas propuesto tiene una eficiencia del 85.28%, lo cual es de esperarse pues la eficiencia de los generadores de impulso modernos están en el orden de 90% para pruebas de impulso tipo rayo y 75% para pruebas de impulso tipo maniobra de interruptores.

Nota: Las condiciones atmosféricas afectan las descargas eléctricas en un medio como el aire, debe introducirse un factor de corrección adimensional “k” [4] que afecta el valor final de voltaje de descarga a la

salida del generador y que es finalmente lo que recibe la carga, que en este caso es un espécimen de prueba del material escogido (alambre de cobre).

Como la ciudad de Lima está ubicada en la costa centro del Perú, prácticamente su altura sobre el nivel del mar no afecta muy significativamente el valor final de la descarga, pues su altura sobre el nivel del mar es aproximadamente 25 metros, el factor de corrección adimensional “k” es muy cercano a la unidad. También se debe tener en cuenta que como el clima en la ciudad de Lima es predominantemente húmedo, favorece a las descargas eléctricas como lo que trata este presente estudio, pues las moléculas de agua están libres en el aire, no siendo el caso si se tratase de un clima seco como ocurre en la sierra peruana.

Nota: El factor de corrección adimensional “k” se obtiene de la siguiente expresión:

$$k = \frac{1}{1+(1.25 \times 10^{-4}) \times H} \quad (4.3)$$

Donde:

H: Altura sobre el nivel del mar, en metros, del lugar donde se realiza la prueba.

Entonces se tiene que:

$$k = \frac{1}{1 + (1.25 \times 10^{-4}) \times 25} = 0.997$$

De donde:

- Valor corregido de Tensión Máxima Final = 23.40 kV x 0.997 = 23.330 kV

3.4 Resumen y consideraciones

3.4.1 Resumen de las características de la propuesta de diseño

Seguidamente, elaborando un resumen de la propuesta de diseño y de las simulaciones hechas en el presente tema de estudio para el caso del polímero de silicón; queda tal como se muestra a continuación en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resumen.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN	
Tipo	C.A. / C.D.
Características	Variable – Bipolar
Tensión de entrada	220 V Eficaces a 60 Hz.
Tensión máxima de salida	7.071 KV C.D.
Corriente máxima de salida	50 mA
Potencia máxima disipada	0.36 Kw
Protección en la entrada	I.T.M. 220 V Eficaces a 60 Hz. 2 A.
Protección en la salida	Fusible de Alta Tensión Limitador de Corriente y Rango Completo de 100 mA.
GENERADOR DE IMPULSO TIPO MARX	
Tipo	Bipolar
Característica	Inversor de Polaridad
Tensión continua de carga	6.86 kV
Numero de etapas	4
Tipo de electrodos	Esferas
Diámetro de esferas	6.25 cm
Separación máxima entre esferas	20 mm (2cm)
Tensión máxima de impulso	23.40 kV

Factor de corrección ("k")	0.997
Tensión corregida máxima de impulso	27.44 kV
Capacitancia propia	15 nF
Eficiencia	85.28 %
Protección	Línea de tierra
SIMULACIONES	
Tipo de Onda	Impulso
Forma de onda	Exponencial
Característica	Rayo Normalizada: 1.2/50 μs
Tiempo de frente de la onda, mínimo fijado	0.84 μs
Tiempo de frente de la onda, máximo fijado	1.56 μs
Tiempo de cola de la onda, mínimo fijado	40 μs
Tiempo de cola de la onda, máximo fijado	60 μs
Tiempo de frente de la onda, obtenido	1.260 μs
Tiempo de cola de la onda, obtenido	42.860 μs
Tensión ideal a la salida del generador	+/- 27.44
Tensión obtenida a la salida del generador	+/- 26.32

3.4.2 Costo de componentes para la fuente de alimentación

Tabla 4.2 Costes para la Fuente de Alimentación.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
Transformador Elevador Variable Monofásico 220 V/39 KV Eficaces C.A., 60 Hz., 2 KVA	1	S/. 900.00	S/. 900.00
Diodo de Alta Tensión (5SDD07D6000 -	12	S/.	S/.

ABB)		313.00	3756.00
Condensador para filtrado de 1 μ F - 5 KV	2	S/ 150.00	S/ 300.00
Interruptor Termo magnético Monofásico 220 V Eficaces C.A. - 60 Hz. - 2 A.	1	S/ 15.00	S/ 15.00
Fusible de Alta Tensión-Limitador de Corriente-Rango Completo de 100 mA.	2	S/ 115.50	S/ 231.00
TOTAL			
S/			
4902.00			

3.5 Costo de componentes para el Generador de Impulso

Tabla 4.3 Costes para Generador de Impulso.

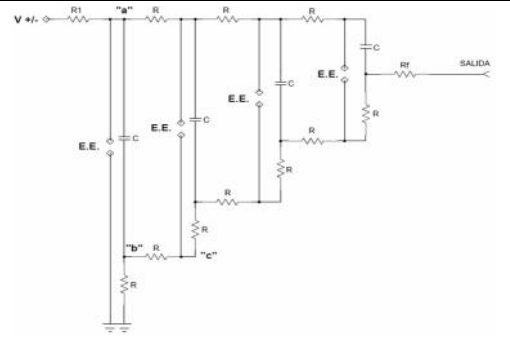

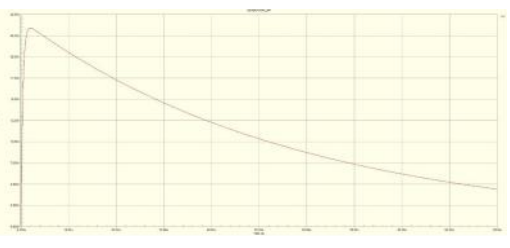
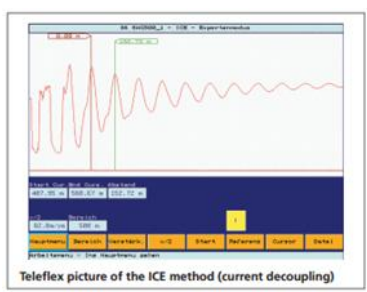
DESCRIPCIÓN	UNIDAS	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
Resistencia de carga de 10 K Ω , de baja inductancia	4	S/ 808.50	S/ 3234.00
Condensador de etapa de 0.75 μ F, 5 KV, de baja inductancia para descargas de elevadas corrientes de tipo: papel impregnado en aceite o dieléctrico seco, montado en recipiente de porcelana o resina sintética	4	S/ 150.00	S/ 600.00
Resistencia de 7.5 Ω , de carbón, de baja inductancia	4	S/ 50.00	S/ 200.00
Resistencia de 85 Ω , de carbón, de baja inductancia	4	S/ 85.00	S/ 340.00
Esfera Espinterométrica (Sphere Gap o Spark Gap) de Cobre de 12.5 cm. de diámetro	8	S/ 250.00	S/ 1000.00
TOTAL			
S/			
5,374.00			

3.6 Costo del estudio

- ❖ Costo del Estudio: S/. 3,500.00

3.7 Costo total del proyecto

- ❖ Costo total del proyecto: S/ 13,776.0

CUADRO COMPARATIVO			
EQUIPO PROPUESTO		MEGGER SMART THUMP ST16	
			
GRÁFICO DE SALIDA		GRÁFICO DE SALIDA	
			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
TIPO DE ONDA	No destructivo	TIPO DE ONDA	Destructivo
METODO DE LOCALIZACIÓN	Con Analizador de Señal	METODO DE LOCALIZACIÓN	Con sonda
RANGO DE VOLT.	No	RANGO DE VOLT.	3
TENSIÓN DE ENTRADA	220 AC	TENSIÓN DE ENTRADA	220 AC (Bat.)
RAYO NORMALIZADO 1.2/50	Si	RAYO NORMALIZADO 1.2/50	No
CAPACITANCIA	15nF	CAPACITANCIA	40nF
TENSIÓN MÁXIMA	23.40 kV	TENSIÓN MÁXIMA	5 kV
PRECIO	S/ .13,776.00	PRECIO	\$22,000.00

Explicación de la comparación:

El equipo MEGGER SMART THUMP ST16 cuenta con un tipo de onda senoidal en degradé por lo que se considera una onda tipo destructiva a diferencia de un impulso con la que cuenta el equipo propuesto, entonces con el equipo de MEGGER no se recomienda realizar esta prueba por

segunda vez ya que el conductor estaría expuesto a sufrir daños internos. El MEGGER cuenta con una sonda que sirve para detectar la falla luego de obtener su distancia de falla aproximada, a diferencia del equipo propuesto que no cuenta con la misma. El MEGGER tiene un rango de voltaje seleccionable en tres niveles y el equipo propuesto solo cuenta con uno.

La Tensión máxima del MEGGER tiene una tensión de 5 kV a diferencia del equipo propuesto cuenta con 23.40 kV.

El equipo propuesto cumple con el rayo normalizado 1.2/50 a diferencia del equipo MEGGER que cuenta con una onda destructiva.

Por último, la diferencia de precio entre el equipo propuesto y el MEGGER es de S/. 58,824 a favor del equipo propuesto.

CONCLUSIONES

- ❖ Según el diseño realizado utilizando los estudios de generadores de impulsos de alta tensión si es posible obtener según las simulaciones, la onda de impulsos normalizada utilizando el software Altium Designe, siendo esta técnica muy útil para elevar la onda de impulso en tensiones del orden de decenas de kilovoltios utilizando bucles o etapas que suman las tensiones pudiendo obtener en este caso una tensión de 23.4 kV utilizando los datos del diseño obtenido.
- ❖ Hay más de una técnica utilizadas en el mercado para la detección de fallas en cables de BT y MT. Entre ellas se encuentran los seguidores de traza de alta frecuencia, detector direccional de fallas, reflectómetros acústicos y generadores de alto potencial con TDR. Todas las mencionadas menos los generadores de alto potencial con TDR utilizan señales de entrada, ya sea de alta frecuencia o acústicas y se utiliza detectores que se trazan a lo largo del tendido del cable, es decir se debe recorrer el tendido del cable subterráneo para encontrar la falla; siendo una desventaja muy grande contra el generador de impulsos con TDR que se utiliza solo en un punto obteniendo la distancia de la falla. Los generadores de alto potencial con TDR también se utilizan solo en un punto, pero esta prueba es destructiva y si la falla se produjo por deterioro natural del aislamiento esta prueba podría generar que se produzca más roturas del cable en el trayecto.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para obtener una adecuada forma de onda a la salida del generador y consecuentemente ensayos cada vez mejores, se recomienda alimentar la Fuente de Alimentación del Generador de Impulso, con una tensión de línea (C.A.) preferentemente con baja cantidad de armónicos, ya que estos pueden distorsionar la forma de onda que se desea obtener a la salida, pudiéndose presentar oscilaciones o sobreimpulsos, lo cual hace que no sea aceptable en un ensayo de alto potencial tal como lo indican las normas ASTM e IEC respectivas.
- ❖ Se recomienda en el próximo trabajo complementar con el diseño del circuito de control del equipamiento, así como la interfaz hombre-máquina, además de un gabinete con protección IP-65 y además sea seguro contra riesgos eléctricos para el operador.
- ❖ Para la implementación del diseño propuesto, se recomienda utilizar los componentes recomendados en el presente trabajo, así como para los componentes complementarios deben cumplir estrictamente con los parámetros de operación, tensión y corriente, a fin de garantizar el óptimo desempeño del equipamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society for Testing and Materials, (2005), Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies Standard. En la ciudad de Washington.
- [2] American Society for Testing and Materials, (2005), Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials Using Impulse Waves Standard. En la ciudad de Washington.
- [3] Aislamiento de Máquinas Eléctricas, (2005), Apéndice 4
<http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/libros/cme/vol-03/2apend4/cm-a04a.htm>
- [4] BEDOYA, Duvier y ABEL, Francisco, (2004), Diseño y Construcción de un Espinterómetro para un Generador de Impulso de Alta Tensión. Parte I: Fundamentos. Scientia et Technica. No 26
- [5] Boylestad, Robert L. L. Nashelsky, (1999), Electrónica: Teoría de Circuitos Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México.

ANEXOS



Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials Using Impulse Waves¹

This standard is issued under the fixed designation D 3426; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of dielectric strength of solid electrical insulating materials under simulated-lightning impulse conditions.

1.2 Procedures are given for tests using standard 1.2 by 50 μ s full-wave impulses.

1.3 This test method is intended for use in determining the impulse dielectric strength of insulating materials, either using simple electrodes or functional models. It is not intended for use in impulse testing of apparatus.

1.4 This test method is similar to IEC Publication 243-3. All procedures in this test method are included in IEC 243-3. Differences between this test method and IEC 243-3 are largely editorial.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precaution statements are given in Section 9.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 149 Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies²

D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²

D 2413 Test Methods for Preparation and Electrical Testing of Insulating Paper and Board Impregnated with a Liquid Dielectric²

2.2 American National Standard:

C 68.1 Techniques for Dielectric Tests (IEEE Standard No. 4)³

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-9 on Electrical and Electronic Insulating Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D09.12 on Electrical Tests.

Current edition approved March 10, 1997. Published February 1998. Originally published as D 3426 – 75. Last previous edition D 3426 – 95.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

³ Available from American National Standards Institute, 11 West 42nd St., 13th Floor, New York, NY 10036.

2.3 IEC Standard:

Pub 243-3 Methods of Test for Electric Strength of Solid Insulating Materials—Part 3: Additional Requirements for Impulse Tests³

3. Terminology

3.1 *Definitions:* Reference should be made to Fig. 1 for the symbols mentioned.

3.1.1 *full-impulse-voltage wave, n*—an aperiodic transient voltage that rises rapidly to a maximum value, then falls less rapidly to zero.

3.1.2 *peak value of an impulse voltage wave, n*— the maximum value of voltage.

3.1.3 *virtual-peak value of an impulse voltage wave, n*—a value derived from a recording of an impulse wave on which high-frequency oscillations or overshoot of limited magnitude may be present. If the oscillations have a magnitude of no more than 5 % of the peak value and a frequency of at least 0.5 MHz, a mean curve may be drawn, the maximum amplitude of which is the virtual-peak value. If the oscillations are of greater magnitude, the voltage wave is not acceptable for standard tests.

3.1.4 *virtual-front time of an impulse voltage wave, n*—equal to 1.67 times the interval t_f between the instants when the voltage is 0.3 and 0.9 times the peak value (t_1 , Fig. 1).

3.1.5 *virtual origin of an impulse voltage wave, n*—the point of intersection O_1 with the line of zero voltage of a line drawn through the points of 0.3 and 0.9 times the peak voltage on the front of an impulse voltage wave.

3.1.6 *virtual time to half-value of an impulse voltage wave, n*—the time interval t_2 between the virtual origin O_1 and the instant on the tail when the voltage has decreased to half the peak value.

4. Summary of Test Method

4.1 A series of sets-of-three voltage waves of a specified shape (see 5.3) is applied to the test specimen. The voltage of successive sets is increased in magnitude until breakdown of the test specimen occurs.

4.2 The procedures for sampling and specimen preparation are as specified in the material specification or other document calling for the use of this test method. The surrounding

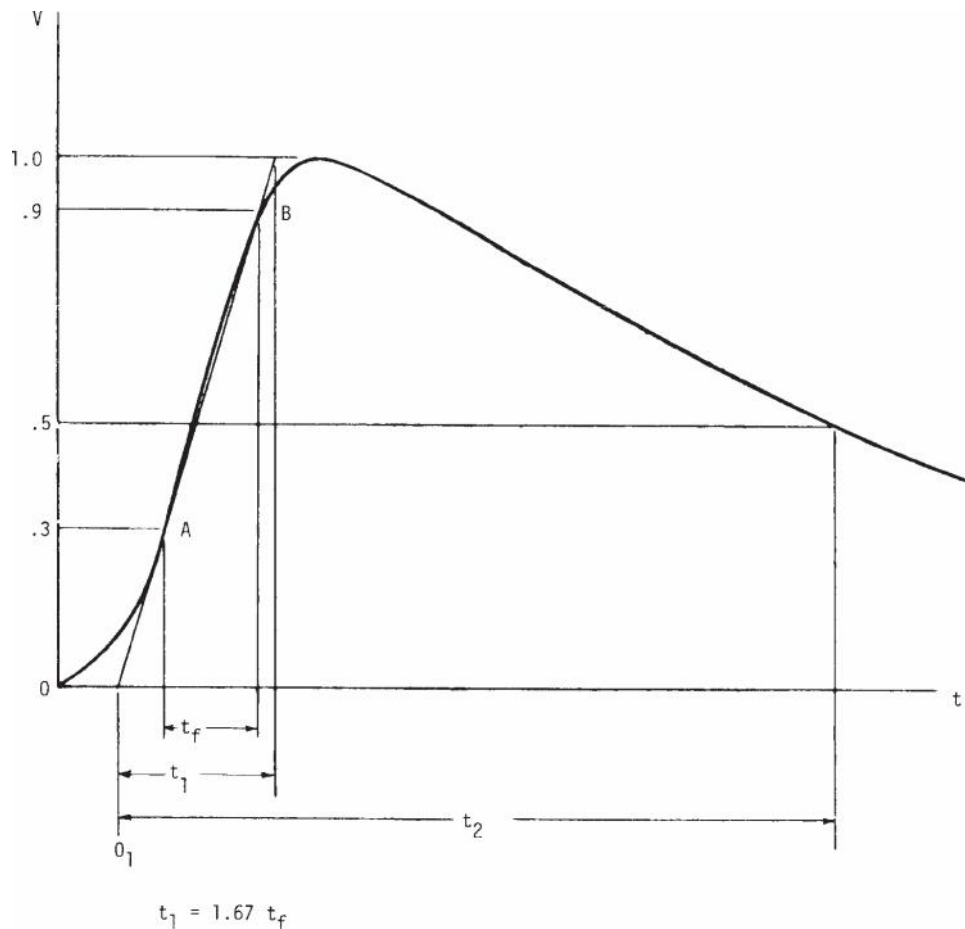


FIG. 1 Full-Impulse Voltage Wave

medium (air or other gas, or oil or other liquid) is also as specified if it differs from the medium in which the specimens are finally conditioned for test.

5. Significance and Use

5.1 Insulating materials used in high-voltage equipment may be subjected to transient voltage stresses, resulting from such causes as nearby lightning strokes. This is particularly true of apparatus such as transformers and switchgear used in electrical-power transmission and distribution systems. The ability of insulating materials to withstand these transient voltages is important in establishing the reliability of apparatus insulated with these materials.

5.2 Transient voltages caused by lightning may be of either positive or negative polarity. In a symmetrical field between identical electrodes, the polarity has no effect on the breakdown strength. However, with dissimilar electrodes there may be a pronounced polarity effect. It is common practice when using dissimilar electrodes, to make negative that electrode at which the higher gradient will appear. When asymmetrical electrodes are used for testing materials with which the tester has no previous experience or knowledge, it is recommended that he make comparative tests with positive polarity and negative polarity applied to the higher gradient, or smaller electrode, to determine which polarity produces the lower breakdown voltage.

5.3 The standard wave shape is a 1.2 by 50- μ s wave, reaching peak voltage in approximately 1.2 μ s and decaying to 50 % of peak voltage in approximately 50 μ s after the beginning of the wave. This wave is intended to simulate a lightning stroke that may strike a system without causing failure on the system.

5.4 For most materials, the impulse dielectric strength will be higher than either its power frequency alternating voltage or its direct voltage dielectric strengths. Because of the short time involved, dielectric heating and other thermal effects are largely eliminated during impulse testing. Thus, the impulse test gives values closer to the intrinsic breakdown strength than do longer time tests. From comparisons of the impulse dielectric strength with the values obtained from longer time tests, inferences may be drawn as to the modes of failures under the various tests for a given material. Appendix X1 of Test Method D 149 should be referred to for further information on this subject.

6. Apparatus

6.1 *Impulse Generator*, capable of applying to the test specimen a standard 1.2 by 50- μ s wave of either positive or negative polarity. The virtual front time shall be $1.2 \mu\text{s} \pm 30\%$ and the virtual time to half value $50 \mu\text{s} \pm 20\%$. The maximum voltage and the energy-storage capability must be sufficient to provide impulse waves of the proper shape to any specimen to

be tested up to the breakdown voltage (or specified proof voltage) of the material. The electrical characteristics (particularly capacitance) of the test specimen may have a significant effect on the magnitude and shape of the applied voltage wave, especially when using generators having low energy-storage capability. In such cases, provisions must be made for monitoring and adjusting the voltage wave shape.

6.2 *Voltage-Measurement Equipment*, meeting the requirements of ANSI C68.1.

6.3 *Electrodes*:

6.3.1 Electrodes shall be as defined in the specification or method in which reference is made to this test method. If no electrodes are specified, one of the types listed in Table 1 of Test Method D 149 should be used when testing materials as listed in Table 1 of Test Method D 149.

6.3.2 The surfaces of the electrodes must be polished and free of projecting irregularities resulting from previous tests.

6.4 *Surrounding Medium*, as specified for the material being tested. If the surrounding medium is not specified, refer to 8.2 and 8.3 and to the section on Surrounding Medium in Test Method D 149 for guidance.

7. Sampling

7.1 Sample in accordance with the requirements given in the document in which this test method is specified.

7.2 Sample in such a manner as to permit preparation of test specimens that are representative of the lot or other unit of material being evaluated.

7.3 Handle and store the samples (and specimens prepared from the samples) in a manner to prevent alteration of the properties of the material due to such handling and storage.

8. Test Specimens

8.1 Prepare specimens of sufficient number and size to permit making five valid tests (see 9.2.4).

8.2 Prepare the specimens for test using procedures as specified in the material specification. (In general, materials should be tested in the medium in which they are to be used, after conditioning in a manner representative of the manufacturing methods to which they will be subjected.)

8.3 When testing specimens in a surrounding medium other than air, do not remove them from that surrounding medium subsequent to final conditioning for test until after completion of the test. As a specific example, when conditioning specimens for testing in oil by vacuum-impregnation with oil do not remove the specimen from oil even momentarily prior to testing.

9. Procedure

9.1 **Warning**— *Lethal voltages are a potential hazard during the performance of this test. It is essential that the test apparatus, and all associated equipment electrically connected to it, be properly designed and installed for safe operation. Solidly ground all electrically conductive parts which it is possible for a person to contact during the test. Provide means for use at the completion of any test to ground any parts which were at high voltage during the test or have the potential for acquiring an induced charge during the test or retaining a*

charge even after disconnection of the voltage source. Thoroughly instruct all operators as to the correct procedures for performing tests safely. When making high voltage tests, particularly in compressed gas or in oil, it is possible for the energy released at breakdown to be sufficient to result in fire, explosion, or rupture of the test chamber. Design test equipment, test chambers, and test specimens so as to minimize the possibility of such occurrences and to eliminate the possibility of personal injury. If the potential for fire exists, have fire suppression equipment available.

9.2 *Voltage Application*:

9.2.1 Place the specimen between the electrodes and apply waves of the polarity specified. The initial peak voltage shall be approximately 70 % of the expected breakdown voltage.

9.2.2 Apply the impulse waves in sets of three waves, each set at successively increasing voltage levels until breakdown occurs. Each level of peak voltage shall be higher than the preceding level by from 5 to 10 % of the crest voltage of the initial level.

9.2.3 The minimum time between successive voltage applications is dependent upon the charging time-constant of the generator and should be three times the time constant.

9.2.4 A valid test is one in which impulse waves are applied for at least two levels without breakdown before breakdown occurs at the third or some higher voltage level.

9.3 *Criteria of Breakdown*:

9.3.1 Observation of actual rupture, either visually or audibly, may be the most immediate indication of failure. For some specimen configurations, observation of the impulse wave on an oscilloscope may be the most sensitive indication. A collapse of the voltage wave at any point is an indication of failure either by puncture or surface creepage.

9.3.2 The impulse dielectric breakdown voltage is the peak voltage that the wave causing breakdown would have reached had breakdown not occurred.

9.4 *Thickness*— Measure the average thickness of the specimen in the area between the electrodes, using procedures given in Test Methods D 374 for the material being tested.

10. Calculation

10.1 Calculate the impulse-withstand strength using the specimen thickness and the value for the maximum level of impulse voltage that did not cause failure of the specimen.

10.2 Calculate the impulse-breakdown dielectric strength using the specimen thickness and the value for impulse dielectric breakdown voltage.

11. Report

11.1 Report the following:

11.1.1 Identification of test sample,

11.1.2 For each specimen:

11.1.2.1 Average thickness,

11.1.2.2 Maximum impulse-withstand voltage,

11.1.2.3 Impulse dielectric breakdown voltage,

NOTE 1—It may in some cases be desirable to report which of the three impulse waves at the breakdown level resulted in failure.

11.1.2.4 Impulse-withstand strength,

11.1.3 For each sample:



- 11.1.3.1 Average impulse-withstand strength,
- 11.1.3.2 Average impulse dielectric breakdown strength,
- 11.1.3.3 Indication of variability, preferably the standard deviation, from the average dielectric strengths,
- 11.1.4 Conditioning or specimen preparation,
- 11.1.5 Ambient atmospheric temperature,
- 11.1.6 Surrounding medium,
- 11.1.7 Test temperature,
- 11.1.8 Impulse wave polarity,
- 11.1.9 Initial voltage level and magnitude of voltage steps, and
- 11.1.10 Date of test.

12. Precision and Bias

12.1 The precision and bias for this test method have not been established.

12.2 Tests made by one operator in a single laboratory, using one test set over a period of 18 months, on 15 sets of 5 randomized specimens from a single reference sample, resulted in a repeatability within $\pm 5\%$. The sample was 0.002-in (50- μm) thick high-density capacitor tissue. The specimens were made up of three layers and were impregnated with oil prior to test in accordance with Test Methods D 2413. The specimens were tested under oil, using Type 1 electrodes. The average impulse breakdown strength for the 15 sets of specimens ranged from 4200 to 4600 V/mil (165 to 181 kV/mm).

13. Keywords

13.1 dielectric breakdown; dielectric breakdown criteria; dielectric breakdown voltage; dielectric strength; full-impulse-voltage wave; impulse dielectric strength; impulse generator; impulse waves; lightning strokes; peak value; simulated-lightning impulse; solid insulating material; virtual front time; virtual origin; virtual peak value; virtual time to half-value

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60243-1

Deuxième édition
Second edition
1998-01

**Rigidité diélectrique des matériaux isolants –
Méthodes d'essai –**

**Partie 1:
Essais aux fréquences industrielles**

**Electrical strength of insulating materials –
Test methods –**

**Part 1:
Tests at power frequencies**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60243-1: 1998

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60243-1

Deuxième édition
Second edition
1998-01

**Rigidité diélectrique des matériaux isolants –
Méthodes d'essai –**

**Partie 1:
Essais aux fréquences industrielles**

**Electrical strength of insulating materials –
Test methods –**

**Part 1:
Tests at power frequencies**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Généralités	8
2 Définitions	10
3 Signification des essais	10
4 Electrodes et éprouvettes	12
5 Conditionnement avant les essais.....	22
6 Milieu environnant	22
7 Appareillage électrique	24
8 Mode opératoire	26
9 Mode de montée en tension	28
10 Critère de claquage	30
11 Nombre d'essais	32
12 Procès-verbal d'essai	32
Figures.....	34
Annexe A – Traitement des résultats expérimentaux	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General.....	9
2 Definitions.....	11
3 Significance of the test.....	11
4 Electrodes and specimens.....	13
5 Conditioning before tests.....	23
6 Surrounding medium	23
7 Electrical apparatus.....	25
8 Procedure	27
9 Mode of increase of voltage.....	29
10 Criterion of breakdown	31
11 Number of tests.....	33
12 Report.....	3`
Figures.....	35
Annex A – Treatment of experimental data.....	47

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES MATÉRIAUX ISOLANTS – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 1: Essais aux fréquences industrielles

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60243-1 a été établie par le sous-comité 15E: Méthodes d'essais, du comité d'études 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1988 et constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
15E/86/FDIS	15E/92/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRICAL STRENGTH OF INSULATING MATERIALS –
TEST METHODS –****Part 1: Tests at power frequencies**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60243-1 has been prepared by subcommittee 15E: Methods of test, of IEC technical committee 15: Insulating materials.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1988 and constitutes a technical revision.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
15E/86/FDIS	15E/92/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Annex A is for information only.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale fait partie d'une série traitant des essais pour déterminer la rigidité diélectrique des matériaux isolants solides.

Cette série comprend trois parties, présentées sous le titre général *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai –*

Partie 1: Essais aux fréquences industrielles (CEI 60243-1);

Partie 2: Prescriptions complémentaires pour les essais à tension continue (CEI 60243-2);

Partie 3: Prescriptions complémentaires pour les essais aux ondes de choc (CEI 60243-3).

INTRODUCTION

This International Standard is one of a series which deals with tests for electric strength of solid insulating materials. The series consists of three parts under the general title: *Electric strength of insulating materials – Test methods –*

Part 1: Tests at power frequencies (IEC 60243-1);

Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage (IEC 60243-2);

Part 3: Additional requirements for impulse tests (IEC 60243-3).

RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUE DES MATÉRIAUX ISOLANTS – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 1: Essais aux fréquences industrielles

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60243 décrit les méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité diélectrique de courte durée des matériaux isolants solides, aux fréquences industrielles comprises entre 48 Hz et 62 Hz. Elle ne décrit pas la manière de faire l'essai des liquides ou des gaz bien que ceux-ci soient spécifiés et utilisés comme imprégnants ou comme milieu ambiant pour l'essai des matériaux isolants solides.

NOTE – Les méthodes pour déterminer les tensions de claquage en surface des matériaux isolants sont indiquées.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60243. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60243 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60212: 1977, *Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides*

CEI 60296: 1982, *Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*

CEI 60455-2: 1977, *Spécification relative aux composés résineux polymérisables sans solvant utilisés comme isolants électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60464-2: 1974, *Spécification relative aux vernis isolants contenant un solvant – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60674-2: 1988, *Spécification pour les films en matière plastique à usages électriques – Partie 2: Méthodes d'essai*

CEI 60684-2 –, *Spécification pour gaines isolantes souples – Partie 2: Méthodes d'essai¹⁾*

ISO 293: 1986, *Plastiques – Moulage par compression des éprouvettes en matières thermo-plastiques*

ISO 294-1: 1996, *Plastiques – Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermo-plastiques – Partie 1: Principes généraux et moulage des éprouvettes à usages multiples et des barreaux*

¹⁾ A publier.

ELECTRICAL STRENGTH OF INSULATING MATERIALS – TEST METHODS –

Part 1: Tests at power frequencies

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 60243 gives methods of test for the determination of the short-time electric strength of solid insulating materials at power frequencies, that is, those between 48 Hz and 62 Hz. It does not consider the testing of liquids and gases, although these are specified and used as impregnants or surrounding media for the solid insulating materials being tested.

NOTE – Methods for the determination of breakdown voltages along the surfaces of solid insulating materials are included.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in the text, constitute provisions of this part of IEC 60243. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60243 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently available International Standards.

IEC 60060-1:1993, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60296: 1982, *Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgears*

IEC 60455-2: 1977, *Specification for solventless polymerizable resinous compounds used for electrical insulation – Part 2: Methods of test*

IEC 60464-2: 1974, *Specification for insulating varnishes containing solvent – Part 2: Test methods*

IEC 60674-2: *Specification for plastic films for electrical purposes – Part 2: Methods of test*

IEC 60684-2 –, *Specification for flexible insulating sleeving – Part 2: Methods of test*¹⁾

ISO 293: 1986, *Plastics – Compression moulding of test specimens of thermoplastic materials*

ISO 294-1: 1996, *Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials – Part 1: General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens*

¹⁾ To be published.

ISO 294-3: 1996, *Plastiques – Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermo-plastiques – Partie 3: Plaques de petites dimensions*

ISO 295: 1991, *Plastiques – Moulage par compression des éprouvettes en matières thermo-durcissables*

ISO 10724: 1994, *Plastiques – Matières à mouler thermodurcissables – Moulage par injection d'éprouvettes à usages multiples*

2 Définitions

Pour les besoins de la présente norme, les définitions suivantes s'appliquent:

2.1

claquage électrique

perte importante des propriétés isolantes des éprouvettes lorsque exposées à des contraintes électriques, provoquant dans le circuit d'essai le courant suffisant pour faire déclencher un disjoncteur approprié.

NOTE – Le claquage est souvent provoqué par des décharges partielles dans le gaz, ou dans le liquide support entourant l'éprouvette et les électrodes, provoquant une perforation de l'éprouvette, au-delà de la périphérie de la plus petite électrode (ou des deux électrodes si elles ont le même diamètre).

2.2

contournement

perte des propriétés isolantes du gaz ou du milieu liquide environnant une éprouvette et les électrodes lorsque exposées à des contraintes électriques, provoquant dans le circuit d'essai le courant suffisant pour faire déclencher un disjoncteur approprié.

NOTE – La présence de traces de carbonisation ou de perforation de l'éprouvette fait la distinction entre les essais avec claquages de ceux avec contournement.

2.3

tension de claquage:

2.3.1 (pour les essais avec augmentation continue de tension) Tension pour laquelle une éprouvette subit le claquage dans les conditions d'essai prescrites

2.3.2 (pour les essais par paliers) Tension la plus élevée qu'une éprouvette supporte sans claquer pendant la durée et pour le niveau de tension correspondant à cet essai

2.4

rigidité diélectrique

quotient de la tension de claquage par la distance séparant les électrodes entre lesquelles est appliquée la tension dans les conditions d'essai prescrites

NOTE – Sauf spécification contraire, il convient que la distance entre les électrodes d'essai soit déterminée conformément à 4.4 de la présente norme.

3 Signification des essais

3.1 Les résultats d'essai de rigidité diélectrique obtenus en application de cette norme peuvent être utilisés pour détecter des modifications ou des écarts par rapport aux caractéristiques normales des matériaux isolants provenant des paramètres de fabrication, des conditions de vieillissement ou d'autres causes intervenant lors de la fabrication ou dues à l'environnement. Toutefois, ils ne peuvent que rarement être directement utilisés pour déterminer le comportement des matériaux isolants lors de leur application effective.

ISO 294-3: 1996, *Plastics – Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials – Part 3: Small plates*

ISO 295: 1991, *Plastics – Compression moulding of test specimens of thermosetting materials*

ISO 10724:1994, *Plastics – Thermosetting moulding materials – Injection moulding of multipurpose test specimens*

2 Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply:

2.1

electric breakdown

severe loss of the insulating properties of test specimens while exposed to electric stress, which causes the current in the test circuit to operate an appropriate circuit-breaker

NOTE – Breakdown is often caused by partial discharges in the gas or liquid medium surrounding the test specimen and the electrodes which puncture the specimen beyond the periphery of the smaller electrode (or of both electrodes, if of equal diameter).

2.2

flashover

loss of the insulating properties of the gas or liquid medium surrounding a test specimen and electrodes while exposed to electric stress, which causes the current in the test circuit to operate an appropriate circuit-breaker

NOTE – The presence of carbonized channels or punctures through the specimen distinguishes tests where breakdown occurred, from others where flashover occurred.

2.3

breakdown voltage:

2.3.1 (in tests with continuously rising voltage) Voltage at which a specimen suffers breakdown under the prescribed test conditions

2.3.2 (in step-by-step tests) Highest voltage which a specimen withstands without breakdown for the duration of the time at that voltage level

2.4

electric strength

quotient of the breakdown voltage and the distance between the electrodes between which the voltage is applied under the prescribed test conditions

NOTE – The distance between the test electrodes should be determined as specified in 4.4 of this standard, unless otherwise specified.

3 Significance of the test

3.1 Electric strength test results obtained in accordance with this standard can be used for detecting changes or deviations from normal characteristics resulting from processing variables, ageing conditions or other manufacturing or environmental situations but can seldom be used directly to determine the behaviour of insulating materials in an actual application.

3.2 Les valeurs de rigidité diélectrique mesurée sur un matériau peuvent être affectées par de nombreux facteurs, parmi lesquels:

3.2.1 Conditionnement des éprouvettes:

- a) l'épaisseur et l'homogénéité de l'éprouvette ainsi que la présence de contraintes mécaniques;
- b) le conditionnement préalable des éprouvettes, en particulier les procédures de séchage et d'imprégnation;
- c) la présence d'inclusions gazeuses, d'humidité ou d'autres agents de contamination.

3.2.2 Conditions d'essai:

- a) la fréquence, la forme d'onde, la vitesse de montée en tension ou la durée d'application de la tension;
- b) la température, la pression et l'humidité de l'atmosphère ambiante;
- c) la configuration, les dimensions et la conductibilité thermique des électrodes d'essai;
- d) les caractéristiques électriques et thermiques du milieu ambiant.

3.3 Il convient de tenir compte de l'effet de tous ces facteurs lorsqu'on effectue des recherches sur de nouveaux matériaux pour lesquels on n'a pas l'expérience. Cette norme définit les conditions particulières qui permettent de faire rapidement une distinction entre matériaux et qui peuvent être utilisées pour le contrôle de la qualité ou à des fins analogues.

Les résultats donnés par les différentes méthodes ne sont pas directement comparables mais peuvent permettre d'obtenir des informations sur les rigidités diélectriques relatives des matériaux. Il convient de noter que la rigidité diélectrique de la plupart des matériaux isolants décroît lorsque l'épaisseur de l'éprouvette placée entre les électrodes et la durée d'application de la tension croissent.

3.4 La rigidité diélectrique de la plupart des matériaux varie significativement en fonction de l'intensité et de la durée des décharges superficielles avant le claquage. Pour des applications exemptes de décharges partielles jusqu'à la tension d'essai, il est très important de connaître la rigidité diélectrique en l'absence de décharges avant le claquage. Toutefois, les méthodes indiquées dans cette norme ne sont généralement pas aptes à fournir de telles indications.

3.5 Les matériaux de rigidité diélectrique élevée ne résistent pas nécessairement aux dégradations à long terme telles que la chaleur, l'érosion ou la détérioration chimique dues aux décharges partielles, ou à la détérioration électrochimique en présence d'humidité, qui peuvent toutes entraîner des claquages en service sous des contraintes beaucoup plus faibles.

4 Electrodes et éprouvettes

Les électrodes métalliques doivent être maintenues en tout temps lisses, propres et sans défaut.

NOTE 1 – Cette condition est d'autant plus importante lors de l'essai d'éprouvettes minces. On utilise de préférence des électrodes en acier inoxydable pour diminuer les dommages sur les électrodes lors du claquage.

Les connexions aux électrodes ne doivent pas entraîner d'inclinaison ou un quelconque déplacement des électrodes, ni influencer la pression sur les éprouvettes ou modifier notablement la configuration du champ électrique au voisinage des éprouvettes.

NOTE 2 – Si des films très minces sont essayés (par exemple d'épaisseur inférieure à 5 μm), il convient que les normes relatives à ces matériaux spécifient les électrodes et les modes opératoires particuliers concernant la manipulation et la préparation des éprouvettes.

3.2 Measured values of the electric strength of a material may be affected by many factors, including:

3.2.1 Condition of test specimens:

- a) the thickness and homogeneity of the specimen and the presence of mechanical strain;
- b) previous conditioning of the specimens, in particular drying and impregnation procedures;
- c) the presence of gaseous inclusions, moisture or other contamination.

3.2.2 Test conditions:

- a) the frequency, waveform and rate of rise or time of application of the voltage;
- b) the ambient temperature, pressure and humidity;
- c) the configuration, the dimensions, and thermal conductivity of the test electrodes;
- d) the electrical and thermal characteristics of the surrounding medium.

3.3 The effects of all these factors should be considered when investigating materials for which no experience exists. This standard defines particular conditions which give rapid discrimination between materials and which can be used for quality control and similar purposes.

The results given by different methods are not directly comparable but each may provide information on relative electric strengths of materials. It should be noted that the electric strength of most materials decreases as the thickness of the specimen between the electrodes increases and as the time of voltage application increases.

3.4 The measured electric strength of most materials is significantly affected by the intensity and the duration of surface discharges prior to breakdown. For designs which are free from partial discharges up to the test voltage, it is very important to know the electric strength without discharges prior to breakdown but the methods in this standard are generally not suitable for providing this information.

3.5 Materials with high electric strength will not necessarily resist long-term degradation processes such as heat, erosion or chemical deterioration by partial discharges, or electrochemical deterioration in the presence of moisture, all of which may cause failure in service at much lower stress.

4 Electrodes and specimens

The metal electrodes shall be maintained smooth, clean and free from defects at all times.

NOTE 1 – This maintenance becomes more important when thin specimens are being tested. Stainless steel electrodes are preferred to minimize electrode damage at breakdown.

The leads to the electrodes shall not tilt or otherwise move the electrodes or affect the pressure on the specimen, nor appreciably affect the electric field configuration in the neighbourhood of the specimen.

NOTE 2 – When very thin films (for example < 5 µm thick) are to be tested the standards for those materials should specify the electrodes and special procedures for handling and specimen preparation.

4.1 Essais perpendiculairement à la surface de matériaux non stratifiés et perpendiculairement aux strates de matériaux stratifiés

4.1.1 Matériaux en planches et feuilles y compris les cartons, papiers, tissus et films

4.1.1.1 Electrodes de dimensions inégales

Les électrodes doivent consister en deux cylindres métalliques aux arêtes arrondies à un rayon de $3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. L'une des électrodes doit avoir un diamètre de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ et une hauteur d'environ 25 mm. L'autre électrode doit avoir un diamètre de $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ et une hauteur d'environ 15 mm. Ces deux électrodes doivent être disposées de façon coaxiale à 2 mm près, comme indiqué sur la figure 1a.

4.1.1.2 Electrodes de même diamètre

Si on utilise un dispositif permettant d'aligner avec une précision de 1,0 mm l'électrode supérieure et l'électrode inférieure, le diamètre de l'électrode inférieure peut être réduit à $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, les diamètres des deux électrodes ne devant pas différer de plus de 0,2 mm. Les résultats obtenus ne seront pas nécessairement les mêmes que ceux obtenus avec les électrodes différentes indiquées en 4.1.1.1.

4.1.1.3 Essais sur des éprouvettes épaisses

Quand cela est spécifié, les planches et les feuilles d'épaisseur supérieure à 3 mm doivent être réduites aux dimensions de $3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ par usinage d'un seul côté, puis essayées avec l'électrode haute tension sur le côté non usiné.

NOTE – Si nécessaire pour éviter le contournement ou en raison des limitations imposées par le matériel disponible, des éprouvettes peuvent être préparées par usinage pour obtenir des épaisseurs aussi petites que voulues.

4.1.2 Rubans, films et bandes étroites

Les électrodes doivent consister en deux tiges métalliques de $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diamètre chacune, fixées verticalement l'une au-dessus de l'autre dans un support de façon que l'éprouvette soit maintenue entre les faces des extrémités des barres.

Les électrodes supérieure et inférieure doivent être coaxiales à 0,1 mm près. Les extrémités des électrodes doivent former des plans perpendiculaires aux axes et être arrondies suivant un rayon de $1 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. L'électrode supérieure doit avoir une masse de $50 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ et pouvoir se mouvoir librement dans le sens vertical du support.

La figure 2 représente une disposition convenable. Si les éprouvettes doivent être essayées en extension, elles doivent être fixées dans un support les maintenant dans la position désirée par rapport à l'assemblage présenté à la figure 2. L'enroulement d'une extrémité de l'éprouvette autour d'un cylindre tournant est un moyen convenable pour obtenir l'extension désirée.

Pour empêcher un contournement aux environs des bords des rubans de faible largeur, on peut fixer l'éprouvette à l'aide de bandes de film ou d'un autre matériau diélectrique mince recouvrant les bords du ruban. On peut aussi utiliser des joints autour des électrodes à condition de ménager un espace annulaire de 1 mm à 2 mm entre l'électrode et le joint. La distance séparant l'électrode inférieure et l'éprouvette doit être inférieure à 0,1 mm (avant que l'électrode supérieure ne vienne en contact avec l'éprouvette).

NOTE – Pour l'essai des films, voir la CEI 60674-2.

4.1 Tests perpendicularly to the surface of non-laminated materials and normal to laminae of laminated materials

4.1.1 Boards and sheet materials, including pressboards, papers, fabrics and films

4.1.1.1 Unequal electrodes

The electrodes shall consist of two metal cylinders with the edges rounded to give a radius of $3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. One electrode shall be $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ in diameter and approximately 25 mm high. The other electrode shall be $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ in diameter and approximately 15 mm high. These electrodes shall be arranged coaxially within 2 mm as in figure 1a.

4.1.1.2 Equal diameter electrodes

If a fixture is employed, which accurately aligns upper and lower electrodes within 1,0 mm, the diameter of the lower electrode may be reduced to $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, the diameters of the two electrodes differing by no more than 0,2 mm. The results obtained will not necessarily be the same as those obtained with the unequal electrodes of 4.1.1.1.

4.1.1.3 Tests on thick sample

When specified, boards and sheets over 3 mm thick shall be reduced by machining on one side to $3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ and then tested with the high-potential electrode on the non-machined surface.

NOTE – When it is necessary in order to avoid flashover or because of limitations of available equipment, specimens may be prepared by machining to smaller thicknesses as needed.

4.1.2 Tapes, films and narrow strips

The electrodes shall consist of two metal rods, each $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ in diameter, mounted vertically one above the other in a jig so that the specimen is held between the faces of the ends of the rods.

The upper and lower electrodes shall be coaxial within 0,1 mm. The ends of the electrodes shall form planes at right angles to their axes, with edge radii of $1 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. The upper electrode shall have a mass of $50 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ and shall move freely in the vertical direction in the jig.

Figure 2 shows an appropriate arrangement. If specimens are to be tested while extended, they shall be clamped in a frame holding them in the required position relative to the assembly shown in figure 2. Wrapping one end of the specimen around a rotatable rod is one convenient way of achieving the required extension.

To prevent flashover around the edges of narrow tapes, the test specimen may be clamped using strips of film or other thin dielectric material overlapping the edges of the tape. Alternatively, gaskets that surround the electrodes may be used, provided that there is an annular space between electrode and gasket of 1 mm to 2 mm. The distance between the bottom electrode and the specimen (before the top electrode comes in contact with the specimen) shall be less than 0,1 mm.

NOTE – For testing films see IEC 60674-2.

4.1.3 Tubes et gaines souples

A essayer conformément à la CEI 60684-2.

4.1.4 Tubes rigides (de diamètre intérieur inférieur ou égal à 100 mm)

L'électrode extérieure doit être constituée d'un ruban métallique de 25 mm \pm 1 mm de largeur. L'électrode intérieure est un conducteur étroitement ajusté, par exemple tige, tube, feuille métallique ou empilement de billes métalliques de 0,75 mm à 2 mm de diamètre, assurant un bon contact avec la surface intérieure. Dans tous les cas, les extrémités de l'électrode intérieure doivent dépasser celles de l'électrode extérieure de 25 mm au moins.

NOTE – S'il n'en résulte pas d'effet défavorable, on peut utiliser de la vaseline pour faire adhérer la feuille aux surfaces intérieure et extérieure.

4.1.5 Tubes et cylindres (de diamètre intérieur supérieur à 100 mm)

L'électrode extérieure doit être constituée d'un ruban métallique de 75 mm \pm 1 mm de largeur et l'électrode intérieure d'un disque en feuille métallique de 25 mm \pm 1 mm de diamètre, d'une souplesse suffisante pour lui permettre de s'adapter à la courbure du cylindre. Le montage est indiqué à la figure 3.

4.1.6 Matières coulées et moulées

4.1.6.1 Matières coulées

Faire une éprouvette et effectuer les essais conformément à la CEI 60455-2.

4.1.6.2 Matières moulées

Utiliser une paire d'électrodes sphériques, de 20 mm \pm 0,1 mm de diamètre chacune, disposée sur un axe commun, perpendiculaire au plan constitué par l'éprouvette (voir figure 4).

4.1.6.2.1 Thermodurcis

Utiliser des éprouvettes de 1,0 mm \pm 0,1 mm d'épaisseur, moulées par compression conformément à l'ISO 295, ou moulées par injection conformément à l'ISO 10724, avec des dimensions latérales suffisantes pour éviter le contournement (voir 4.3.2).

NOTE – S'il n'est pas possible d'utiliser des éprouvettes de 1,0 mm \pm 0,1 mm d'épaisseur, il convient d'utiliser des éprouvettes de 2,0 mm \pm 0,2 mm d'épaisseur.

4.1.6.2.2 Thermoplastiques

Utiliser des éprouvettes moulées par injection conformes à l'ISO/DIS 294-1 et à l'ISO/DIS 294-3, dans un moule ISO de type D1 60 mm \times 60 mm \times 1 mm. Si ces dimensions sont insuffisantes pour éviter les contournements (voir 4.3.2), ou si des éprouvettes moulées par compression sont stipulées par la norme relative au matériau considéré, utiliser des plateaux moulés par compression d'au moins 100 mm de diamètre et de 1,0 mm \pm 0,1 mm d'épaisseur conformément à l'ISO 293.

Pour les conditions de moulage par injection ou compression, voir la norme relative au matériau correspondant. S'il n'y a pas de norme applicable de matériau correspondant, les conditions doivent faire l'objet d'un accord entre les parties intéressées.

4.1.3 Flexible tubing and sleeving

To be tested according to IEC 60684-2.

4.1.4 Rigid tubes (having an internal diameter up to and including 100 mm)

The outer electrode shall consist of a band of metal foil 25 mm \pm 1 mm wide. The inner electrode is a closely fitting internal conductor, e.g. rod, tube, metal foil or a packing of metal spheres 0,75 mm to 2 mm in diameter, making good contact with the inner surface. In each case, the ends of the inner electrode shall extend for at least 25 mm beyond the ends of the outer electrode.

NOTE – Where no adverse effect will result, petroleum jelly may be used for attaching the foil to the inner and outer surfaces.

4.1.5 Tubes and hollow cylinders (having an internal diameter greater than 100 mm)

The outer electrode shall be a band of metal foil 75 mm \pm 1 mm wide and the inner electrode, a disk of metal foil 25 mm \pm 1 mm in diameter, flexible enough to conform with the curvature of the cylinder. The arrangement is shown in figure 3.

4.1.6 Cast and moulded materials

4.1.6.1 Cast materials

Make test pieces and test according to IEC 60455-2.

4.1.6.2 Moulded materials

Use a pair of spherical electrodes, each 20 mm \pm 0,1 mm in diameter, arranged on a common axis which is normal to the plane of the test specimen (see figure 4).

4.1.6.2.1 Thermosets

Use test specimens of 1,0 mm \pm 0,1 mm thickness, compression moulded in accordance with ISO 295; or injection moulded in accordance with ISO 10724 with lateral dimensions which are sufficient to prevent flashover (see 4.3.2).

NOTE – If it is not possible to use specimens of 1,0 mm \pm 0,1 mm thickness, specimens with a thickness of 2,0 mm \pm 0,2 mm should be used.

4.1.6.2.2 Thermoplastics

Use test specimens injection moulded in accordance with ISO/DIS 294-1 and ISO/DIS 294-3, ISO mould type D1 60 mm \times 60 mm \times 1 mm. If these dimensions are insufficient to prevent flashover (see 4.3.2) or if compression moulded test specimens are stipulated by the standard for the relevant material, use plates at least 100 mm in diameter and 1,0 mm \pm 0,1 mm thick, compression moulded in accordance with ISO 293.

For the conditions of injection or compression moulding see the standard for the relevant material. If there is no applicable material standard, the conditions must be agreed between the interested parties.

4.1.7 Pièces solides façonnées

Pour les pièces solides façonnées qui ne peuvent pas être insérées entre des électrodes dont les faces sont planes, il convient d'utiliser des électrodes sphériques, identiques et en regard. Les électrodes communément utilisées pour ce type d'essais ont un diamètre de 12,5 mm ou de 20 mm (voir figure 5).

4.1.8 Vernis

A essayer conformément à la CEI 60464-2.

4.1.9 Masses de remplissage

Les électrodes doivent être constituées de deux sphères métalliques de 12,5 mm à 13 mm de diamètre, disposées horizontalement le long d'un même axe séparées par $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, et sauf spécification contraire, noyées dans la masse de remplissage. On doit veiller à éviter la formation de cavités, en particulier entre les électrodes. Étant donné que les valeurs obtenues avec des distances différentes entre les électrodes ne sont pas directement comparables, la valeur de cette distance doit être précisée dans la spécification et notée dans le procès verbal d'essai.

4.2 Essais effectués parallèlement à la surface des matériaux isotropes ou le long des strates de stratifiés

S'il n'y a pas lieu de différencier entre claquage par perforation ou par contournement en surface des éprouvettes, on peut utiliser les électrodes de 4.2.1 ou de 4.2.2, de préférence de 4.2.1.

Si l'on veut éviter un contournement en surface, les électrodes de 4.2.3 doivent être choisies.

4.2.1 Electrodes plaques parallèles

4.2.1.1 Planches et feuilles

Pour les essais de planches et de feuilles, l'éprouvette doit être de l'épaisseur du matériau à essayer et rectangulaire, de longueur $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ et de largeur $25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Ses tranches dans le sens de la longueur doivent être découpées de façon à obtenir des plans parallèles, à angles droits avec la surface du matériau. L'éprouvette est mise en place, la largeur de 25 mm se trouvant entre les plaques métalliques parallèles, d'au moins 10 mm d'épaisseur, formant les électrodes entre lesquelles on doit appliquer la tension. Pour des matériaux de faible épaisseur, on utilise deux ou trois éprouvettes placées de façon appropriée (c'est-à-dire avec les tranches dans le sens de la longueur formant un angle convenable) pour supporter l'électrode supérieure. Les électrodes doivent être de dimensions suffisantes pour déborder les éprouvettes d'au moins 15 mm. On doit veiller à assurer un bon contact sur toute la surface de ces tranches. Les bords des électrodes doivent être arrondis selon un rayon approprié (de 3 mm à 5 mm) de façon à éviter un contournement entre les bords des électrodes (voir figure 6).

NOTE – Si le claquage ne peut pas être obtenu avec le matériel disponible, la largeur des éprouvettes peut être réduite à $15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ ou à $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Il faut que de telles réductions sur la largeur des éprouvettes soient spécifiquement enregistrées dans le rapport d'essai.

Ce type d'électrodes est uniquement adapté aux essais sur des matériaux rigides ayant au moins 1,5 mm d'épaisseur.

4.1.7 Shaped solid pieces

On shaped insulating pieces which cannot be placed between electrodes with flat faces the electrodes should be opposing identical spherical electrodes. Commonly used electrodes for tests of this nature have diameters of 12,5 mm or 20 mm (see figure 5).

4.1.8 Varnishes

To be tested according to IEC 60464-2.

4.1.9 Filling compounds

The electrodes shall consist of two metal spheres, each 12,5 to 13 mm in diameter, arranged horizontally along the same axis $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ apart, unless otherwise specified, and embedded in the compound. Care shall be taken to avoid cavities, particularly between the electrodes. As values obtained with the different electrode spacings are not directly comparable, the gap length shall be detailed in the specification for the compound and mentioned in the test report.

4.2 Tests parallel to the surface of non-laminated materials and parallel to the laminae of laminated materials

If it is not necessary to differentiate between failure by puncture of the specimen and failure across its surface, the electrodes of 4.2.1 or 4.2.2 may be used, those of 4.2.1 being preferred.

When the prevention of surface failure is required, the electrodes of 4.2.3 shall be used.

4.2.1 Parallel plate electrodes

4.2.1.1 Boards and sheets

For tests on boards and sheets, the test specimen shall be of the thickness of the material to be tested and rectangular, $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ long and $25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ wide. The long edges shall be cut as parallel planes at right angles to the surface of the material. The test specimen is placed with the 25 mm width between parallel metal plates, not less than 10 mm thick, forming the electrodes between which the voltage shall be applied. For thin materials, two or three test specimens are used suitably placed (i.e. with their long edges at a convenient angle) to support the upper electrode. The electrodes shall be of sufficient size to overlap the edges of the test specimens by not less than 15 mm and care shall be taken to ensure good contact over the whole area of those edges. The edges of the electrodes shall be suitably radiused (3 mm to 5 mm) to avoid breakdown from edge to edge of the electrodes (see figure 6).

NOTE – If breakdown cannot be obtained with available equipment, the width of the specimens may be reduced to $15 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ or $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Such reduction of specimen width must be specifically recorded in the test report.

This type of electrode is suitable only for tests on rigid materials at least 1,5 mm thick.

4.2.1.2 Tubes et cylindres

Pour les essais de tubes et cylindres, l'éprouvette doit être un anneau complet ou une partie de 100 mm d'un anneau d'une longueur axiale de $25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Les deux tranches de l'éprouvette doivent constituer deux plans parallèles, à angle droit avec l'axe du tube ou du cylindre. L'éprouvette est essayée entre deux plaques parallèles semblables à celles qui ont été décrites en 4.2.1.1 pour les planches et les feuilles. Si nécessaire, on utilise deux ou trois éprouvettes pour supporter l'électrode supérieure. Les électrodes doivent être de dimensions suffisantes pour déborder les éprouvettes d'au moins 15 mm. On doit veiller à assurer un bon contact sur toute la surface des tranches des éprouvettes.

4.2.2 Electrodes à broches coniques

On perce deux trous parallèles perpendiculairement à la surface, leurs axes espacés de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ et de diamètre tel qu'après alésage avec un alésoir conique à 2 %, le diamètre de chaque trou sur son grand côté ne soit pas inférieur à 4,5 mm ni supérieur à 5,5 mm.

Les trous doivent être percés de part en part des éprouvettes, ou, pour les grands tubes, dans une paroi seulement. Ils doivent être alésés sur toute leur longueur.

Lors du perçage et de l'alésage, on doit veiller à n'endommager en aucun cas le matériau aux abords des trous, à ne pas le fendre, le casser ou le carboniser.

Les broches coniques utilisées comme électrodes doivent former un cône à $2 \% \pm 0,02 \%$ et doivent être insérées par pression, et non avec un marteau, dans les trous de telle sorte qu'elles soient fermement serrées et débordent de chaque côté de l'éprouvette d'au moins 2 mm (voir figures 7a et 7b).

Ce type d'électrode ne convient qu'aux essais sur des matériaux rigides d'au moins 1,5 mm d'épaisseur.

4.2.3 Electrodes cylindriques parallèles

Pour les essais sur éprouvette de haute rigidité diélectrique et d'épaisseur supérieure à 15 mm, on coupe des éprouvettes de $100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ avec deux trous percés parallèlement, comme le montre la figure 8. Le diamètre de chaque trou sera au plus supérieur de 0,1 mm au diamètre réel des électrodes cylindriques, qui doit être de $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diamètre avec une calotte hémisphérique à leur extrémité. La base de chaque trou est hémisphérique pour correspondre à l'extrémité de l'électrode de façon que l'intervalle séparant l'extrémité de l'électrode avec la base du trou n'excède pas 0,05 mm en n'importe quel endroit. Sauf autre prescription particulière dans la spécification du matériau, les trous doivent être séparés par $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, bord à bord, sur toute leur longueur et le fond hémisphérique des trous se trouvera à $2,25 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ de la surface opposée à l'entrée. La figure 8 représente deux autres formes d'électrodes avec événements. Lorsque des électrodes à rainures sont utilisées, les rainures doivent être diamétralement opposées à l'intervalle entre les électrodes.

4.3 Eprouvettes

En plus des indications sur les éprouvettes données aux paragraphes ci-dessus, les recommandations générales suivantes doivent être notées.

4.3.1 Lors de la préparation des éprouvettes à partir de matériaux solides, on doit veiller à ce que les surfaces en contact avec les électrodes soient parallèles et aussi plates et lisses que le permet le matériau.

4.3.2 Pour les essais effectués perpendiculairement à la surface du matériau, il faut que les éprouvettes aient une surface suffisante pour éviter des contournements dans les conditions d'essai.

4.2.1.2 Tubes and cylinders

For tests on tubes and cylinders, the test specimen shall be a complete ring or a 100 mm circumferential portion of a ring of $25 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ axial length. Both edges of the specimen shall be finished as parallel planes at right angles to the axis of the tube or cylinder. The specimen is tested between parallel plates as described in 4.2.1.1 for boards and sheets. Where necessary to support the upper electrode, two or three specimens are used. The electrodes shall be of sufficient size to overlap the edges of the specimens by not less than 15 mm and care shall be taken to ensure good contact over the whole area of the edges of the specimens.

4.2.2 Taper pin electrodes

Two parallel holes are drilled perpendicularly to the surface, with centres $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ apart and of such a diameter that, after reaming with a reamer having a taper of approximately 2 %, the diameter of each hole at the larger end is not less than 4,5 mm and not greater than 5,5 mm.

The holes shall be drilled completely through the specimen or, in the case of large tubes, through one wall only, and shall be reamed throughout their full length.

When the specimens are drilled and reamed, the material adjacent to the holes shall not be damaged, e.g. split, broken or charred, in any way.

The taper pins used as electrodes shall have a taper of $2 \% \pm 0,02 \%$ and shall be pressed, not hammered into the holes so that they fit tightly and extend on each side of the test specimen by not less than 2 mm (see figures 7a and 7b).

This type of electrode is suitable only for tests on rigid materials at least 1,5 mm thick.

4.2.3 Parallel cylindrical electrodes

For tests on specimens of high electric strength and which are more than 15 mm thick, specimens $100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ shall be cut and two holes drilled as shown in figure 8 so that each is not more than 0,1 mm greater in diameter than each cylindrical electrode which shall be $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ in diameter and have hemispherical ends. The base of each hole is hemispherical to mate with the end of the electrode, so that the gap between the end of the electrode and the base of the hole will not exceed 0,05 mm at any point. If not otherwise specified in the material specification, the holes shall be $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ apart, edge-to-edge, throughout their length and extend to within $2,25 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ of the surface opposite that through which they are drilled. Two alternative forms of vented electrodes are shown in figure 8. When electrodes with slots are used, these slots shall be diametrically opposed to the gap between the electrodes.

4.3 Test specimens

In addition to the information concerning specimens given in the preceding subclauses, the following general points shall be noted.

4.3.1 In the preparation of test specimens from solid materials, care shall be taken that the surfaces in contact with the electrodes are parallel and as flat and smooth as the material allows.

4.3.2 For tests made perpendicularly to the surface of the material, test specimens need only be of sufficient area to prevent flashover under the conditions of test.

4.3.3 Lors des essais effectués perpendiculairement à la surface du matériau, les résultats obtenus sur des éprouvettes d'épaisseurs différentes ne sont pas directement comparables (voir article 3).

4.4 Distance entre les électrodes

La valeur à utiliser pour le calcul de la rigidité diélectrique doit être l'une des grandeurs suivantes, selon ce qui est spécifié pour le matériau en essai:

- a) épaisseur nominale ou distance entre les électrodes (utiliser cette valeur sauf spécification contraire);
- b) épaisseur moyenne de l'éprouvette ou distance entre les électrodes lors d'essais parallèlement à la surface;
- c) épaisseur ou distance entre les électrodes mesurée à proximité immédiate de l'endroit du claquage de chaque éprouvette.

5 Conditionnement avant les essais

La rigidité diélectrique des matériaux isolants varie avec la température et la teneur en humidité. Lorsqu'il existe une spécification pour le matériau à essayer, il faut suivre ses indications. Dans les autres cas, les éprouvettes doivent être conditionnées pendant au moins 24 h à (23 ± 2) °C et $50 \% \pm 5 \%$ d'humidité relative, correspondant à l'atmosphère ambiante normalisée de la CEI 60212, à moins qu'on ne se soit mis d'accord sur d'autres conditions.

6 Milieu environnant

Les matériaux doivent être essayés dans un environnement choisi pour éviter les contournements. Dans la plupart des cas, de l'huile de transformateur conforme à la CEI 60296 constituera l'environnement le mieux adapté. Pour les matériaux qui gonflent dans l'huile minérale, d'autres liquides, comme du liquide silicone, peuvent mieux convenir.

Les éprouvettes ayant des valeurs de claquage relativement faibles peuvent être essayées dans l'air, en particulier si les essais doivent être faits à des températures élevées. On admet que même pour des essais à tension modérée des décharges sur les bords des électrodes peuvent avoir des conséquences significatives sur les valeurs d'essai.

S'il est prévu que les essais évaluent la tenue d'un matériau dans un autre milieu, ce milieu peut être utilisé.

Choisir un milieu ayant des conséquences néfastes minimales pour le matériau en essai.

Il peut y avoir des effets prononcés du milieu sur les résultats, particulièrement dans le cas de matériaux absorbants tels que le papier et le carton, et il est important que la procédure de traitement des éprouvettes définisse exactement toutes les étapes à suivre (par exemple séchage et imprégnation), ainsi que les conditions du milieu pendant l'essai.

On doit laisser suffisamment de temps à l'éprouvette et aux électrodes pour atteindre la température prescrite tout en se souvenant que certains matériaux peuvent être affectés par une exposition prolongée à de hautes températures.

4.3.3 In tests made perpendicularly to the surface of the material, the results on specimens of different thicknesses are not directly comparable (see clause 3).

4.4 Distance between electrodes

The value to be used in calculating the electric strength shall be one of the following, as specified for the material under test:

- a) nominal thickness or distance between electrodes (use this value unless otherwise specified);
- b) average thickness of the test specimen or distance between electrodes for tests parallel to the surface;
- c) thickness or distance between electrodes measured immediately adjacent to the breakdown on each test specimen.

5 Conditioning before tests

The electric strength of insulating materials varies with temperature and moisture content. Where a specification is available for the material to be tested, this shall be followed. Otherwise, specimens shall be conditioned for not less than 24 h at (23 ± 2) °C, 50 % \pm 5 % relative humidity, that is, the standard ambient atmosphere of IEC 60212, unless other conditions are agreed upon.

6 Surrounding medium

Materials shall be tested in a surrounding medium selected to prevent flashover. In most cases transformer oil according to IEC 60296 will be the most suitable medium. For materials which swell in mineral oil, other liquids, for example silicone liquid, may be more suitable.

Specimens having relatively low breakdown values may be tested in air, particularly if the tests are to be made at elevated temperature. It should be recognized that even at moderate test voltages discharges at the edges of the electrodes may have significant effects on the test values.

If it is intended that the tests evaluate the behaviour of a material in another medium, that medium may be used.

Select a medium which has minimum deleterious effect on the material under test.

The effect of the ambient medium on the results may be great, particularly in the case of absorbent materials such as paper and pressboard, and it is essential that procedures for specimen preparation define fully all necessary steps (e.g. drying and impregnation), and the condition of the ambient medium during test.

Sufficient time shall be allowed for the specimen and the electrodes to attain the required temperature, but some materials may be affected by prolonged exposure to high temperatures.

6.1 Essais dans l'air à température élevée

Les essais dans l'air à température élevée peuvent être faits dans une étuve adéquate suffisamment grande pour contenir les éprouvettes et les électrodes sans qu'il y ait contournement pendant les essais. Il convient que l'étuve comporte un système de circulation de l'air de telle sorte que la température soit maintenue uniforme à ± 2 K près de la température spécifiée tout autour de l'éprouvette et avec l'aide d'un thermomètre, thermocouple ou tout autre système permettant de mesurer la température aussi près que possible de l'endroit de l'essai.

6.2 Essais dans les liquides

Si les essais sont faits dans un liquide isolant, on peut utiliser de l'huile pour transformateur conforme à la CEI 60296, sauf si d'autres liquides sont plus adaptés. Il est nécessaire de s'assurer de la valeur adéquate de la rigidité diélectrique pour éviter des contournements. Des éprouvettes essayées dans un liquide ayant une permittivité relative plus élevée que l'huile de transformateur peuvent donner une rigidité diélectrique plus élevée que quand elles sont essayées dans de l'huile de transformateur. La contamination réduisant la rigidité diélectrique de l'huile ou d'autres liquides peut également augmenter la rigidité diélectrique mesurée des éprouvettes.

Les essais à température élevée peuvent se faire dans un récipient disposé dans une étuve (voir 7.1) ou dans un bain contrôlé par un thermostat et utilisant le liquide isolant pour le transport de la chaleur. Dans ce cas un système forcé de circulation du liquide doit garantir une répartition uniforme de la température spécifiée et doit la maintenir à ± 2 K près tout autour de l'éprouvette.

7 Appareillage électrique

7.1 Source de tension

La tension d'essai doit provenir d'un transformateur élévateur alimenté par une source basse tension sinusoïdale et variable. Le transformateur, sa source de tension et les appareils de commande associés doivent avoir les propriétés suivantes.

7.1.1 Le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace de la tension d'essai doit être de $\sqrt{2} \pm 5\%$ (1,34...1,48) lorsque l'éprouvette est branchée dans le circuit pour toutes les tensions inférieures ou égales à la tension de claquage.

7.1.2 La puissance assignée de la source doit être suffisante pour satisfaire aux exigences de 7.1.1 jusqu'à ce que le claquage se produise. Pour la plupart des matériaux et avec les systèmes d'électrodes recommandées, un courant secondaire de 40 mA est généralement adéquat. Pour la plupart des essais, la puissance assignée nécessaire varie de 0,5 kVA pour les éprouvettes de faible capacité, jusqu'à une tension de 10 kV, à 5 kVA pour une tension atteignant 100 kV.

7.1.3 Les commandes de la source basse tension variable doivent permettre de faire varier la tension lentement et uniformément sans surtension. En augmentant la tension selon l'article 8 les à-coups, produits par exemple par un autotransformateur réglable, ne doivent pas excéder 2 % de la tension de claquage prévue.

Les dispositifs de commande motorisés sont préférables pour effectuer des essais de courte durée ou de montée rapide en tension.

7.1.4 La source de tension doit être protégée contre les avaries par un disjoncteur coupant l'alimentation en l'espace de quelques périodes, lors du claquage d'une éprouvette. Il peut consister en un élément sensible aux surtensions disposé dans le circuit HT des électrodes.

6.1 Tests in air at elevated temperature

Tests in air at elevated temperature may be made in any well-designed oven of sufficient size to accommodate the test specimen and the electrodes without flashover occurring during the tests. Some means of circulating the air within the oven should be provided so that a substantially uniform temperature within ± 2 K of the specified temperature is maintained around the test specimen, and with a thermometer, thermocouple, or other means for measuring the temperature as near the point of test as practicable.

6.2 Tests in liquids

When tests are conducted in an insulating liquid, the liquid used may be transformer oil according to IEC 60296, unless other liquids are more suitable. It is necessary to ensure adequate electric strength of the liquid to avoid flashover. Specimens tested in liquids which have a higher relative permittivity than transformer oil may show a higher dielectric strength than when tested in transformer oil. Contamination which reduces the electric strength of the oil or other liquid may also increase the measured electric strength of test specimens.

Tests at elevated temperature may be made either in a container of liquid in an oven (see 7.1) or in a thermostatically controlled bath using the insulating liquid for heat transfer. In this case, suitable means for circulating the liquid, so that the temperature is substantially uniform and maintained within ± 2 K of the specified temperature around the test specimen, shall be provided.

7 Electrical apparatus

7.1 Voltage source

The test voltage shall be obtained from a step-up transformer supplied from a variable sinusoidal low-voltage source. The transformer, its voltage source and the associated controls shall have the following properties.

7.1.1 The ratio of crest to root-mean-square (r.m.s.) test voltage shall be equal to $\sqrt{2} \pm 5\%$ (1,41...1,48), with the test specimen in the circuit, at all voltages up to and including the breakdown voltage.

7.1.2 The power rating of the source shall be sufficient to meet the requirements of 7.1.1 until electric breakdown occurs. For most materials, using electrodes as recommended, an output current capacity of 40 mA is usually adequate. The power rating for most tests will vary from 0,5 kVA, for testing low-capacitance specimens at voltages up to 10 kV, to 5 kVA for voltages up to 100 kV.

7.1.3 The controls on the variable low-voltage source shall be capable of varying the test voltage smoothly, uniformly, and without overshoots. When applying voltage in accordance with clause 8, the incremental increase produced, e.g. by a variable autotransformer, shall not exceed 2 % of the expected breakdown voltage.

Motor-driven controls are preferable for making short-time or rapid-rise tests.

7.1.4 To protect the voltage source from damage, it shall be equipped with a device which disconnects the power supply within a few cycles on breakdown of the specimen. It may consist of a current-sensitive element in the HV supply to the electrodes.

7.1.5 Pour protéger le transformateur de dommages dus aux surintensités ou aux surtensions qui suivent le claquage, il est souhaitable d'insérer en série avec les électrodes une résistance de valeur adaptée. La valeur de cette résistance dépendra des dommages tolérés sur les électrodes.

NOTE – L'utilisation d'une résistance de très forte valeur peut conduire à des tensions de claquage plus élevées que celles obtenues pour une résistance de valeur inférieure.

7.2 Mesure de la tension

7.2.1 Les tensions sont enregistrées en valeurs efficaces équivalentes. On utilise de préférence un voltmètre de crête et on divise la lecture faite par $\sqrt{2}$. L'erreur totale du circuit de mesure de la tension ne doit pas dépasser 5 % de la valeur mesurée, y compris l'erreur due au temps de réponse du voltmètre. L'erreur sur le temps de réponse ne doit pas être supérieure à 1 % de la tension de claquage pour une quelconque vitesse d'accroissement utilisée.

7.2.2 Un voltmètre satisfaisant aux exigences de 7.2.1 doit être utilisé pour mesurer la tension appliquée aux électrodes. Il convient, de préférence, de le connecter soit directement, soit par l'intermédiaire d'un diviseur ou d'un transformateur de tension. Si on utilise pour la mesure un enroulement auxiliaire du transformateur élévateur, la précision de la mesure de la tension appliquée aux électrodes ne doit pas être influencée par la charge du transformateur élévateur, ni par la résistance en série.

7.2.3 Il est préférable, pour la lecture, que la valeur de la tension d'essai maximale appliquée soit mémorisée sur le voltmètre après le claquage pour permettre de lire et de relever avec précision la tension de claquage, mais l'appareil de mesure ne doit pas être sensible aux oscillations transitoires qui peuvent se produire lors du claquage.

8 Mode opératoire

8.1 Le document prescrivant les essais doit indiquer les éléments suivants:

- a) le type d'éprouvette à essayer;
- b) la méthode pour la mesure de l'épaisseur des éprouvettes (si cette valeur n'est pas nominale);
- c) tout traitement ou conditionnement précédant l'essai;
- d) le nombre d'éprouvettes, s'il diffère de cinq;
- e) la température pendant l'essai;
- f) le milieu environnant;
- g) les électrodes à utiliser;
- h) le mode de montée en tension;
- i) si le résultat doit indiquer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage.

8.2 Des électrodes conformes à l'article 4 doivent être appliquées sur l'éprouvette de telle sorte que tout dommage à l'éprouvette soit évité. A l'aide d'un appareil conforme à l'article 7, on applique une tension entre les électrodes, tension qui est augmentée conformément aux précisions données de 9.1 à 9.5. On observe si les éprouvettes subissent un claquage ou un contournement (voir article 10).

7.1.5 To restrict damage by current or voltage surges at breakdown, it is desirable to include a resistor with a suitable value in series with the electrodes. The value of the resistor will depend on the damage which can be tolerated on the electrodes.

NOTE – The use of a very high valued resistor may result in breakdown voltages which are higher than those obtained with a lower valued resistor.

7.2 Voltage measurement

7.2.1 The voltage values are recorded in equivalent r.m.s. values. It is preferable to use a peak-reading voltmeter and divide the reading by $\sqrt{2}$. The overall error of the voltage-measuring circuit shall not exceed 5 % of the measured value including the error due to the response time of the voltmeter. The response-time induced error shall not be greater than 1 % of the breakdown voltage at any rate of rise used.

7.2.2 A voltmeter complying with the requirements of 7.2.1 shall be used to measure the voltage applied to the electrodes. It preferably should be connected directly to them, or via a potential divider or a potential transformer. If a potential winding on the step-up transformer is used for measurement, the accuracy of indication of the voltage applied to the electrodes shall be unaffected by the loading of the step-up transformer and the series resistor.

7.2.3 It is desirable for the reading of the maximum applied test voltage to be retained on the voltmeter after breakdown so that the breakdown voltage can be accurately read and recorded but the indicator shall not be sensitive to transients which can occur at breakdown.

8 Procedure

8.1 The document calling for the test shall state the following:

- a) specimen to be tested;
- b) method for measurement of specimen thickness (if not nominal);
- c) any treatment or conditioning prior to test;
- d) number of specimens, if other than five;
- e) temperature of test;
- f) surrounding medium;
- g) electrodes to be used;
- h) mode of increase of voltage;
- i) whether the result is to be reported as electric strength or breakdown voltage.

8.2 Electrodes complying with clause 4 shall be applied to the specimen in such a manner that damage to the specimen is avoided. Using apparatus providing a voltage complying with 7, a voltage is applied between the electrodes and increased in accordance with 9.1 to 9.5. It is observed whether specimens suffer breakdown or flashover (see clause 10).

9 Mode de montée en tension

9.1 Essai de courte durée (montée rapide de la tension)

9.1.1 La tension doit être élevée à partir de zéro à une vitesse uniforme jusqu'au claquage.

9.1.2 La vitesse de montée doit être choisie de façon que le claquage du matériau soumis à l'essai se produise généralement entre 10 s et 20 s. Pour certains matériaux la tension de claquage peut varier fortement, si bien que des résultats se trouvent en dehors de ces limites. L'essai est satisfaisant si la majorité des claquages se produisent entre 10 s et 20 s.

9.1.3 La vitesse de montée en tension doit être choisie parmi l'une des suivantes:

100 V/s, 200 V/s, 500 V/s, 1 000 V/s, 2 000 V/s, 5 000 V/s, etc.

NOTE – Une vitesse de montée communément utilisée pour une large gamme de matériaux est de 500 V/s. Pour les matériaux moulés une vitesse de montée de 2 000 V/s est recommandée afin d'obtenir des résultats comparables à ceux de la CEI 60296.

9.2 Essai par palier de 20 s

9.2.1 On doit appliquer à l'éprouvette une tension égale à 40 % de la valeur de la tension de claquage probable lors d'un essai de courte durée. Si on ignore la valeur probable de la tension de claquage lors d'un essai de courte durée, elle doit être déterminée conformément à la méthode décrite en 9.1.

9.2.2 Si l'éprouvette supporte pendant 20 s cette tension sans défaillance, on augmente cette tension d'une valeur égale au pas d'incrémentation comme cela est défini dans le tableau 1. On doit appliquer aussitôt et successivement chacune des tensions immédiatement supérieures pendant 20 s jusqu'au claquage.

Tableau 1 – Pas d'incrémentation de la tension (kilovolts, crête $/\sqrt{2}$)

Si la tension de départ (en kilovolts) est de	Pas d'incrémentation kV
De 1,0 ou moins	10 % de la tension de départ
Supérieure à 1,0 jusqu'à 2,0	0,1
Supérieure à 2,0 jusqu'à 5,0	0,2
Supérieure à 5,0 jusqu'à 10,0	0,5
Supérieure à 10 jusqu'à 20	1,0
Supérieure à 20 jusqu'à 50	2,0
Supérieure à 50 jusqu'à 100	5,0
Supérieure à 100 jusqu'à 200	10,0
Supérieure à 200	20,0

NOTE – S'ils sont spécifiés, des pas d'incrémentation de tension plus petits peuvent être utilisés. Dans de tels cas, des tensions de départ plus élevées sont autorisées, mais il convient que le claquage ne se produise pas en moins de 120 s.

9.2.3 Les accroissements de tension doivent être effectués aussi rapidement que possible sans aucune transition transitoire, et le temps passé à élever la tension doit être compté dans la période de 20 s à la tension supérieure.

9 Mode of increase of voltage

9.1 Short-time (rapid-rise) test

9.1.1 The voltage shall be raised from zero at a uniform rate until breakdown occurs.

9.1.2 A rate of rise shall be selected for the material under test which will cause breakdown most commonly to occur between 10 s and 20 s. For materials which differ considerably in their breakdown voltage, some samples may fail outside these limits. It is satisfactory if the majority of breakdowns occur between 10 s and 20 s.

9.1.3 The rate of rise shall be chosen from the following:

100 V/s, 200 V/s, 500 V/s, 1 000 V/s, 2 000 V/s, 5 000 V/s, etc.

NOTE – For a broad spectrum of materials, a commonly used rate of rise is 500 V/s. For moulded materials, a rate of rise of 2 000 V/s is recommended to obtain comparable data in accordance with IEC 60296.

9.2 20 s step-by-step test

9.2.1 A voltage at 40 % of the probable short-time breakdown voltage shall be applied to the specimen. If the probable short-time value is not known, it shall be obtained in accordance with the method in 9.1.

9.2.2 If the test specimen withstands this voltage for 20 s without failure, the voltage shall be increased in incremental steps as defined in table 1. Each increased voltage shall be immediately and successively applied for 20 s until failure occurs.

Table 1 – Increments of voltage increase (kilovolts, peak / $\sqrt{2}$)

When start voltage (kV) is	Increment kV
1,0 or less	10 % of start voltage
Over 1,0 to 2,0	0,1
Over 2,0 to 5,0	0,2
Over 5,0 to 10,0	0,5
Over 10 to 20	1,0
Over 20 to 50	2,0
Over 50 to 100	5,0
Over 100 to 200	10,0
Over 200	20,0

NOTE – When specified, smaller voltage increments may be used. In such cases, higher starting voltages are permissible, but breakdown should not occur in less than 120 s.

9.2.3 The increases of voltage shall be made as quickly as possible and without any transient overvoltage, and the time spent in raising the voltage shall be included in the period of 20 s at the higher voltage.

9.2.4 Si le claquage se produit en moins de six paliers dès le début de l'essai, on essaie cinq nouvelles éprouvettes en débutant avec une tension plus basse.

9.2.5 La rigidité diélectrique doit être basée sur la tension la plus élevée nominale qui est tenue pendant 20 s sans claquage.

9.3 Essai à montée lente de la tension (120 s... 240 s)

La tension doit être élevée à partir d'une valeur correspondant à 40 % de la tension de claquage probable lors d'un essai de courte durée et avec une vitesse uniforme telle que les claquages se produisent entre 120 s et 240 s. Pour les matériaux qui présentent une forte dispersion des résultats, quelques claquages peuvent se produire en dehors de ces limites. L'essai est acceptable si la majorité des claquages se produit entre 120 s et 240 s. La vitesse de montée de la tension doit être choisie au début parmi les suivantes:

2 V/s, 5 V/s, 10 V/s, 20 V/s, 50 V/s, 100 V/s, 200 V/s, 500 V/s, 1 000 V/s, etc.

9.4 Essai par palier de 60 s

Sauf spécification contraire, l'essai doit être conduit conformément à 10.2 mais avec une durée des paliers de 60 s.

9.5 Essai à montée très lente de la tension (300 s... 600 s)

Sauf spécification contraire, l'essai est conduit conformément à 9.3 mais en veillant à ce que les claquages se produisent entre 300 s et 600 s et en choisissant une vitesse de montée de la tension parmi les suivantes:

1 V/s, 2 V/s, 5 V/s, 10 V/s, 20 V/s, 50 V/s, 100 V/s, 200 V/s, etc.

NOTE – Les essais à montée lente de la tension de 120 s... 240 s selon 9.3 et de 300 s... 600 s selon 9.5 donnent approximativement les mêmes résultats que les essais par paliers de 20 s (voir 9.2) ou de 60 s (voir 9.4). Ils sont mieux adaptés que les essais par paliers lorsqu'on emploie des appareils d'essais automatiques modernes et qu'ils ont été introduits pour faciliter l'emploi de tels appareils.

9.6 Essais de contrôle

Lorsqu'il est prescrit d'appliquer une tension d'épreuve de valeur prédéterminée pour un essai de contrôle ou de tenue, la tension doit être élevée à la valeur prescrite aussi rapidement qu'on peut le faire pour l'obtenir exactement sans surtension transitoire. On maintient alors cette tension à la valeur prescrite pendant la durée spécifiée.

10 Critère de claquage

10.1 Un claquage est accompagné d'un accroissement du courant dans le circuit et une diminution de la tension aux bornes de l'éprouvette. L'accroissement du courant peut faire déclencher un disjoncteur ou faire fondre un fusible. Toutefois, le déclenchement d'un disjoncteur peut parfois être provoqué par un contournement, par le courant de charge de l'éprouvette, par des courants de fuite ou de décharges partielles, par un courant de magnétisation dans le matériel, ou un dysfonctionnement. Il est donc essentiel que les caractéristiques des disjoncteurs soient parfaitement coordonnées avec celles des appareils d'essai et du matériau en essai, sinon le disjoncteur peut fonctionner sans claquage de l'éprouvette ou ne pas fonctionner lorsque le claquage a eu lieu et ainsi ne pas fournir de critère positif du claquage. Même dans les conditions les plus favorables, il peut se produire des claquages prématurés dans le milieu environnant et des observations doivent être effectuées afin de détecter ces claquages pendant les essais. Si des claquages sont observés dans le milieu ils doivent être notés.

NOTE – Pour les matériaux dont la sensibilité au circuit de détection de défaut est très significative, il convient que la norme relative à ce matériau soit également spécifiée.

9.2.4 If breakdown occurs in less than six levels from the start of the test, a further five specimens shall be tested, using a lower starting voltage.

9.2.5 The electric strength shall be based on the highest nominal voltage which is withstood for 20 s without breakdown.

9.3 Slow rate-of-rise test (120 s... 240 s)

The voltage shall be raised from 40 % of the probable short-time breakdown voltage at a uniform rate such that breakdown occurs between 120 s and 240 s. For materials which differ considerably in their breakdown voltage, some samples may fail outside these limits. It is satisfactory if the majority of breakdowns occur between 120 s and 240 s. The rate of rise of voltage shall be initially selected from the following:

2 V/s, 5 V/s, 10 V/s, 20 V/s, 50 V/s, 100 V/s, 200 V/s, 500 V/s, 1 000 V/s, etc.

9.4 60 s step-by-step test

Unless otherwise specified, the test shall be carried out in accordance with 10.2 but with a step duration of 60 s.

9.5 Very slow rate-of-rise test (300 s... 600 s)

Unless otherwise specified, this test is carried out in accordance with 9.3 but with breakdowns occurring between 300 s and 600 s with a rate of rise of voltage selected from the following:

1 V/s, 2 V/s, 5 V/s, 10 V/s, 20 V/s, 50 V/s, 100 V/s, 200 V/s, etc.

NOTE – The slow rate-of-rise tests of 120 s...240 s in 9.3, and 300 s...600 s in 9.5 produce approximately the same results as the 20 s (see 9.2) or 60 s (see 9.4) step-by-step tests. They are more convenient than the step-by-step tests when using modern automated equipment and they are included to enable such equipment to be used.

9.6 Proof tests

When it is required to apply a predetermined proof voltage for the purpose of a proof or withstand test, the voltage shall be raised to the required value as rapidly as possible, consistent with its accurate attainment without any transient overvoltage. This voltage is then maintained at the required value for the duration of the specified time.

10 Criterion of breakdown

10.1 Electric breakdown is accompanied by an increase of current flowing in the circuit and by a decrease of voltage across the specimen. The increased current may trip a circuit-breaker or blow a fuse. However, tripping of a circuit-breaker may sometimes be influenced by flashover, specimen charging current, leakage or partial discharge currents, equipment magnetizing current or malfunctioning. It is therefore essential that the circuit-breaker is well co-ordinated with the characteristics of the test equipment and the material under test, otherwise the circuit-breaker may operate without breakdown of the specimen, or fail to operate when breakdown has occurred and thus not provide a positive criterion of breakdown. Even under the best conditions, premature breakdowns in the ambient medium may occur, and observations shall be made to detect them during tests. If breakdowns in the ambient medium are observed, they shall be reported.

NOTE – For materials for which the sensitivity of the fault-detecting circuit is of particular significance, the standard for that material should so specify.

10.2 Lorsque les essais sont faits perpendiculairement à la surface d'un matériau, il n'existe en général aucun doute lorsque le claquage a eu lieu et l'examen visuel qui suit montre aussitôt le canal réel du claquage, que celui-ci soit ou non carbonisé.

10.3 Pour les essais effectués parallèlement à la surface d'un matériau, 4.2 prescrit de différencier les claquages par perforation ou par contournement. On peut le faire en examinant l'éprouvette ou au besoin en réappiquant une tension inférieure à celle du premier claquage apparu. Un moyen commode qui a été trouvé consiste à réappliquer la moitié de la tension de claquage et à l'augmenter jusqu'au claquage comme dans le premier essai.

11 Nombre d'essais

11.1 Sauf spécification contraire, on doit effectuer cinq essais et déterminer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage à partir de la valeur centrale des résultats d'essais. Si un des résultats d'essais s'écarte de plus de 15 % de la valeur centrale, on doit effectuer cinq essais supplémentaires et on doit déterminer la rigidité diélectrique ou la tension de claquage à partir de la valeur centrale des 10 résultats.

11.2 Lorsque les essais sont faits avec un autre but que celui d'un contrôle de qualité de routine, il est nécessaire d'utiliser un plus grand nombre d'éprouvettes en fonction de la dispersion observée sur le matériau et du traitement statistique des données qui sera effectué.

11.3 Faire référence à l'annexe A qui peut être utile pour déterminer le nombre d'essais nécessaires et interpréter les résultats d'essais autres que ceux de contrôle de qualité de routine.

12 Procès verbal d'essai

Sauf spécification contraire, le procès verbal d'essai doit comprendre les indications suivantes:

- a) identification complète du matériau en essai, description des éprouvettes et de leur mode de préparation;
- b) valeur médiane des rigidités diélectriques en kilovolts/millimètres et/ou des tensions de claquage en kilovolts;
- c) épaisseur de chaque éprouvette (voir 4.4);
- d) milieu environnant lors des essais et ses propriétés;
- e) système d'électrodes;
- f) mode d'application de la tension et sa fréquence;
- g) valeurs individuelles des rigidités diélectriques en kilovolts/millimètres et/ou des tensions de claquage en kilovolts;
- h) température, pression et humidité pour les essais dans l'air ou dans un autre gaz, ou température du milieu environnant pour les essais dans les liquides;
- i) conditionnement des éprouvettes avant l'essai;
- j) indication sur le type et la position du claquage.

Pour un procès-verbal simplifié, les six premiers points avec les valeurs les plus élevées et les moins élevées sont indispensables.

10.2 Where tests are made perpendicularly to the surface of a material, there is usually no doubt when breakdown has occurred and subsequent visual inspection readily shows the actual breakdown channel, whether this is filled with carbon or not.

10.3 If in tests parallel to the surface it is required that failure by puncture and failure across the surface are differentiated (see 4.2), this can be done by examination of the specimen or in some cases by reapplying a voltage less than that of the first apparent breakdown. A convenient practice that has been found is the reapplication of half the breakdown voltage, followed by increasing the voltage until failure is reached by the same procedure as in the first test.

11 Number of tests

11.1 Unless otherwise specified, five tests shall be conducted and the electric strength or breakdown voltage determined from the median of the test results. If any test result deviates by more than 15 % from the median, five additional tests shall be made. The electric strength or breakdown voltage shall then be determined from the median of the 10 results.

11.2 When tests are being made for purposes other than routine quality control, larger numbers of specimens will be necessary depending on the variability of the material and the statistical analysis to be applied.

11.3 Refer to annex A for references which may be useful for determining the number of tests needed and the interpretation of data for other than routine quality control tests.

12 Report

Unless otherwise specified, the report shall include the following:

- a) a complete identification of the material tested, a description of the specimens and their method of preparation;
- b) the median of the electric strengths in kilovolts/millimetres and/or breakdown voltages in kilovolts;
- c) the thickness of each test specimen (see 4.4);
- d) the surrounding medium during the test and its properties;
- e) the electrode system;
- f) the mode of application of the voltage and the frequency;
- g) the individual values of electric strengths in kV/mm and/or breakdown voltage in kilovolts;
- h) the temperature, pressure and humidity during tests in air or other gas; or the temperature of the surrounding medium when this is a liquid;
- i) the conditioning treatment before test;
- j) an indication of the type and position of breakdown.

When the shortest statement of results is required, the first six items and the lowest and highest values shall be included.

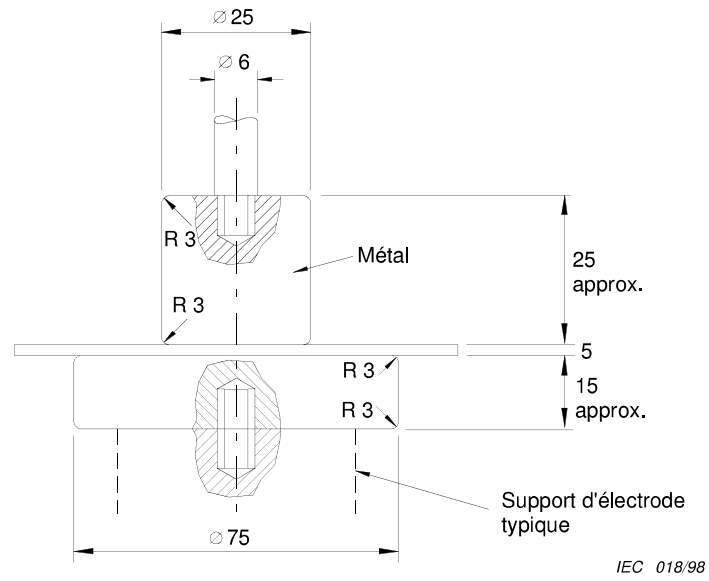


Figure 1a – Electrodes de dimensions inégales

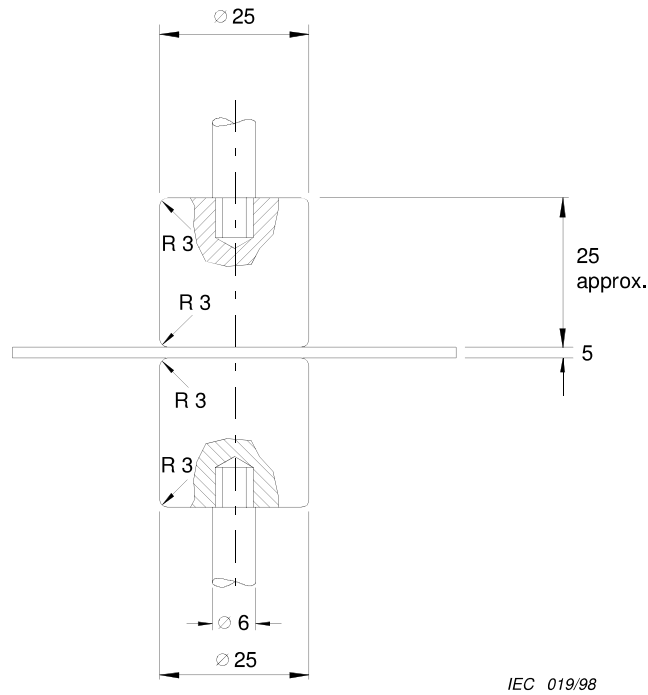


Figure 1b – Electrodes de même diamètre

Dimensions en millimètres

Figure 1 – Disposition des électrodes pour les essais des planches et feuilles perpendiculairement à la surface

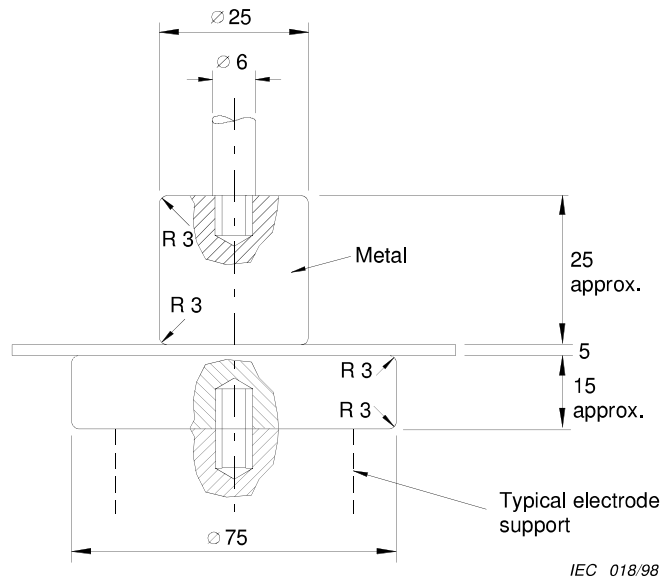


Figure 1a – Unequal electrodes

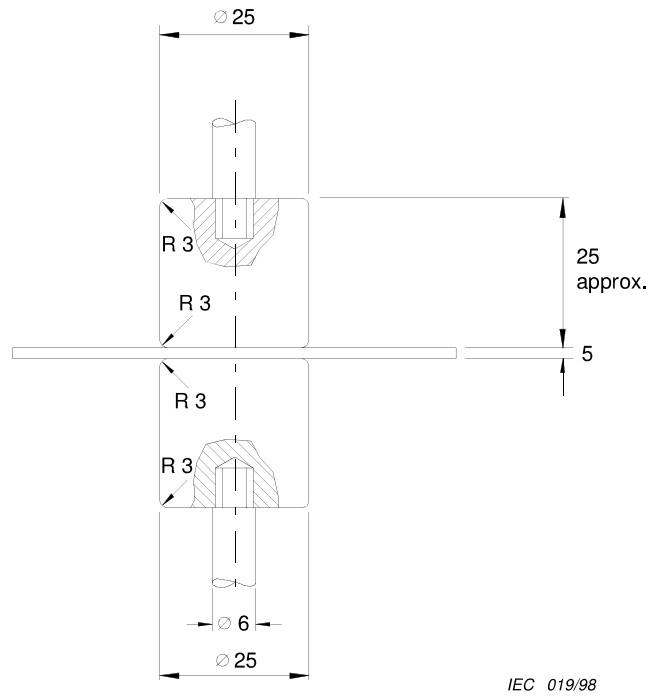
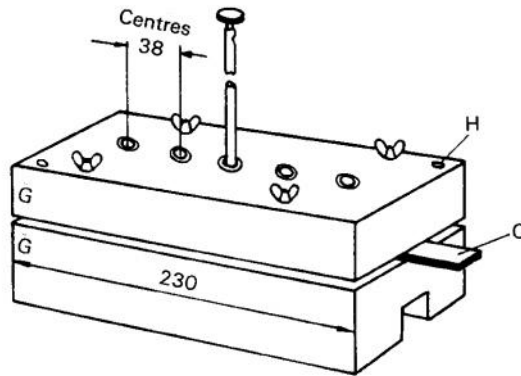


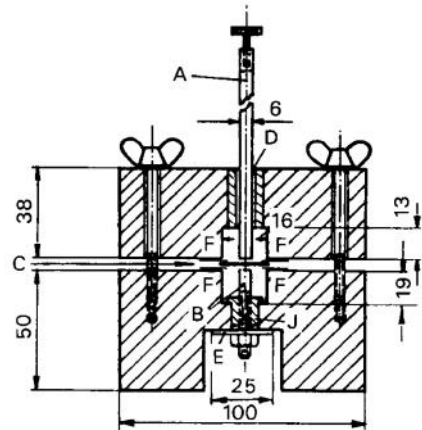
Figure 1b – Equal diameter electrodes

Dimensions in millimetres

Figure 1 – Electrode arrangements for tests on boards and sheets perpendicularly to the surface



928/88



929/88

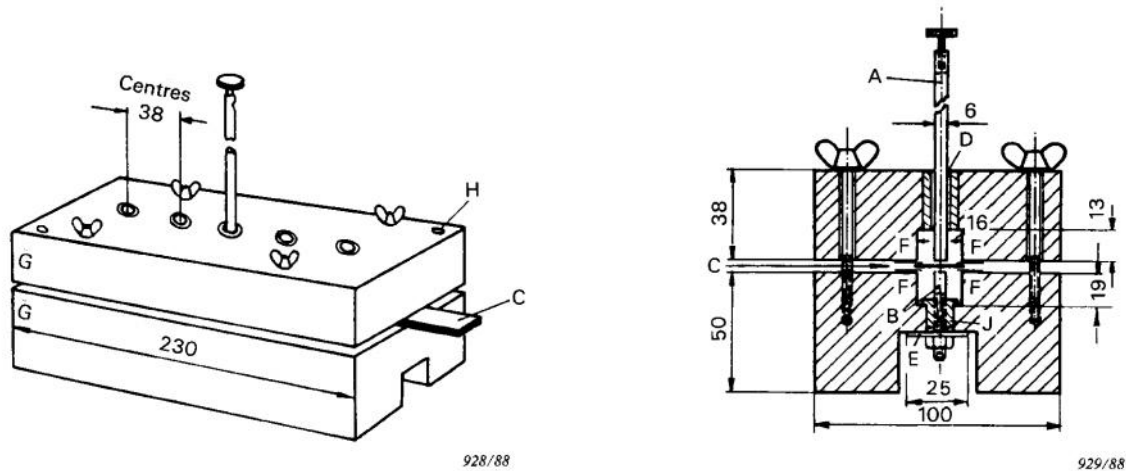
Dimensions en millimètres

Figure 2a – Disposition générale de l'appareil

Figure 2b – Coupe de l'appareil passant par les électrodes (partie supérieure légèrement surélevée)

- A = électrode supérieure ajustée dans la douille D
- B = électrode inférieure
- C = éprouvette en essai
- D = douille de laiton avec diamètre intérieur juste suffisant pour laisser passer une tige de 6 mm
- E = bande de laiton de 25 mm de large reliant toutes les électrodes inférieures
- F = bande de film à cheval sur les bords de l'éprouvette
- G = blocs de matériaux isolants appropriés, par exemple en papier stratifié imprégné
- H = trou du goujon
- J = douille en laiton avec filetage intérieur

Figure 2 – Exemple type de dispositifs d'électrodes pour essais sur la bande perpendiculairement à la surface (voir 4.1.2)



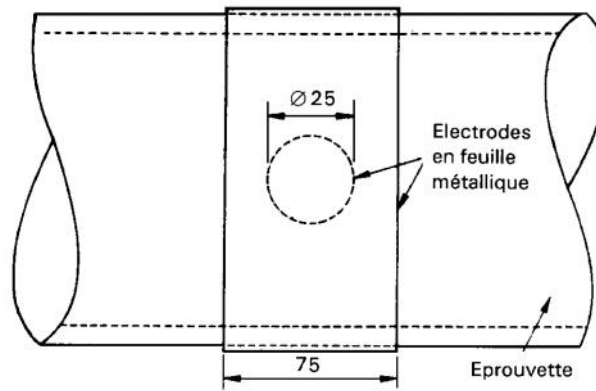
Dimensions in millimetres

Figure 2a – General arrangement of apparatus

Figure 2b – Section of apparatus through electrodes with top slightly raised

- A = upper electrode to be an easy fit in bush D
- B = lower electrode
- C = specimen under test
- D = brass bush with inside diameter just sufficient to clear 6 mm rod
- E = brass strip 25 mm wide connecting all lower electrodes
- F = pieces of film overlapping edges or specimen
- G = blocks of suitable insulating material, for example a paper filled laminate
- H = dowel hole
- J = brass bushing with internal thread

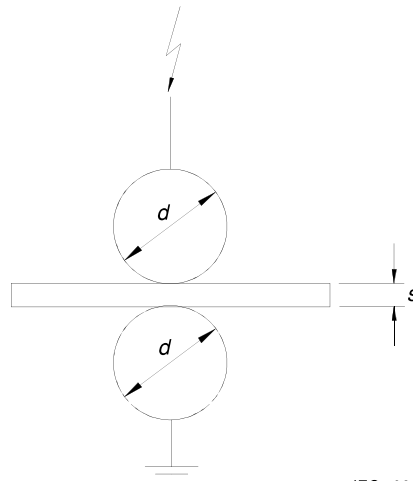
Figure 2 – Typical example of electrode arrangement for tests on tapes perpendicularly to the surface (see 4.1.2)



IEC 020/98

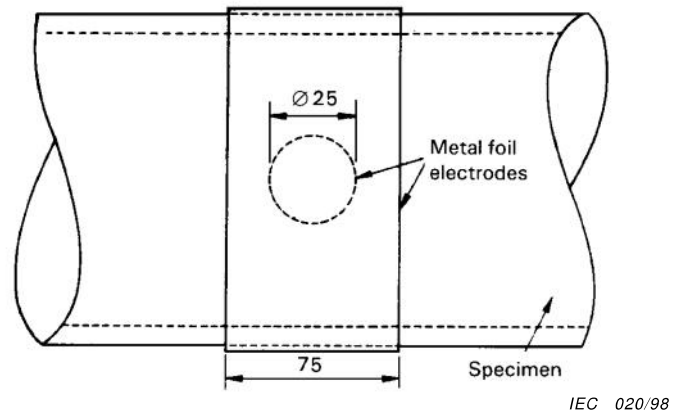
Dimensions en millimètres

Figure 3 – Disposition des électrodes pour essais perpendiculairement à la surface des tubes et de cylindres d'un diamètre intérieur supérieur à 100 mm



IEC 021/98

Figure 4 – Disposition des électrodes pour des essais sur des matériaux coulés et moulés (diamètre des électrodes sphériques: $d = 20$ mm).



Dimensions in millimetres

Figure 3 – Electrode arrangement for tests perpendicularly to the surface on tubes and cylinders with internal diameter greater than 100 mm

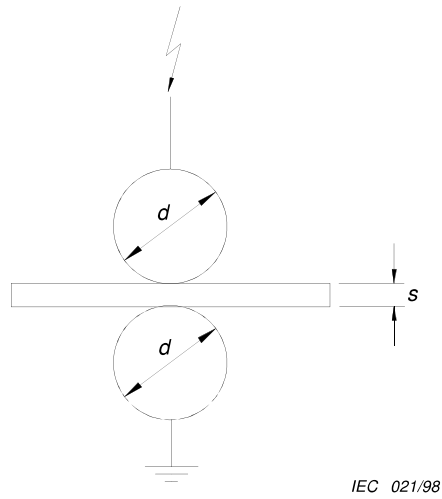


Figure 4 – Electrode arrangement for tests on casting and moulding materials (diameter of the spherical electrodes: $d = 20$ mm).

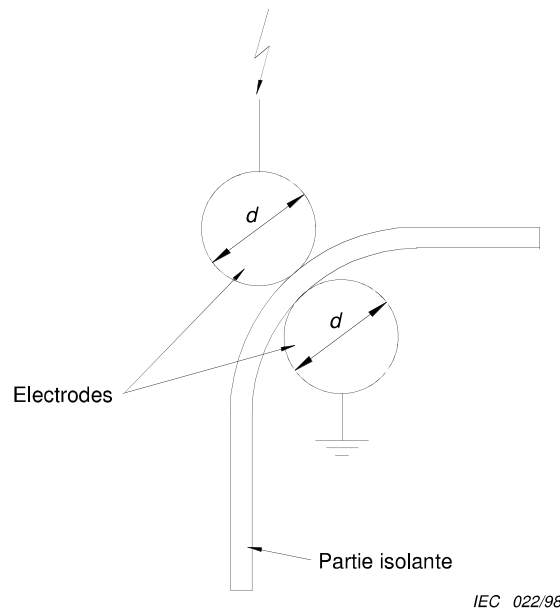
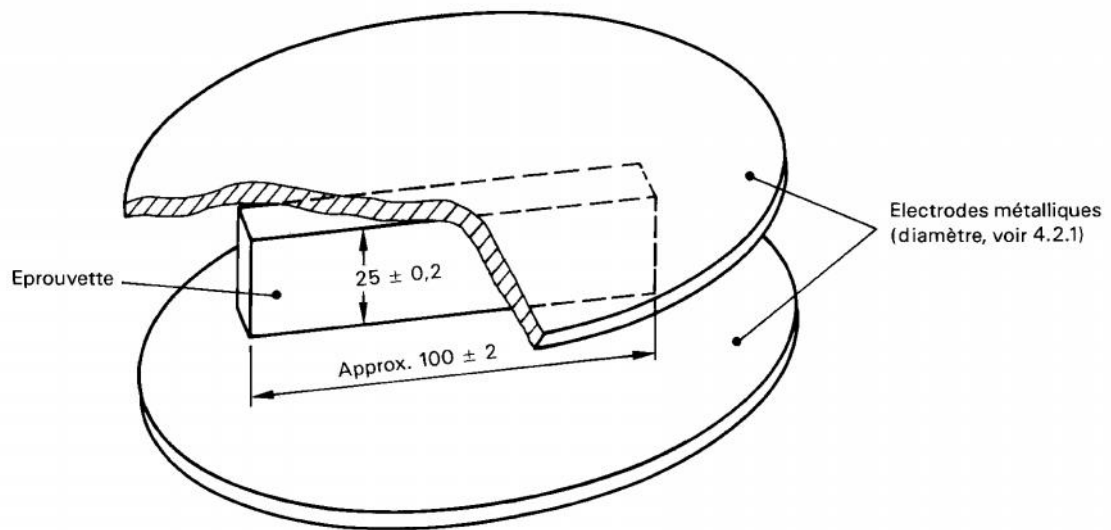


Figure 5 – Disposition des électrodes pour l'essai des parties isolantes façonnées (voir 4.1.7)



Dimensions en millimètres

Figure 6 – Disposition des électrodes pour essais parallèlement à la surface des matériaux (et parallèlement aux strates des matériaux stratifiés, s'il y a lieu)

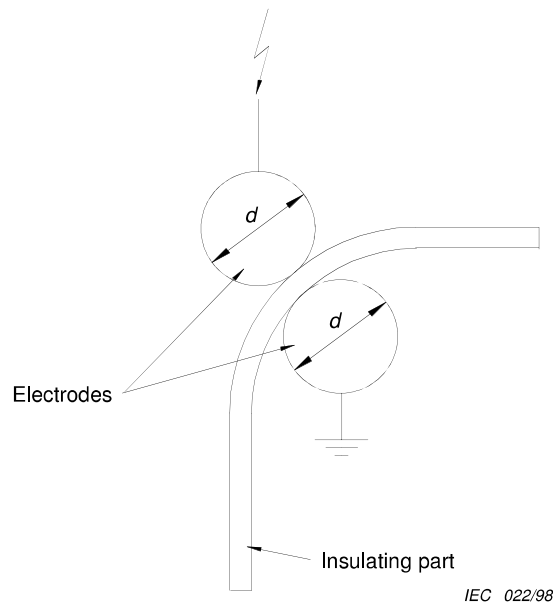
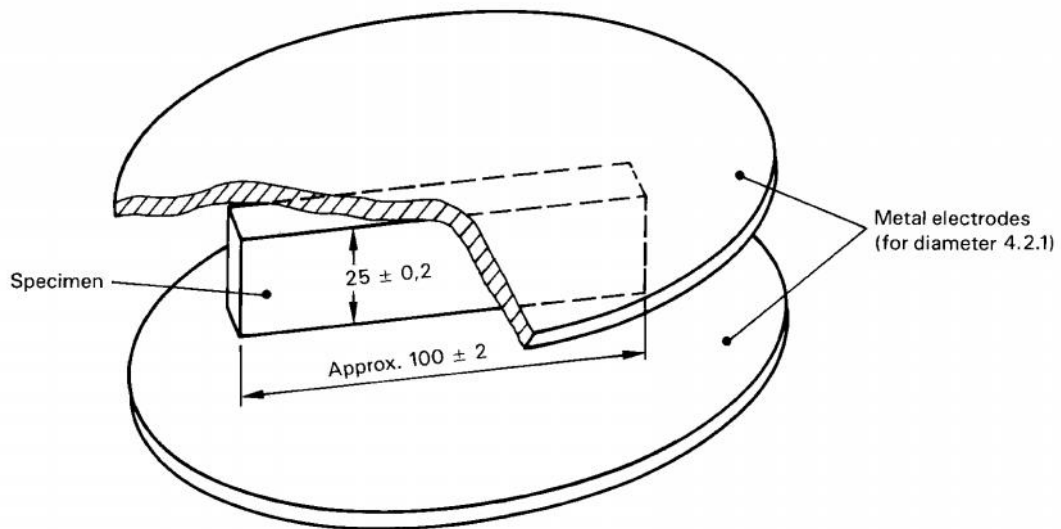
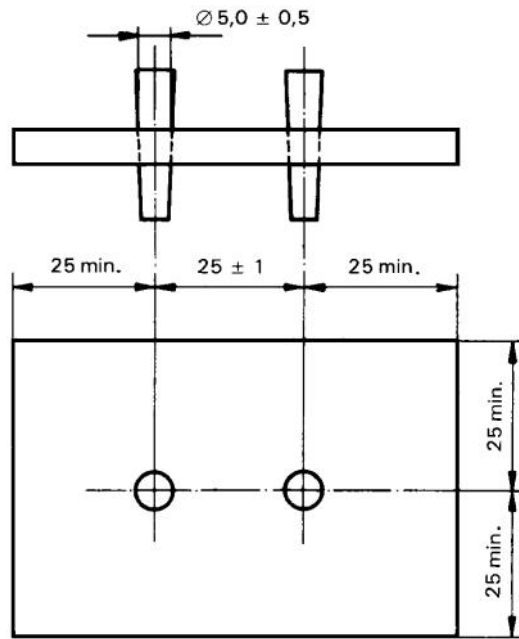


Figure 5 – Electrode arrangement for test on shaped insulating parts (see 4.1.7)



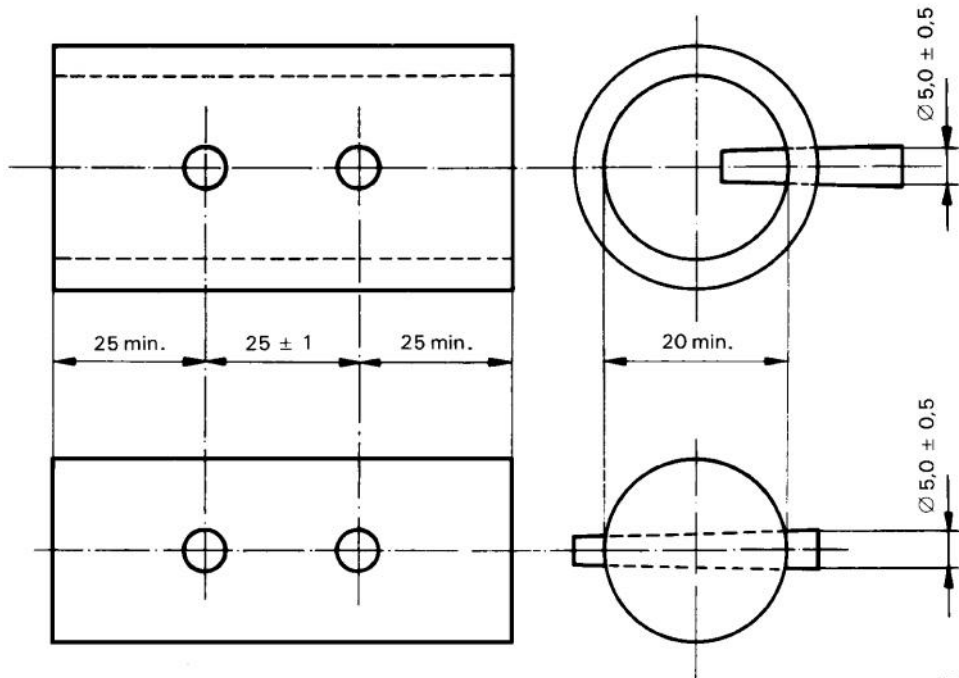
Dimensions in millimetres

Figure 6 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface (and along the laminae, if present)



932/88

Figure 7a – Eprouvette plate avec électrodes à broches coniques

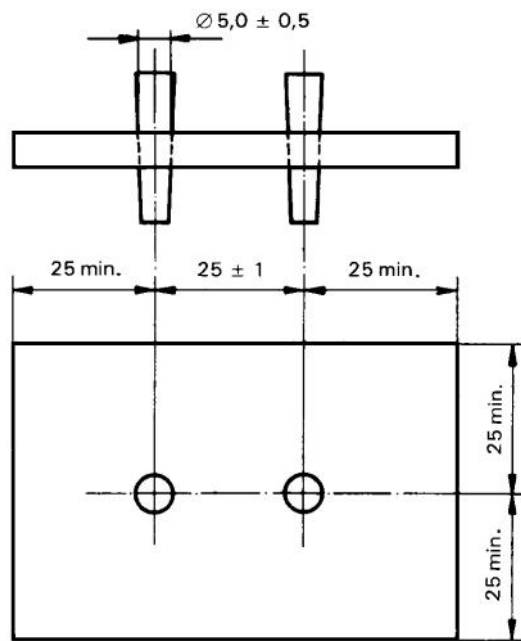


933/88

Dimensions en millimètres

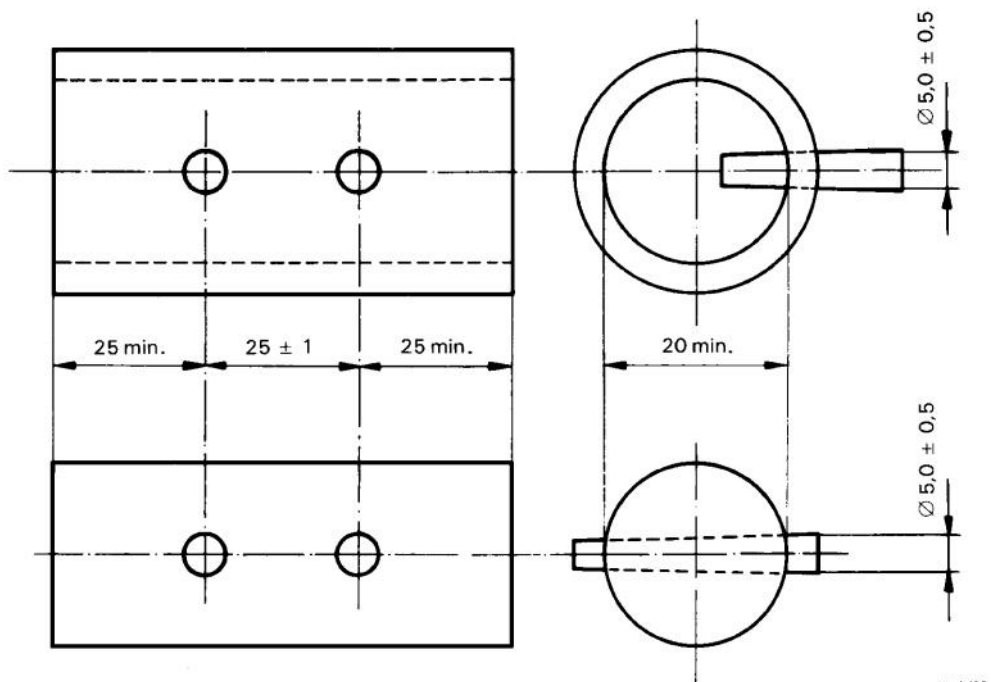
Figure 7b – Eprouvettes tubulaires et tiges cylindriques avec électrodes à broches coniques

Figure 7 – Disposition des électrodes à broches coniques pour essais parallèlement à la surface des matériaux (et parallèlement aux strates s'il y a lieu)



932/88

Figure 7a – Plate specimen with taper pin electrodes

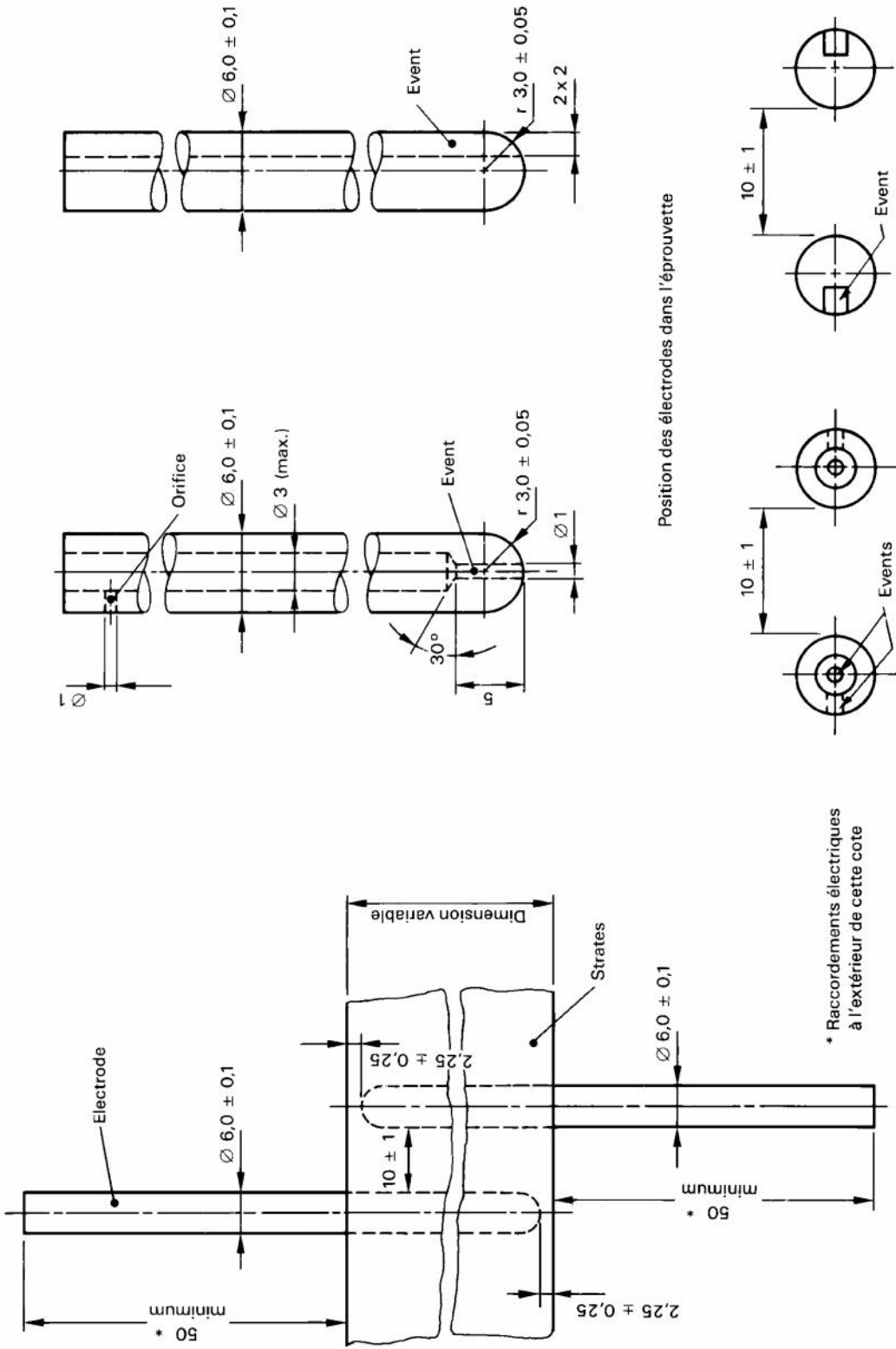


933/88

Dimensions in millimetres

Figure 7b – Tube or rod specimens with taper pin electrodes

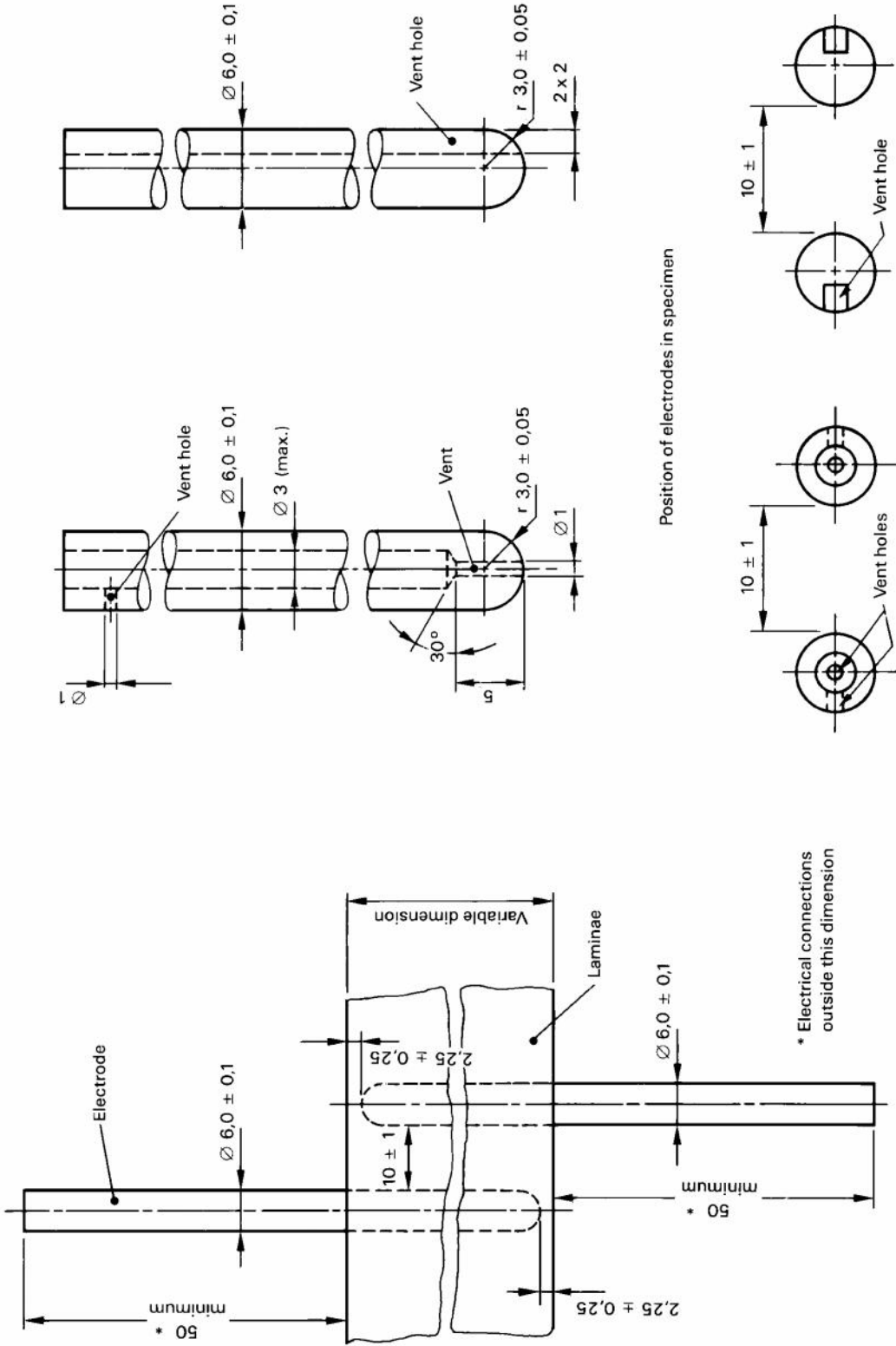
**Figure 7 – Electrode arrangement for tests parallel to the surface
(and along the laminae if present)**



IEC 024/98

Dimensions en millimètres

Figure 8 – Dispositif pour les essais parallèlement aux strates avec électrodes cylindriques parallèles (planches > 15 mm d'épaisseur) (voir 4.2.3)



IEC 024/98

Dimensions in millimetres

Figure 8 – Arrangement for tests parallel to the laminae for boards more than 15 mm thick with parallel cylindrical electrodes (see 4.2.3)

Annexe A (informative)

Traitement des résultats expérimentaux

Pour les essais de routine le mode opératoire indiqué à l'article 12 est normalement adapté à l'analyse et au compte rendu des résultats. Cependant beaucoup d'études de recherche nécessitent plus d'informations sur la réaction des matériaux aux contraintes électriques. Ainsi un nombre plus élevé d'éprouvettes et une évaluation plus poussée des résultats d'essai sont nécessaires.

Des modes opératoires prévus pour élaborer, dans ces cas, des modes opératoires et analyser les résultats ont été publiés. Parmi ces sources existent:

CEI 60727-1: 1982, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 1: Considérations générales et procédures d'évaluation basées sur une distribution normale*

CEI 60727-2: 1993, *Evaluation de l'endurance électrique des systèmes d'isolation électrique – Partie 2: Procédures d'évaluation basées sur une distribution de valeurs extrêmes*

IEEE 930 – 1987 (R1995) *Guide IEEE pour l'analyse statistique des résultats relatifs à l'endurance de la tension d'isolation électrique* (disponible à IEEE Operations Center, 445 Hoe Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA, ou dans certains pays à l'extérieur des Etats-Unis, dans les bureaux du Global Info Center).

Special Technical Publication 926, *Engineering Dielectrics, Volume IIB: Electrical Properties of Solid Insulating Materials: Measurement Techniques – Chapter 7: Statistical Methods for the Evaluation of Electrical Insulating Systems*, American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA

Annex A (informative)

Treatment of experimental data

For routine testing the procedure given in clause 12 is ordinarily adequate for analysis and reporting of data. However, many research studies require more information about the response of materials to electric stress, so that larger numbers of specimens and more involved evaluation of test results may be needed.

Procedures for designing test procedures in such cases and for analyzing the resultant data have been published. Among such sources are:

IEC 60727-1: 1982, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 1: General considerations and evaluation procedures based on normal distributions*

IEC 60727-2: 1993, *Evaluation of electrical endurance of electrical insulation systems – Part 2: Evaluation procedures based on extreme-value distributions*

IEEE 930-1987 (R1995) *IEEE guide for statistical analysis of electrical insulation voltage endurance data* (Available from IEEE Operations Center, 445 Hoe Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA, or in some countries outside the USA, from local offices of the Global Info Center)

Special Technical Publication 926, *Engineering Dielectrics, Volume IIB: Electrical Properties of Solid Insulating Materials: Measurement Techniques – Chapter 7: Statistical Methods for the Evaluation of Electrical Insulating Systems*, American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA



Standards Survey

We at the IEC want to know how our standards are used once they are published.

The answers to this survey will help us to improve IEC standards and standard related information to meet your future needs

Would you please take a minute to answer the survey on the other side and mail or fax to:

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

Case postale 131

1211 Geneva 20

Switzerland

or

Fax to: CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards making process.

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé

Case postale 131

1211 GENEVA 20

Switzerland

1.
No. of IEC standard:
.....

2.
Tell us why you have the standard.
(check as many as apply). I am:
 the buyer
 the user
 a librarian
 a researcher
 an engineer
 a safety expert
 involved in testing
 with a government agency
 in industry
 other.....

3.
This standard was purchased from?
.....

4.
This standard will be used
(check as many as apply):
 for reference
 in a standards library
 to develop a new product
 to write specifications
 to use in a tender
 for educational purposes
 for a lawsuit
 for quality assessment
 for certification
 for general information
 for design purposes
 for testing
 other.....

5.
This standard will be used in conjunction
with (check as many as apply):
 IEC
 ISO
 corporate
 other (published by.....)
 other (published by.....)
 other (published by.....)

6.
This standard meets my needs
(check one)
 not at all
 almost
 fairly well
 exactly

7.
Please rate the standard in the following
areas as (1) bad, (2) below average,
(3) average, (4) above average,
(5) exceptional, (0) not applicable:

- clearly written
- logically arranged
- information given by tables
- illustrations
- technical information

8.
I would like to know how I can legally
reproduce this standard for:
 internal use
 sales information
 product demonstration
 other.....

9.
In what medium of standard does your
organization maintain most of its
standards (check one):
 paper
 microfilm/microfiche
 mag tapes
 CD-ROM
 floppy disk
 on line

9A.
If your organization currently maintains
part or all of its standards collection in
electronic media, please indicate the
format(s):
 raster image
 full text

10.
In what medium does your organization
intend to maintain its standards collection
in the future (check all that apply):
 paper
 microfilm/microfiche
 mag tape
 CD-ROM
 floppy disk
 on line

10A.
For electronic media which format will be
chosen (check one)
 raster image
 full text

11.
My organization is in the following sector
(e.g. engineering, manufacturing)
.....

12.
Does your organization have a standards
library:
 yes
 no

13.
If you said yes to 12 then how many
volumes:
.....

14.
Which standards organizations
published the standards in your
library (e.g. ISO, DIN, ANSI, BSI,
etc.):
.....

15.
My organization supports the
standards-making process (check as
many as apply):
 buying standards
 using standards
 membership in standards
organization
 serving on standards
development committee
 other.....

16.
My organization uses (check one)
 French text only
 English text only
 Both English/French text

17.
Other comments:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

18.
Please give us information about you
and your company
name:
job title:.....
company:
address:.....
.....
.....
.....
No. employees at your location:.....
turnover/sales:.....



Enquête sur les normes

La CEI se préoccupe de savoir comment ses normes sont accueillies et utilisées.

Les réponses que nous procurera cette enquête nous aideront tout à la fois à améliorer nos normes et les informations qui les concernent afin de toujours mieux répondre à votre attente.

Nous aimerions que vous nous consacriez une petite minute pour remplir le questionnaire joint que nous vous invitons à retourner au:

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 Genève 20

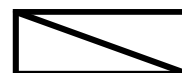
Suisse

Télécopie: IEC/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale

A Prioritaire

Nicht frankieren
Ne pas affranchir



Non affrancare
No stamp required

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Case postale 131

1211 GENÈVE 20

Suisse

1.
Numéro de la Norme CEI:
.....

2.
Pourquoi possédez-vous cette norme?
(plusieurs réponses possibles). Je suis:
 l'acheteur
 l'utilisateur
 bibliothécaire
 chercheur
 ingénieur
 expert en sécurité
 chargé d'effectuer des essais
 fonctionnaire d'Etat
 dans l'industrie
 autres

3.
Où avez-vous acheté cette norme?
.....

4.
Comment cette norme sera-t-elle utilisée?
(plusieurs réponses possibles)
 comme référence
 dans une bibliothèque de normes
 pour développer un produit nouveau
 pour rédiger des spécifications
 pour utilisation dans une soumission
 à des fins éducatives
 pour un procès
 pour une évaluation de la qualité
 pour la certification
 à titre d'information générale
 pour une étude de conception
 pour effectuer des essais
 autres

5.
Cette norme est-elle appelée à être utilisée conjointement avec d'autres normes? Lesquelles? (plusieurs réponses possibles):
 CEI
 ISO
 internes à votre société
 autre (publiée par))
 autre (publiée par))
 autre (publiée par))

6.
Cette norme répond-elle à vos besoins?
 pas du tout
 à peu près
 assez bien
 parfaitement

7.
Nous vous demandons maintenant de donner une note à chacun des critères ci-dessous (1, mauvais; 2, en-dessous de la moyenne; 3, moyen; 4, au-dessus de la moyenne; 5, exceptionnel; 0, sans objet)
 clarté de la rédaction
 logique de la disposition
 tableaux informatifs
 illustrations
 informations techniques

8.
J'aimerais savoir comment je peux reproduire légalement cette norme pour:
 usage interne
 des renseignements commerciaux
 des démonstrations de produit
 autres

9.
Quel support votre société utilise-t-elle pour garder la plupart de ses normes?
 papier
 microfilm/microfiche
 bandes magnétiques
 CD-ROM
 disquettes
 abonnement à un serveur électronique

9A.
Si votre société conserve en totalité ou en partie sa collection de normes sous forme électronique, indiquer le ou les formats:
 format tramé (ou image balayée ligne par ligne)
 texte intégral

10.
Sur quels supports votre société prévoit-elle de conserver sa collection de normes à l'avenir (plusieurs réponses possibles):
 papier
 microfilm/microfiche
 bandes magnétiques
 CD-ROM
 disquettes
 abonnement à un serveur électronique

10A.
Quel format serait retenu pour un moyen électronique? (une seule réponse)
 format tramé
 texte intégral

11.
A quel secteur d'activité appartient votre société? (par ex. ingénierie, fabrication)
.....

12.
Votre société possède-t-elle une bibliothèque de normes?
 Oui
 Non

13.
En combien de volumes dans le cas affirmatif?
.....

14.
Quelles organisations de normalisation ont publié les normes de cette bibliothèque (ISO, DIN, ANSI, BSI, etc.):
.....

15.
Ma société apporte sa contribution à l'élaboration des normes par les moyens suivants (plusieurs réponses possibles):
 en achetant des normes
 en utilisant des normes
 en qualité de membre d'organisations de normalisation
 en qualité de membre de comités de normalisation
 autres

16.
Ma société utilise (une seule réponse)
 des normes en français seulement
 des normes en anglais seulement
 des normes bilingues anglais/français

17.
Autres observations
.....
.....
.....
.....
.....
.....

18.
Pourriez-vous nous donner quelques informations sur vous-mêmes et votre société?
nom
fonction
nom de la société
adresse
.....
.....
nombre d'employés
chiffre d'affaires:

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15**

60085 (1984)	Evaluation et classification thermiques de l'isolation électrique.
60093 (1980)	Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides.
60112 (1979)	Méthode pour déterminer les indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides dans des conditions humides.
60167 (1964)	Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides.
60212 (1971)	Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides.
60216: —	Guide pour la détermination des propriétés d'endurance thermique de matériaux isolants électriques.
60216-1 (1990)	Première partie: Guide général relatif aux méthodes de vieillissement et à l'évaluation des résultats d'essai.
60216-2 (1990)	Deuxième partie: Choix de critères d'essai.
60216-3: —	Troisième partie: Instructions pour le calcul des caractéristiques d'endurance thermique.
60216-3-1 (1990)	Section 1: Calculs basés sur les valeurs moyennes des résultats complets normalement distribués.
60216-3-2 (1993)	Section 2: Calculs applicables aux résultats incomplets: résultats des essais d'épreuve de durée inférieure ou égale au temps médian pour atteindre le point limite (groupe d'essais égaux).
60216-4-1 (1990)	Quatrième partie: Etuves de vieillissement. Section 1: Etuves à une seule chambre.
60216-5 (1990)	Cinquième partie: Guide pour l'utilisation des caractéristiques d'endurance thermique.
60243: —	Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai.
60243-1 (1998)	Partie 1: Essais aux fréquences industrielles.
60243-2 (1990)	Deuxième partie: Prescriptions complémentaires pour la mesure à tension continue.
60243-3 (1993)	Partie 3: Prescriptions complémentaires pour les essais de choc.
60250 (1969)	Méthodes recommandées pour la détermination de la permittivité et du facteur de dissipation des isolants électriques aux fréquences industrielles, audibles et radioélectriques (ondes métriques comprises).
60343 (1991)	Méthodes d'essai recommandées pour la détermination de la résistance relative des matériaux isolants au claquage par les décharges superficielles.
60345 (1971)	Méthode d'essai pour la résistance d'isolement et la résistivité transversale des matériaux isolants à des températures élevées.
60370 (1971)	Méthode d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique des vernis isolants par l'abaissement de la rigidité diélectrique.
60371: —	Spécification pour les matériaux isolants à base de mica.
60371-1 (1980)	Première partie: Définitions et prescriptions générales.
60371-2 (1987)	Deuxième partie: Méthodes d'essais. Amendement 1 (1994).
60371-3: —	Troisième partie: Spécifications pour matériaux particuliers.
60371-3-1 (1984)	Feuille 1: Matériaux pour entrelames de collecteurs.
60371-3-2 (1991)	Feuille 2: Papier de mica.
60371-3-3 (1983)	Feuille 3: Matériaux rigides à base de mica pour appareils de chauffage.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15**

60085 (1984)	Thermal evaluation and classification of electrical insulation.
60093 (1980)	Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials.
60112 (1979)	Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions.
60167 (1964)	Methods of test for the determination of the insulation resistance of solid insulating materials.
60212 (1971)	Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials.
60216: —	Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials.
60216-1 (1990)	Part 1: General guidelines for ageing procedures and evaluation of test results.
60216-2 (1990)	Part 2: Choice of test criteria.
60216-3: —	Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics.
60216-3-1 (1990)	Section 1: Calculations using mean values of normally distributed complete data.
60216-3-2 (1993)	Section 2: Calculations for incomplete data: proof test results up to and including the median time to end-point (equal test groups).
60216-4-1 (1990)	Part 4: Ageing ovens. Section 1: Single-chamber ovens.
60216-5 (1990)	Part 5: Guidelines for the application of thermal endurance characteristics.
60243: —	Electrical strength of insulating materials – Test methods.
60243-1 (1998)	Part 1: Tests at power frequencies.
60243-2 (1990)	Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage.
60243-3 (1993)	Part 3: Additional requirements for impulse tests.
60250 (1969)	Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths.
60343 (1991)	Recommended test methods for determining the relative resistance of insulating materials to breakdown by surface discharges.
60345 (1971)	Method of test for electrical resistance and resistivity of insulating materials at elevated temperatures.
60370 (1971)	Test procedure for thermal endurance of insulating varnishes – Electric strength method.
60371: —	Specification for insulating materials based on mica.
60371-1 (1980)	Part 1: Definitions and general requirements.
60371-2 (1987)	Part 2: Methods of test. Amendment 1 (1994).
60371-3: —	Part 3: Specifications for individual materials.
60371-3-1 (1984)	Sheet 1: Commutator separators and materials.
60371-3-2 (1991)	Sheet 2: Mica paper.
60371-3-3 (1983)	Sheet 3: Specification for rigid mica materials for heating equipment.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 60371-3-4 (1992) Feuille 4: Papier de mica renforcé d'un film de polyester avec un agglomérant en résine époxyde à l'état B.
- 60371-3-5 (1992) Feuille 5: Papier de mica renforcé de verre avec un agglomérant en résine époxyde pour post-impregnation (VPI).
- 60371-3-6 (1992) Feuille 6: Papier de mica renforcé de verre avec un agglomérant en résine à l'état B.
- 60371-3-7 (1995) Feuille 7: Ruban à base de papier de mica, film polyester et liants epoxyde, pour conducteurs élémentaires.
- 60371-3-8 (1995) Feuille 8: Ruban à base de papier de mica pour câbles de sécurité résistant à la flamme.
- 60371-3-9 (1995) Feuille 9: Micanite moulable.
- 60377: — Méthodes pour la détermination des propriétés diélectriques de matériaux isolants aux fréquences supérieures à 300 MHz.
- 60377-1 (1973) Première partie: Généralités.
- 60377-2 (1977) Deuxième partie: Méthodes de résonance.
- 60394: — Tissus vernis à usages électriques.
- 60394-1 (1972) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 60394-2 (1972) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 60394-3: — Troisième partie: Spécifications pour matériaux individuels.
- 60394-3-1 (1976) Feuille 1: Vernis oléorésineux – support coton OR/C.
- 60394-3-2 (1988) Feuille 2: Tissus à base de tissé de verre avec vernis époxyde, au polyuréthane, aux silicones, aux polyesters, bitumineux ou oléorésineux.
- 60426 (1973) Méthodes d'essais pour la détermination de la corrosion électrolytique en présence de matériaux isolants.
- 60450 (1974) Mesure du degré de polymérisation moyen viscosimétrique de papiers neufs et vieillis à usage électrique.
- 60454: — Spécifications pour rubans adhésifs sensibles à la pression à usages électriques.
- 60454-1 (1992) Première partie: Prescriptions générales.
- 60454-2 (1994) Partie 2: Méthodes d'essai.
- 60454-2A (1978) Premier complément.
- 60454-3: — Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 60454-3-1 (1976) Feuille 1: Conditions applicables au chlorure de polyvinyle plastifié avec adhésif non thermodurcissable.
- 60454-3-2 (1981) Feuille 2: Conditions applicables aux rubans de polyester (PETP) avec adhésif thermodurcissable.
- 60454-3-3 (1981) Feuille 3: Conditions applicables aux rubans de polyester (PETP) avec adhésif non thermodurcissable.
- 60454-3-4 (1978) Feuille 4: Conditions applicables au papier cellulosique crêpé avec adhésif thermodurcissable.
- 60454-3-5 (1980) Feuille 5: Prescriptions applicables au papier cellulosique avec adhésif thermodurcissable.
- 60454-3-6 (1984) Feuille 6: Prescriptions applicables aux rubans de polycarbonate avec adhésif non thermodurcissable.
- 60454-3-7 (1984) Feuille 7: Prescriptions applicables aux rubans de polyimide avec adhésif thermodurcissable.
- 60454-3-8 (1986) Feuille 8: Prescriptions applicables aux rubans en tissu de verre avec adhésif thermodurcissable.
- 60454-3-10 (1995) Feuille 10: Prescriptions relatives aux rubans d'acétate-butyrates de cellulose avec un adhésif en caoutchouc thermodurcissable.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 60371-3-4 (1992) Sheet 4: Polyester film-backed mica paper with a B-stage epoxy resin binder.
- 60371-3-5 (1992) Sheet 5: Glass-backed mica paper with an epoxy resin binder for post-impregnation (VPI).
- 60371-3-6 (1992) Sheet 6: Glass-backed mica paper with a B-stage epoxy resin binder.
- 60371-3-7 (1995) Sheet 7: Polyester film mica paper with an epoxy resin binder for single conductor taping.
- 60371-3-8 (1995) Sheet 8: Mica paper tapes for flame-resistant security cables.
- 60371-3-9 (1995) Sheet 9: Moulding micanite.
- 60377: — Methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300 Mhz.
- 60377-1 (1973) Part 1: General.
- 60377-2 (1977) Part 2: Resonance methods.
- 60394: — Varnished fabrics for electrical purposes.
- 60394-1 (1972) Part 1: Definitions and general requirements.
- 60394-2 (1972) Part 2: Methods of test.
- 60394-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60394-3-1 (1976) Sheet 1: Oleoresinous varnish-cotton base, OR/C.
- 60394-3-2 (1988) Sheet 2: Glass-fabric based varnished fabrics with epoxy, polyurethane, silicone, polyester, bituminous or oleoresinous varnish.
- 60426 (1973) Test methods for determining electrolytic corrosion with insulating materials.
- 60450 (1974) Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged electrical papers.
- 60454: — Specifications for pressure-sensitive adhesive tapes for electrical purposes.
- 60454-1 (1992) Part 1: General requirements.
- 60454-2 (1994) Part 2: Methods of test.
- 60454-2A (1978) First supplement.
- 60454-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60454-3-1 (1976) Sheet 1: Requirements for plasticized polyvinyl chloride with non-thermosetting adhesive.
- 60454-3-2 (1981) Sheet 2: Requirements for polyester film tapes (PETP) with thermosetting adhesive.
- 60454-3-3 (1981) Sheet 3: Requirements for polyester film tapes (PETP) with non-thermosetting adhesive.
- 60454-3-4 (1978) Sheet 4: Requirements for cellulosic paper, creped, with thermosetting adhesive.
- 60454-3-5 (1980) Sheet 5: Requirements for cellulosic paper with thermosetting adhesive.
- 60454-3-6 (1984) Sheet 6: Requirements for polycarbonate film tapes with non-thermosetting adhesive.
- 60454-3-7 (1984) Sheet 7: Requirements for polyimide film tapes with thermosetting adhesive.
- 60454-3-8 (1986) Sheet 8: Requirements for glass fabric tapes with thermosetting adhesive.
- 60454-3-10 (1995) Sheet 10: Requirements for cellulose-acetate-butyrates film tapes with rubber thermosetting adhesive.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 60454-3-11 (1998) Feuille 11: Rubans combinés faits de papier cellulosique crêpé et de film de polyéthylène téréphtalate avec un adhésif en caoutchouc thermodurcissable.
- 60454-3-13 (1995) Feuille 13: Prescriptions relatives aux rubans de tissu composés de cellulose et de viscose mélangées, dont un côté est enduit d'un matériau thermoplastique et l'autre d'un adhésif en caoutchouc thermodurcissable.
- 60455: — Spécification relative aux composés résineux polymérisables sans solvant utilisés comme isolants électriques.
- 60455-1 (1974) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 60455-1A (1980) Premier complément: Principe de classification des composés résineux polymérisables.
- 60455-2 (1977) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Modification n° 1 (1982).
- 60455-2-2 (1984) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Méthodes d'essai des poudres de revêtement à usages électriques.
- 60455-3: — Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 60455-3-1 (1981) Feuille 1: Composés résineux époxydes sans charge.
- 60455-3-2 (1987) Feuille 2: Composés résineux époxydes chargés de silice. Amendement 1 (1994).
- 60455-3-3 (1984) Feuille 3: Composés résineux de polyuréthane non chargés.
- 60455-3-4 (1984) Feuille 4: Composés résineux de polyuréthane chargés.
- 60455-3-5 (1989) Feuille 5: Résines d'imprégnation en polyester insaturé.
- 60455-3-11 (1988) Feuille 11: Poudres de revêtement à base de résines époxyde.
- 60464: — Spécification relative aux vernis isolants contenant un solvant.
- 60464-1 (1976) Première partie: Définitions et conditions générales.
- 60464-2 (1974) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 60464-3: — Troisième partie: Spécifications pour les matériaux particuliers.
- 60464-3-1 (1986) Feuille 1: Prescriptions pour vernis de finition polymérisant à froid.
- 60464-3-2 (1989) Feuille 2: Prescriptions pour vernis d'imprégnation polymérisant à chaud.
- 60493: — Guide pour l'analyse statistique de données d'essais de vieillissement.
- 60493-1 (1974) Première partie. Méthodes basées sur les valeurs moyennes de résultats d'essais normalement distribués.
- 60544: — Matériaux isolants électriques – Détermination des effets des rayonnements ionisants.
- 60544-1 (1994) Partie 1: Interaction des rayonnements et dosimétrie.
- 60544-2 (1991) Deuxième partie: Méthodes d'irradiation et d'essais.
- 60544-4 (1985) Quatrième partie: Système de classification pour l'utilisation dans un environnement sous rayonnement.
- 60554: — Papiers cellulosiques à usages électriques.
- 60554-1 (1977) Première partie: Définitions et conditions générales. Modification n° 1 (1983).

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 60454-3-11 (1998) Sheet 11: Combination tapes made of creped cellulosic paper and polyethylene terephthalate film with rubber thermosetting adhesive.
- 60454-3-13 (1995) Sheet 13: Requirements for combined cellulose-viscose woven fabric tapes, one side covered with a thermoplastic material, the other side with rubber thermosetting adhesive.
- 60455: — Specification for solventless polymerisable resinous compounds used for electrical insulation.
- 60455-1 (1974) Part 1: Definitions and general requirements.
- 60455-1A (1980) First supplement: Basis for classification of polymerisable resinous compounds.
- 60455-2 (1977) Part 2: Methods of test. Amendment No. 1 (1982).
- 60455-2-2 (1984) Part 2: Methods of test. Test methods for coating powders for electrical purposes.
- 60455-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60455-3-1 (1981) Sheet 1: Unfilled epoxy resinous compounds.
- 60455-3-2 (1987) Sheet 2: Quartz filled epoxy resinous compounds. Amendment 1 (1994).
- 60455-3-3 (1984) Sheet 3: Unfilled polyurethane compounds.
- 60455-3-4 (1984) Sheet 4: Filled polyurethane compounds.
- 60455-3-5 (1989) Sheet 5: Unsaturated polyester impregnating resins.
- 60455-3-11 (1988) Sheet 11: Epoxy resin-based coating powders.
- 60464: — Specification for insulating varnishes containing solvent.
- 60464-1 (1976) Part 1: Definitions and general requirements.
- 60464-2 (1974) Part 2: Test methods.
- 60464-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60464-3-1 (1986) Sheet 1: Requirements for cold curing finishing varnishes.
- 60464-3-2 (1989) Sheet 2: Requirements for hot curing impregnating varnishes.
- 60493: — Guide for the statistical analysis of ageing test data.
- 60493-1 (1974) Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results.
- 60544: — Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation.
- 60544-1 (1994) Part 1: Radiation interaction and dosimetry.
- 60544-2 (1991) Part 2: Procedures for irradiation and test.
- 60544-4 (1985) Part 4: Classification system for service in radiation environments.
- 60554: — Cellulosic papers for electrical purposes.
- 60554-1 (1977) Part 1: Definitions and general requirements Amendment No. 1 (1983).

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 60554-2 (1995) Partie 2: Méthodes d'essai.
60554-3:— Troisième partie: Spécification pour matériaux particuliers.
60554-3-1 (1979) Feuille 1: Papier pour usage électrique général.
60554-3-2 (1983) Feuille 2: Papier pour condensateurs.
60554-3-3 (1980) Feuille 3: Papier crêpé.
60554-3-4 (1979) Feuille 4: Papier électrolytique pour condensateurs.
60554-3-5 (1984) Feuille 5: Papiers spéciaux.
60587 (1984) Méthodes d'essai pour évaluer la résistance au cheminement et à l'érosion des matériaux isolants électriques utilisés dans des conditions ambiantes sévères.
60589 (1977) Méthodes d'essai pour la détermination des impuretés ioniques dans les matériaux isolants électriques par extraction par des liquides.
60626:— Matériaux combinés souples destinés à l'isolement électrique.
60626-1 (1995) Partie 1: Définitions et prescriptions générales. Amendement 1 (1996).
60626-2 (1995) Partie 2: Méthodes d'essai.
60626-3 (1996) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers.
60641:— Spécifications pour le carton comprimé et le papier comprimé à usages électriques.
60641-1 (1979) Première partie: Définitions et prescriptions générales. Amendement 1 (1993).
60641-2 (1979) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Amendement 1 (1993).
60641-3:— Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers.
60641-3-1 (1992) Feuille 1: Prescriptions pour carton comprimé. Types B.0.1, B.2.1, B.2.3, B.3.1, B.3.3, B.4.1, B.4.3, B.5.1, B.6.1 et B.7.1.
60641-3-2 (1992) Feuille 2: Prescriptions pour papier comprimé, types P.2.1, P.4.1, P.4.2, P.4.3, P.6.1 et P.7.1.
60648 (1979) Méthode d'essai des coefficients de frottement des films et feuilles de matière plastique utilisés comme isolants électriques.
60667:— Spécification pour les fibres vulcanisées à usages électriques.
60667-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
60667-2 (1982) Deuxième partie: Méthodes d'essai. Modification n° 1 (1986).
60667-3:— Troisième partie: Spécifications pour matériaux individuels.
60667-3-1 (1986) Feuille 1: Feuilles planes.
60672:— Spécification pour matériaux isolants à base de céramique ou de verre.
60672-1 (1995) Partie 1: Définitions et classification.
60672-2 (1980) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
60672-3 (1997) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers.
60674:— Spécification pour les films en matière plastique à usages électriques.
60674-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
60674-2 (1988) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
60674-3:— Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers.
60674-3-2 (1992) Feuille 2: Prescriptions pour les films de polyéthylène- téréphthalate (PET), à orientation biaxe équilibrée, utilisés dans l'isolation électrique.
60674-3-3 (1992) Feuille 3: Prescriptions pour les films polycarbonate (PC) utilisés dans l'isolation électrique.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 60554-2 (1995) Part 2: Methods of test.
60554-3:— Part 3: Specifications for individual materials.
60554-3-1 (1979) Sheet 1: General purpose electrical paper.
60554-3-2 (1983) Sheet 2: Capacitor paper.
60554-3-3 (1980) Sheet 3: Crêpe paper.
60554-3-4 (1979) Sheet 4: Electrolytic capacitor paper.
60554-3-5 (1984) Sheet 5: Special papers.
60587 (1984) Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions.
60589 (1977) Methods of test for the determination of ionic impurities in electrical insulating materials by extraction with liquids.
60626:— Combined flexible materials for electrical insulation.
60626-1 (1995) Part 1: Definitions and general requirements. Amendment 1 (1996).
60626-2 (1995) Part 2: Methods of test.
60626-3 (1996) Part 3: Specifications for individual materials.
60641:— Specification for pressboard and presspaper for electrical purposes.
60641-1 (1979) Part 1: Definitions and general requirements. Amendment 1 (1993).
60641-2 (1979) Part 2: Methods of test. Amendment 1 (1993).
60641-3:— Part 3: Specifications for individual materials.
60641-3-1 (1992) Sheet 1: Requirements for pressboard. Types B.0.1, B.2.1, B.2.3, B.3.1, B.3.3, B.4.1, B.4.3, B.5.1, B.6.1 and B.7.1.
60641-3-2 (1992) Sheet 2: Requirements for presspaper, types P.2.1, P.4.1, P.4.2, P.4.3, P.6.1 et P.7.1.
60648 (1979) Method of test for coefficients of friction of plastic film and sheeting for use as electrical insulation.
60667:— Specification for vulcanized fibre for electrical purposes.
60667-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
60667-2 (1982) Part 2: Methods of test. Amendment No. 1 (1986).
60667-3:— Part 3: Specifications for individual materials.
60667-3-1 (1986) Sheet 1: Flat sheets.
60672:— Specification for ceramic and glass insulating materials.
60672-1 (1995) Part 1: Definitions and classification.
60672-2 (1980) Part 2: Methods of test.
60672-3 (1997) Part 3: Specifications for individual materials.
60674:— Specification for plastic films for electrical purposes.
60674-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
60674-2 (1988) Part 2: Methods of test.
60674-3:— Part 3: Specifications for individual materials.
60674-3-2 (1992) Sheet 2: Requirements for balanced biaxially oriented polyethylene terephthalate (PET) films used for electrical insulation.
60674-3-3 (1992) Sheet 3: Requirements for polycarbonate (PC) film used for electrical insulation.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 60674-3-4 à 6 (1993) Feuilles 4 à 6: Prescriptions pour les films de polyimide utilisés dans l'isolation électrique.
- 60674-3-7 (1992) Feuille 7: Prescriptions pour les films de fluoroéthylène-propylène (FEP) utilisés dans l'isolation électrique.
- 60684: — Spécification pour gaines isolantes souples.
- 60684-1 (1980) Première partie: Définitions et prescriptions générales.
- 60684-2 (1997) Deuxième partie: Méthodes d'essai.
- 60684-3: — Troisième partie: Spécifications particulières aux types particuliers de gaines.
- 60684-3-100 à 105 (1988) Feuilles 100 à 105: Gaines en PVC extrudé.
- 60684-3-116 à 118 (1991) Feuilles 116 à 118: Polychloroprène extrudé, utilisation générale.
- 60684-3-121 et 122 (1988) Feuilles 121 et 122: Gaines en silicone extrudé.
- 60684-3-123 et 124 (1992) Feuilles 123 et 124: Gaines en silicone extrudé, pour usage général, avec faible teneur en matières volatiles.
- 60684-3-136 (1997) Feuille 136: Gaines en fluorosilicone extrudé – Usage général.
- 60684-3-201 (1991) Feuille 201: Gaine souple thermorétractable en PVC réticulé, pour usage général, avec rapport de rétrécissement de 2 à 1.
- 60684-3-209 (1987) Feuille 209: Gaines thermorétractables tous usages, en polyoléfine flexibles, à flamme retardée, rapport de rétreint 2:1.
- 60684-3-211 (1992) Feuille 211: Gaines thermorétractables, tous usages, en polyoléfine, semi-rigide, à rapport du rétreint 2:1.
- 60684-3-240 à 243 (1991) Feuilles 240 à 243: Gaines thermorétractables, de PTFE.
- 60684-3-246 (1992) Feuille 246: Gaines thermorétractables en polyoléfine, à double paroi, non retardées à la flamme.
- 60684-3-300 (1987) Feuille 300: Gaines en fibre de verre tissées, guipées, nues.
- 60684-3-320 (1987) Feuille 320: Téréphtalate de polyéthylène tissé, légèrement imprégné.
- 60684-3-340 à 342 (1992) Feuilles 340 à 342: Gaines expansibles tressées de téréphtalate de polyéthylène.
- 60684-3-343 à 345 (1992) Feuilles 343 à 345: Gaines expansibles tressées en éthylène chlorotrifluoroéthylène (E-CTFE), tissées, non revêtues.
- 60684-3-400 à 402 (1991) Feuilles 400 à 402: Gaines en fibres de verre tissées avec revêtement en élastomère silicone.
- 60684-3-403 à 405 (1988) Feuilles 403 à 405: Gaines en fibres de verre tissées, avec revêtement acrylique.
- 60684-3-406 à 408 (1988) Feuilles 406 à 408: Gaines en fibre de verre tissées, avec revêtement PVC.
- 60684-3-420 à 422 (1991) Feuilles 420 à 422: Gaines en téréphtalate de polyéthylène tissées avec revêtement acrylique.
- 60707 (1981) Méthodes d'essai pour évaluer l'inflammabilité des matériaux isolants électriques solides soumis à une source d'allumage.
- 60763: — Spécification pour cartons comprimés et contrecollés.
- 60763-1 (1983) Première partie: Définitions, classification et prescriptions générales.
- 60763-2 (1991) Deuxième partie: Méthodes d'essai.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 60674-3-4 to 6 (1993) Sheets 4 to 6: Requirements for polyimide films used for electrical insulation.
- 60674-3-7 (1992) Sheet 7: Requirements for fluoroethylene-propylene (FEP) films used for electrical insulation.
- 60684: — Specification for flexible insulating sleeving.
- 60684-1 (1980) Part 1: Definitions and general requirements.
- 60684-2 (1997) Part 2: Methods of test.
- 60684-3: — Part 3: Specification requirements for individual types of sleeving.
- 60684-3-100 to 105 (1988) Sheets 100 to 105: Extruded PVC sleeving.
- 60684-3-116 to 118 (1991) Sheets 116 to 118: Extruded polychloroprene, general purpose.
- 60684-3-121 and 122 (1988) Sheets 121 and 122: Extruded silicone sleeving.
- 60684-3-123 and 124 (1992) Sheets 123 and 124: Extruded silicone sleeving, general purpose (without defined burning).
- 60684-3-136 (1997) Sheet 136: Extruded fluorosilicone sleeving – General purpose.
- 60684-3-201 (1991) Sheet 201: Heat shrinkable sleeving, general purposes, flexible, crosslinked PVC, shrink ratio 2 to 1.
- 60684-3-209 (1987) Sheet 209: Heat shrinkable sleeving, general purpose, flame retarded polyolefin shrink ratio 2:1.
- 60684-3-211 (1992) Sheet 211: Heat shrinkable sleeving, general purpose, semi-rigid polyolefin shrink ratio 2:1.
- 60684-3-240 to 243 (1991) Sheets 240 to 243: Heat shrinkable PTFE sleeving.
- 60684-3-246 (1992) Sheet 246: Heat shrinkable sleeving, dual wall, not flame retarded, polyolefin.
- 60684-3-300 (1987) Sheet 300: Glass textile fibre sleeving, braided, uncoated.
- 60684-3-320 (1987) Sheet 320: Polyethylene terephthalate textile, lightly impregnated.
- 60684-3-340 to 342 (1992) Sheets 340 to 342: Expandable, braided polyethylene terephthalate sleeving, uncoated, general purpose.
- 60684-3-343 to 345 (1992) Sheets 343 to 345: Expandable braided ethylene chlorotrifluoroethylene (E-CTFE) textile sleeving, uncoated.
- 60684-3-400 to 402 (1991) Sheets 400 to 402: Glass textile sleeving with silicone elastomer coating.
- 60684-3-403 to 405 (1988) Sheets 403 to 405: Glass textile sleeving with acrylic based coating.
- 60684-3-406 to 408 (1988) Sheets 406 to 408: Glass textile sleeving with PVC based coating.
- 60684-3-420 to 422 (1991) Sheets 420 to 422: Polyethylene terephthalate textile with acrylic based coating.
- 60707 (1981) Methods of test for the determination of the flammability of solid electrical insulating materials when exposed to an igniting source.
- 60763: — Specification for laminated pressboard.
- 60763-1 (1983) Part 1: Definitions, classification and general requirements.
- 60763-2 (1991) Part 2: Methods of test.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 60763-3: — Troisième partie: Spécifications particulières aux matériaux.
- 60763-3-1 (1992) Feuille 1: Types LB 3.1.1, 3.1.2, 3.3.1 et 3.3.2, carton précomprimé contrecollé.
- 60795 (1984) Méthode d'essai pour évaluer l'endurance thermique des matériaux sous forme de feuille souple par la méthode de l'enroulement sur tube.
- 60819: — Papiers non cellulósiques à usages électriques.
- 60819-1 (1995) Partie 1: Définitions et prescriptions générales. Amendement 1 (1996).
- 60819-3: — Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers.
- 60819-3-3 (1991) Feuille 3: Papiers d'aramide (polyamides aromatiques) non chargés.
- 60829 (1988) Méthodes d'essai pour évaluer l'allumabilité des matériaux isolants électriques solides soumis à des sources de chaleur constituée de fils chauffés électriquement.
- 60893: — Spécification pour les stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques.
- 60893-1 (1987) Première partie: Définitions, désignations et prescriptions générales.
- 60893-2 (1992) Partie 2: Méthodes d'essai.
- 60893-3: — Partie 3: Spécification pour les matériaux particuliers.
- 60893-3-1 (1992) Feuille 1: Types de stratifiés industriels en planches. Amendement 1 (1996).
- 60893-3-2 (1993) Feuille 2: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine époxyde.
- 60893-3-3 (1993) Feuille 3: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine mélamine.
- 60893-3-4 (1993) Feuille 4: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine phénolique.
- 60893-3-5 (1993) Feuille 5: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine polyester.
- 60893-3-6 (1993) Feuille 6: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine silicone.
- 60893-3-7 (1994) Feuille 7: Prescriptions pour les stratifiés rigides en planches à base de résine polyimide.
- 61006 (1991) Méthodes d'essai pour la détermination de la température de transition vitreuse des matériaux isolants électriques.
- 61026 (1991) Guide pour l'application des méthodes d'essai analytiques sur l'endurance thermique des matériaux isolant électriques.
- 61033 (1991) Méthodes d'essai pour la détermination du pouvoir agglomérant des agents d'imprégnation sur fil émaillé.
- 61061:— Spécification pour stratifiés de bois densifié, non imprégnés, à usages électriques.
- 61061-1 (1998) Partie 1: Définitions, désignation et prescriptions générales.
- 61061-2 (1992) Partie 2: Méthodes d'essai.
- 61067: — Spécification pour rubans tissés en fibres de verre et en fibres de verre et de polyester.
- 61067-1 (1991) Partie 1: Définitions, classification et prescriptions générales.
- 61067-2 (1992) Partie 2: Méthodes d'essai.
- 61067-3-1 (1995) Partie 3: Spécifications pour les matériaux particuliers. Feuille 1: Rubans de types 1, 2 et 3.
- (suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 60763-3: — Part 3: Requirements for individual materials.
- 60763-3-1 (1992) Sheet 1: Specifications for laminated pre-compressed board, types LB 3.1.1, 3.1.2, 3.3.1 and 3.3.2.
- 60795 (1984) Test method for evaluating thermal endurance of flexible sheet materials using the wrapped tube method.
- 60819: — Non-cellulosic papers for electrical purposes.
- 60819-1 (1995) Part 1: Definitions and general requirements. Amendment 1 (1996).
- 60819-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60819-3-3 (1991) Sheet 3: Unfilled aramid (aromatic polyamide) papers.
- 60829 (1988) Methods of test for the determination of the ignitability of solid electrical insulating materials when exposed to electrically heated wire sources.
- 60893: — Specification for industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes.
- 60893-1 (1987) Part 1: Definitions, designations and general requirements.
- 60893-2 (1992) Part 2: Methods of test.
- 60893-3: — Part 3: Specifications for individual materials.
- 60893-3-1 (1992) Sheet 1: Types of industrial rigid laminated sheets. Amendment 1 (1996).
- 60893-3-2 (1993) Sheet 2: Requirements for rigid laminated sheets based on epoxide resins.
- 60893-3-3 (1993) Sheet 3: Requirements for rigid laminated sheets based on melamine resins.
- 60893-3-4 (1993) Sheet 4: Requirements for rigid laminated sheets based on phenolic resins.
- 60893-3-5 (1993) Sheet 5: Requirements for rigid laminated sheets based on polyester resins.
- 60893-3-6 (1993) Sheet 6: Requirements for rigid laminated sheets based on silicone resins.
- 60893-3-7 (1994) Sheet 7: Requirements for rigid laminated sheets based on polyimide resins.
- 61006 (1991) Methods of test for the determination of the glass transition temperature of electrical insulating materials.
- 61026 (1991) Guidelines for application of analytical test methods for thermal endurance testing of electrical insulating materials.
- 61033 (1991) Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate.
- 61061:— Specification for non-impregnated densified laminated wood for electrical purposes.
- 61061-1 (1998) Part 1: Definitions, designation and general requirements.
- 61061-2 (1992) Part 2: Methods of test.
- 61067: — Specification for glass and glass polyester fibre woven tapes.
- 61067-1 (1991) Part 1: Definitions, classification and general requirements.
- 61067-2 (1992) Part 2: Methods of test.
- 61067-3-1 (1995) Part 3: Specifications for individual materials. Sheet 1: Type 1, 2 and 3 tapes.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

- 61068: — Rubans tissés en fibres de polyester.
61068-1 (1991) Partie 1: Définitions, désignation et prescriptions générales.
61068-2 (1991) Partie 2: Méthodes d'essais.
61068-3-1 (1995) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers. Feuille 1: Rubans tissés sur des métiers conventionnels ou sans navette.
61072 (1991) Méthodes d'essais pour évaluer la résistance des matériaux isolants à la formation d'arborescences électriques.
61074 (1991) Détermination des chaleurs et températures de fusion et de cristallisation des matériaux isolants électriques, par exploration calorimétrique comparative.
61086: — Revêtements appliqués sur les cartes de câblage imprimées et dotées de composants conventionnels (revêtements enrobants).
61086-1 (1992) Partie 1: Définitions, classification et prescriptions générales.
61086-2 (1992) Partie 2: Méthodes d'essai.
61086-3-1 (1994) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 1: Revêtements pour usage général (classe I) et pour hautes performances (classe II).
61087 (1991) Guide d'évaluation des décharges provenant d'une surface chargée.
61212: — Tubes et barres industriels, rigides, ronds, stratifiés, à base de résines thermodurcissables, à usages électriques.
61212-1 (1995) Partie 1: Prescriptions générales.
61212-2 (1995) Partie 2: Méthodes d'essai.
61212-3-1 (1995) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 1: Tubes ronds, stratifiés, enroulés.
61212-3-2 (1995) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 2: Tubes ronds, stratifiés, moulés.
61212-3-3 (1995) Partie 3: Spécifications pour matériaux particuliers – Feuille 3: Barres rondes, stratifiées, moulées.
61234-1 (1994) Méthode d'essai pour la stabilité hydrolytique des matériaux isolants électriques – Partie 1: Films en matière plastique.
61234-2 (1997) Matériaux isolants électriques – Méthodes d'essai concernant la stabilité hydrolytique – Partie 2: Matériaux thermodurcissables moulés.
61244: — Détermination du vieillissement à long terme sous rayonnement dans les polymères.
61244-1 (1993) Partie 1: Technique pour contrôler l'oxydation limitée par diffusion.
61244-2 (1996) Partie 2: Méthodes pour prédire le vieillissement à faible débit de dose.
61244-3 (1997) Partie 3: Procédés pour le contrôle en service des matériaux des câbles basse tension.
61251 (1993) Matériaux isolants électriques – Evaluation de l'endurance à la tension alternative – Introduction.
61302 (1995) Matériaux isolants électriques – Méthode d'évaluation de la résistance au cheminement et à l'érosion – Essai au volant rotatif à immersion.
61340: — Electrostatique.
61340-4-1 (1995) Partie 4: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques – Section 1: Comportement électrostatique des revêtements de sol et des sols finis.

(suite)

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

- 61068: — Polyester fibre woven tapes.
61068-1 (1991) Part 1: Definitions, designation and general requirements.
61068-2 (1991) Part 2: Methods of test.
61068-3-1 (1995) Part 3: Specifications for individual materials. Sheet 1: Tapes woven on conventional or shuttleless looms.
61072 (1991) Tests for initiation of electrical trees during short-time stressing.
61074 (1991) Determination of heats and temperatures of melting and crystallization of electrically insulating materials by differential scanning calorimetry.
61086: — Coatings for loaded printed wire boards (conformal coatings).
61086-1 (1992) Part 1: Definitions, classification and general requirements.
61086-2 (1992) Part 2: Methods of test.
61086-3-1 (1994) Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 1: Coatings for general purpose (class I) and for high reliability (class II).
61087 (1991) Guide for evaluating the discharges from a charged surface.
61212: — Industrial rigid round laminated tubes and rods based on thermosetting resins for electrical purposes.
61212-1 (1995) Part 1: General requirements.
61212-2 (1995) Part 2: Methods of test.
61212-3-1 (1995) Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 1: Round laminated rolled tubes.
61212-3-2 (1995) Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 2: Round laminated moulded tubes.
61212-3-3 (1995) Part 3: Specifications for individual materials – Sheet 3: Round laminated moulded rods.
61234-1 (1994) Method of test for the hydrolytic stability of electrical insulating materials – Part 1: Plastic films.
61234-2 (1997) Electrical insulating materials – Methods of test for the hydrolytic stability – Part 2: Moulded thermosets.
61244: — Determination of long-term radiation ageing in polymers.
61244-1 (1993) Part 1: Techniques for monitoring diffusion-limited oxidation.
61244-2 (1996) Part 2: Procedures for predicting ageing at low dose rates.
61244-3 (1997) Part 3: Procedures for in-service monitoring of low-voltage cable materials.
61251 (1993) Electrical insulating materials – A.C. voltage endurance evaluation – Introduction.
61302 (1995) Electrical insulating materials – Method to evaluate the resistance to tracking and erosion – Rotating wheel dip test.
61340: — Electrostatics.
61340-4-1 (1995) Part 4: Standard test methods for specific applications – Section 1: Electrostatic behaviour of floor coverings and installed floors.

(continued)

**Publications de la CEI préparées
par le Comité d'Études n° 15 (suite)**

61621 (1997)	Matériaux isolants solides secs – Essai de résistance aux décharges à l'arc haute tension, faible courant.
61624 (1997)	Guide pour le développement de listes de températures maximales autorisées concernant les composés polymères utilisés dans le matériel électrotechnique.
61628: —	Cartons et papiers comprimés ondulés à usages électriques.
61628-1 (1997)	Partie 1: Définitions, désignations et prescriptions générales.
61629: —	Carton comprimé aramide à usages électriques.
61629-1 (1996)	Partie 1: Définitions, désignations et prescriptions générales.
61629-2 (1996)	Partie 2: Méthodes d'essai.

**IEC publications prepared
by Technical Committee No. 15 (continued)**

61621 (1997)	Dry, solid insulating materials – Resistance test to high-voltage, low-current arc discharges.
61624 (1997)	Guidance on the development of lists of maximum allowable temperatures for polymeric compounds used in electrotechnical equipment.
61628: —	Corrugated pressboard and presspaper for electrical purposes.
61628-1 (1997)	Part 1: Definitions, designations and general requirements.
61629: —	Aramid pressboard for electrical purposes.
61629-1 (1996)	Part 1: Definitions, designations and general requirements.
61629-2 (1996)	Part 2: Methods of test.

ISBN 2-8318-4120-8



9 782831 841205

ICS 29.035.01; 17.220.99

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND