

CARACTERIZACIÓN DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES EN TEMPERATURAS CRIOGÉNICAS

Razo Rodeo Ivan (1), González Parada Adrián (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, DICIS Universidad de Guanajuato] | [i.razorode@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Eléctrica, División Ingenierías, DICIS Universidad de Guanajuato] | [gonzaleza@ugto.mx]

Resumen

El desarrollo de nuevas tecnologías conlleva el empleo de materiales con nuevas aplicaciones para las cuales originalmente no estaban contemplados. El desarrollo de cables superconductores contempla el uso de materiales en situaciones criogénicas, por lo que el presente trabajo está enfocado a la caracterización del nitrógeno líquido (LN_2) en aplicaciones dieléctricas por medio de pruebas de rigidez dieléctrica realizadas con base a la Norma IEEE Std-4, y su comparación con un material dieléctrico convencional como es el Maylar™. Actualmente en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la División de Ingeniería del Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato, se está realizando la ingeniería básica para el diseño de cables de energía superconductores; por lo que los resultados obtenidos se tomarán como base para el diseño del sistema dieléctrico.

Abstract

The development of new technologies involves the use of materials with new applications for which were not originally contemplated. The development of superconducting cable contemplates the use of materials in cryogenic situations, so that the present work focuses on the characterization of liquid nitrogen (LN_2) in dielectric applications by means the dielectric strength tests made with base to the standard IEEE Std-4, and its comparison with a dielectric material conventional as it is the Maylar™. Currently in the Department of engineering electric of the Division of engineering of the Campus Irapuato-Salamanca of the University of Guanajuato, is performing the basic engineering for the design of power cables superconductors; so that those results will be taken as a basis for the design of the dielectric system.

Palabras Clave

Rigidez dieléctrica; Cables superconductores; Temperaturas criogénicas; Alta tensión

INTRODUCCIÓN

Actualmente los cables de energía subterráneos tienen una aplicación muy grande en el campo de la ingeniería eléctrica, es por eso, por lo que se han realizado estudios para promover el desarrollo de cables superconductores. Se ha puesto principal interés en cables superconductores para CC debido al problema de transmisión de gran volumen de energía a largas distancias, esto para asegurar su estabilidad operativa. En la estructura de un sistema de cable superconductor es indispensable obtener un diseño de aislamiento óptimo y conocer las características dieléctricas de los materiales empleados como aislamiento en medio ambiente criogénico se vuelve prioritario, ya que es necesario para establecer la vida útil de los cables, mejorando la fiabilidad y la compacidad [1].

En abril del 2016 investigadores coreanos respaldados por el instituto de investigación de electrotecnología de corea, realizaron la caracterización dieléctrica a temperaturas criogénicas del papel laminado de propileno (PPLP), de la resina epóxica, SiO_2 y combinaciones de ellas, para cables superconductores para cables superconductores de CC. Encontrando que la combinación de algunos de estos materiales mejora la rigidez dieléctrica [1].

Ya que actualmente se busca el transporte de energía con el menor porcentaje de pérdidas, el poder tener materiales superconductores en esta etapa podría acabar o disminuir de manera exponencial este problema. Para obtener una mejor confiabilidad del conductor superconductor es necesario que alrededor del mismo se le coloque un dieléctrico para evitar posibles fallas futuras y así garantizar la seguridad de las personas.

Actualmente no se conocen cabalmente las características de estos dieléctricos a temperaturas criogénicas para los cables de energía para aplicaciones subterráneas, por lo cual es necesario hacer una caracterización de estos materiales, que nos permita obtener los parámetros dieléctricos del material a temperaturas criogénicas. Este trabajo puede ser el inicio de una investigación extensiva de los

dieléctricos a temperaturas criogénicas para aplicaciones con materiales superconductores.

Es importante conocer las características dieléctricas de un dieléctrico convencional como lo es el Maylar™ y hacer una comparativa con el nitrógeno líquido (LN_2). Ya que el Maylar™ ya ha sido probado en laboratorio y en campo. Actualmente se sigue utilizando este dieléctrico convencional ya que muestra características dieléctricas buenas, y por su confiabilidad.

Este trabajo está enfocado a la caracterización dieléctrica del LN_2 en aplicaciones dieléctricas a través de pruebas de rigidez dieléctrica realizadas en base a la norma IEEE Std-4 y su comparación con un material dieléctrico convencional como el Maylar™. Se discuten las características dieléctricas básicas, se hace un análisis de las propiedades del LN_2 respecto al Maylar™. Las pruebas dieléctricas por realizar serían tensión alterna (60 Hz), tensión directa, tensión de impulso de rayo (+) y (-), así como la medición de la capacitancia y $\tan \delta$ y descargas parciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales que se utilizaron para la investigación fueron:

- Nitrógeno Líquido (LN_2)
- Muestras de Maylar™ (tereftalato de polietileno),
- 2 electrodos en forma de esfera de bronce (6 cm de diámetro),
- Hielera de uniceL
- UniceL
- Aisladores
- Cartón comprimido

Con los cuales se construyó un equipo para realizar las pruebas dieléctricas a temperaturas criogénicas. El sistema se construyó para poder contener el LN_2 , consta de 4 aisladores que nos

sirven para aislar la tensión de línea a tierra, una hielera de unicel, en la parte superior se puede ver una base de cartón comprimido la cual nos sirve para controlar la separación de los electrodos (Figura No. 1).



Figura No. 1: Sistema para pruebas dieléctricas a temperaturas criogénicas (LN₂)

Para las pruebas con el Maylar™ el laboratorio de pruebas a equipos y materiales (LAPEM) proporciono el sistema o equipo necesario. El cual consta de 3 aisladores una base de madera, el aislador central y una barra de baquelita sirven como apoyo para el aislamiento (Figura No. 2).

Los métodos para realizar las pruebas fueron a base de la norma IEEE std. 4 Standar for High-Voltage testing techniques [2]. Cada una de estas pruebas se describen a continuación:

Prueba de tensión alterna (60 Hz)

Prueba de rompimiento

La tensión aplicada deberá lo suficientemente bajo para prevenir algún efecto de sobretensión debido a conmutaciones transitorias. Se deberá aumentar



Figura No. 2: Prototipo para pruebas dieléctricas del Maylar™ proporcionada por LAPEM

al ritmo (kV/seg), especificado en la norma, que permita una medición precisa, pero no lo suficientemente bajo para causar una tensión prolongada innecesaria, hasta que una descarga disruptiva se presenta en la muestra, anotando el valor de tensión. La conexión que se utilizó para la prueba de tensión alterna para el LN₂ se muestra en la figura No. 3, donde se muestra que en la parte superior se coloca la tensión y en la parte inferior se conecta a tierra por un cable conectado al electrodo inferior al interior del prototipo.



Figura No. 3: Conexión del equipo de prueba y prototipo para la prueba de tensión alterna para el LN₂ en el LAPEM

a) Prueba de tensión en CD

Prueba de rompimiento

Se realiza de la misma manera que en la prueba de tensión alterna, pero con tensión directa.

b) Prueba de tensión de impulso de rayo (+) y (-)
(1.2 μ s / 50 μ s)

Prueba de rompimiento

Se deben aplicar 3 impulsos de la forma y polaridad especificadas al nivel de tensión de resistencia nominal hasta que la muestra presente una descarga disruptiva en lugar de resistencia. La Figura No. 4 se muestra la tensión de impulso completa donde muestra resistencia el material (lado izquierdo) y tensión de impulso cortada (lado derecho) que es cuando se produce un rompimiento o falla del dieléctrico [3].

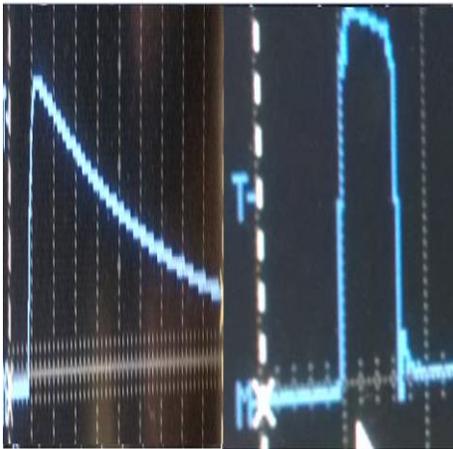


Figura No. 4: Tensión de impulso completa (lado izquierdo) y tensión de impulso cortada (lado derecho)

c) Prueba de Descargas Parciales (DPs)

Tensión de inicio de descarga

Se comienza incrementando la tensión gradualmente de cero hasta que aparecen las primeras DPs.

Tensión de extinción de la descarga

Un nivel alto de tensión es gradualmente reducido hasta que las DPs desaparecen.

d) Prueba de Tan δ

Para esta prueba se necesita un capacitor de referencia. Se aplica tensión alterna para la medición del factor de disipación y la capacitancia del material.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestran condiciones atmosféricas para las pruebas dieléctricas del LN₂ y para el Maylar™. Estas condiciones son la temperatura, la presión y la humedad relativa.

Tabla 1: Condiciones atmosféricas para las pruebas dieléctricas

Condición atmosférica	Nitrógeno líquido (LN ₂)	Maylar™
Temperatura (°C)	828.6	829.6
Presión (HPA)	26.9	24.2
Humedad relativa (%RH)	24.5	48.1

En la tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas a diferentes tensiones, descargas parciales, factor de disipación y capacitancia para los aislamientos que estuvieron bajo pruebas (LN₂ y Maylar™)

Para la prueba de descargas parciales la tensión de inicio fue de 13.24 kV y tensión de extinción de 9.22 kV para el material LN₂.

La rigidez dieléctrica que presentan los materiales aislantes en tensión alterna es más baja que en tensión directa esto se debe a que la tensión directa es menos dañina para los aislantes porque en esta no existe inversión de polaridad. Ambos presentan casi la misma tensión de impulso tanto en polaridad (+) como es polaridad (-).

Tabla 2: Resultados de las pruebas dieléctricas con base a la norma IEEE Std. 4

Pruebas Dieléctricas	Maylar™	Nitrógeno líquido (LN ₂)
Alterna (60 Hz) (kV/mm)	159.05	5.37
Directa (kV/mm)	201.57	7.58
Impulso de rayo (+) (kV/mm)	166.77	15.46
Impulso de rayo (-) (kV/mm)	166.29	15.74
Tan δ	0.3538	0.025
Capacitancia (pF)	9.758	6.056

El Maylar™ presenta mejor rigidez dieléctrica que el LN₂ en las pruebas de tensión alterna, tensión directa y tensión de impulso de rayo. Pero en la prueba de tan δ el LN₂ presenta mejores resultados, esto es tan δ depende fuertemente de la temperatura de los dieléctricos [4].

CONCLUSIONES

Además de ser un refrigerante requerido para lograr el estado superconductor en los equipos construidos con materiales superconductores; el LN₂ se puede utilizar como un dieléctrico para aplicaciones de cables superconductores ya que presenta buenas propiedades dieléctricas.

Al comparar el LN₂ con el Maylar™ que es un dieléctrico utilizando convencionalmente por su fiabilidad y confiabilidad; el LN₂ presenta menor rigidez dieléctrica comparativamente con el Maylar™ en las primeras 3 tensiones de prueba, más sin embargo presenta un mejor factor de disipación, lo que representa que tiene menores pérdidas dieléctricas, ya que este es dependiente de la temperatura.

La tensión continua es menos dañina que la tensión alterna esto es porque la tensión continua

no invierte la polaridad. En tensión de impulso de rayo en ambas presentan casi la misma rigidez dieléctrica, aunque la polaridad (-) es más dañina ya que rompe el aislante en menor tiempo.

La ventaja que presenta el LN₂ para aplicaciones de cables superconductores es que es un medio refrigerante lo cual es necesario para la superconductividad y presenta un buen factor de disipación.

Dentro de los trabajos a futuro, sería investigar combinaciones de LN₂ con otros dieléctricos con el fin de tener una mejor compactidad y confiabilidad en el sistema dieléctrico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Pruebas a Equipos y Materiales de la Comisión Federal de Electricidad por facilitar los equipos de pruebas y sus instalaciones y al Dr. Rubén Jaramillo Vacío por su valiosa colaboración y apoyo, ya que sin ellos este trabajo de investigación no habría sido posible realizarlo.

REFERENCIAS

- [1] Hae-Jong Kim, Jeon-Wook Cho, Woo-Jin Kim, Yeon Suk Choi, and Sang-Hyun Kim., (2016). The Basic Dielectric Characteristics of Insulating Materials for HTS DC Cable System. IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 26, NO. 3,
- [2] Norma IEEE Std 4 Standard for High-Voltage Testing Techniques, año 2013
- [3] Kind, Dieter., (1978). An introduction to High -Voltage Insulation Technology (1. Ed.) Braunschweig: Vieweg.
- [4] Arora, Ravindra. Mosch, Ravindra., (2011). High voltage and electrical insulation engineering. Piscataway, NJ: IEEE press Editorial Board.