UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Correlación experimental entre la corriente de fuga, la tensión residual, la energía acumulada debida a impulsos de corriente y la carga eléctrica en descargadores de sobretensión para distribución

Daniel Ricardo Poveda Pineda

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá, Colombia

2014

Correlación experimental entre la corriente de fuga, la tensión residual, la energía acumulada debida a impulsos de corriente y la carga eléctrica en descargadores de sobretensión para distribución

Ing. Daniel Ricardo Poveda Pineda

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Eléctrica

Director (a):

Prof. Ing. Francisco Javier Amórtegui Gil

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá, Colombia

2014

A mi familia por todo su apoyo y comprensión.

A mi novia Paola por siempre creer en mí y ser mi compañera, la quiero mucho.

A todos mis amigos que se les estima como siempre.

Agradecimientos

Agradezco al Ingeniero Francisco Amórtegui mi mentor en este mundo de la ingeniería, quién siempre estuvo disponible durante el desarrollo de este trabajo y me brindo valiosos consejos para el desarrollo de esta tesis.

Al Ingeniero Jorge Rodríguez por su apoyo en discusiones técnicas durante el desarrollo de los ensayos y por su amistad. Al mi amigo el Ingeniero José Gabriel Díaz por su disposición a prestarme una mano durante la realización de los ensayos.

A Álvaro Aponte por su ayuda en el montaje de los ensayos y algunos de los miembros del Laboratorio de ensayos eléctricos LABE: Isa, Daniel y Alejandra. A cualquier otro que paso por ahí y me brindo su compañía durante las largas jornadas de ensayo.

A mi novia la ingeniera Paola Riveros por su ayuda para el procesamiento de las gráficas de corriente, al Ingeniero César Peralta por todos sus consejos técnicos durante la realización de este proyecto.

Resumen

En este proyecto se propone un método de envejecimiento para descargadores de sobretensión tipo distribución, el método propuesto consiste en la energización de los descargadores a su tensión máxima de operación MCOV durante un periodo no menor a 500 horas aplicándoles cada determinado tiempo un impulso de corriente tipo rayo o uno de larga duración.

El método se implementó en el laboratorio de ensayos eléctricos LABE a cinco muestras iguales. Para lograr dicha implementación, fue necesario formular y montar los circuitos de prueba así como escoger los métodos de medición más apropiados para medir: tensión residual, corriente de impulso, tensión máxima de operación y corriente de fuga.

Con los datos obtenidos durante los ensayos se procedió a calcular la energía acumulada que soportó cada una de las muestras debida a los impulsos de corriente aplicados, así como el valor de la carga eléctrica. Por último se buscó una correlación matemática entre la energía acumulada y las demás variables medidas o calculadas.

Palabras clave: descargador de sobretensión, envejecimiento, corriente de fuga, tensión residual, carga eléctrica, energía acumulada

Abstract

In this project a method of aging for surge arresters type distribution is proposed. The proposed method is energizing arresters at maximum operating voltage MCOV for not less than 500 hours each and applying at specific time period a current lightning pulse or a long duration pulse.

Said method is implemented in the Laboratory of Electrical Tests LABE to five equal samples. To achieve such implementation was necessary to make and assemble the test circuits and to choose the most suitable for the measurement variables: residual voltage, current pulse, maximum voltage operation and leakage current.
With the data obtained during the tests, we proceeded to calculate the cumulative energy stand at each sample due to the applied current pulses, and the value of the electric charge. Finally, a mathematical correlation between the cumulative energy and the other variables.

Keywords: Arrester, ageing, leakage current, residual voltage, electric charge, energy

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Introducción **1**

1. Métodos de envejecimiento **5**
1.1 El descargador de sobretensión 5
1.2 Método de envejecimiento de Ibáñez 6
1.3 Método de envejecimiento según la IEC 60099-4 7
1.4 Método de Lee, Song, Kim, Lee B.S., Kwon [3] 7
1.5 Otros métodos de envejecimiento 8

2. Método de envejecimiento propuesto **9**
2.1 Consideraciones generales 9
2.2 Método particular para este proyecto 10

3. Implementación del método **13**
3.1 Diseño del circuito 13
3.1.1 Circuito para impulso de corriente tipo rayo 15
3.1.2 Circuito para impulso tipo maniobra 16
3.2 Elección de los equipos de medición 19
3.3 Realización de los ensayos 19
3.3.1 Ensayos preliminares 20
3.3.2 Ensayos definitivos 21

4. Resultados obtenidos **25**
4.1 Corriente de fuga 25
4.2 Calculo de la capacitancia 26
4.3 Tensión Residual 26
4.4 Cálculo de energía acumulada debida al impulso de corriente tipo rayo 26

5. Análisis de datos **35**
5.1 Relación entre la corriente de fuga y la energía acumulada 35
5.1.1 Muestra 1 35
5.1.2 Muestra 2 36
5.1.3 Muestra 3 36
5.1.4 Muestra 4 37
5.1.5 Muestra 5 38
5.2 Relación entre la capacitancia y la energía acumulada 39
5.2.1 Muestra 1 39

5.2.2 Muestra 2 39
5.2.3 Muestra 3 40
5.2.4 Muestra 4 40
5.2.5 Muestra 5 41
5.3 Relación entre la tensión residual y la energía acumulada....42
5.3.1 Muestra 1 42
5.3.2 Muestra 2 42
5.3.3 Muestra 3 43
5.3.4 Muestra 4 43
5.3.5 Muestra 5 44

6. Conclusiones y recomendaciones 46
6.1 Conclusiones....46
6.2 Recomendaciones 47

A. Anexo: Corriente de fuga medida durante los ensayos 49
Corriente muestra 1 49
Corriente muestra 2 49
Corriente Muestra 3 49
Corriente muestra 4 50
Corriente muestra 5 50

B. Anexo: Capacitancia calculada 52
Capacitancia muestra 1....52
Capacitancia muestra 2....52
Capacitancia muestra 3....52
Capacitancia muestra 4....53
Capacitancia muestra 5....53

C. Anexo: Tensión residual medida.... 54
Muestra 1....54
Muestra 2....54
Muestra 3....55
Muestra 4....55
Muestra 5....56

D. Anexo: Cálculo de la energía acumulada 57
Energía acumulada aplicada a la muestra 1....57
Energía acumulada aplicada a la muestra 2....59
Energía acumulada aplicada a la muestra 3....60
Energía acumulada aplicada a la muestra 4....61
Energía acumulada aplicada a la muestra 5....66

Bibliografía 71

Introducción

Al ser los descargadores de Óxido de Zinc los dispositivos más utilizados para la protección de transformadores de distribución y de potencia contra la aparición de sobretensiones en las redes de media y alta tensión, este tipo de dispositivos de protección son una parte fundamental en la coordinación de aislamiento de los sistemas eléctricos, su correcto funcionamiento garantiza una mayor confiabilidad de los sistemas de distribución y transmisión. Por lo tanto, se considera conveniente estudiar el comportamiento de los descargadores durante su vida útil y encontrar un parámetro para determinar el final de su ciclo de vida. Dicho parámetro puede ser de carácter eléctrico o térmico, también se podría esperar que sea una correlación entre las variables asociadas al funcionamiento del descargador, variables tales como la corriente de fuga, la tensión residual, la carga eléctrica o la energía acumulada debida a la presencia de impulsos de corriente tipo descarga atmosférica.

En este trabajo se expone un resumen de las metodologías que tradicionalmente se han implementado para determinar la vida útil de descargadores de sobretensión así como de los parámetros eléctricos que se consideran más determinantes a la hora de intentar calcular la vida útil. Seguidamente se propone un método experimental exploratorio que ayude a encontrar indicios de variables para determinar el envejecimiento en descargadores usados en sistemas de distribución en condiciones de funcionamiento normal, se ejecuta dicho método y se realiza un análisis de las variables medidas durante los ensayos. Por último se busca una correlación matemática entre las variables medidas durante el envejecimiento de los descargadores.

Para el desarrollo de este proyecto como primer acercamiento se realizó una revisión bibliográfica de algunos métodos propuestos por diversos autores para el envejecimiento de descargadores así como de los parámetros eléctricos que se consideran determinantes a la hora de intentar calcular la vida útil, esto con el fin de lograr un apersonamiento del tema y tener una base para la proposición de un método propio.

Como siguiente paso se procedió a formular un método para el envejecimiento de descargadores de sobretensión usados en redes de distribución teniendo como objetivo la realización de un proceso de envejecimiento en condiciones normales de operación, en este método no se tiene en cuenta la temperatura de los descargadores. A continuación se procedió a implementar el método de envejecimiento para cinco descargadores similares. Para la implementación se realizó el diseño y validación del circuito de ensayo así como la escogencia de los sistemas de medición para las variables eléctricas necesarias, se construyó la resistencia para la medición de corriente de fuga.

Se realiza el análisis de los datos obtenidos durante los ensayos de envejecimiento y se procede a encontrar una correlación entre la corriente de fuga, la tensión residual, la carga eléctrica y la energía acumulada debida a la presencia de impulsos de corriente tipo descarga atmosférica.

1. Métodos de envejecimiento

A lo largo de este capítulo se dará una breve introducción al funcionamiento de los descargadores de óxido de Zinc, se estudiarán algunos de los métodos propuestos por ciertos autores para el envejecimiento de los descargadores y los parámetros que tienen en cuenta a la hora de determinar el envejecimiento de los descargadores de sobretensión.

1.1 El descargador de sobretensión

Un descargador de sobretensión es un dispositivo que se utiliza para la protección de los sistemas de transmisión y de distribución contra sobretensiones ocasionadas por descargas atmosféricas o por maniobras realizadas en el sistema.

Su principio de funcionamiento es el de una resistencia variable con respecto a la tensión cuya finalidad es la de comportarse como un circuito abierto a tensiones menores a su tensión máxima de operación continua MCOV y como una resistencia dinámica de valor cercano a cero cuando aparecen tensiones mayores a la tensión nominal residual[1] del descargador.

El comportamiento de un descargador de óxido de Zinc se puede observar en la *gráfica 1* en la curva MOV.

---

[1] "Tensión nominal residual" hace referencia a la tensión en la que el descargador opera correctamente bajo una sobretensión

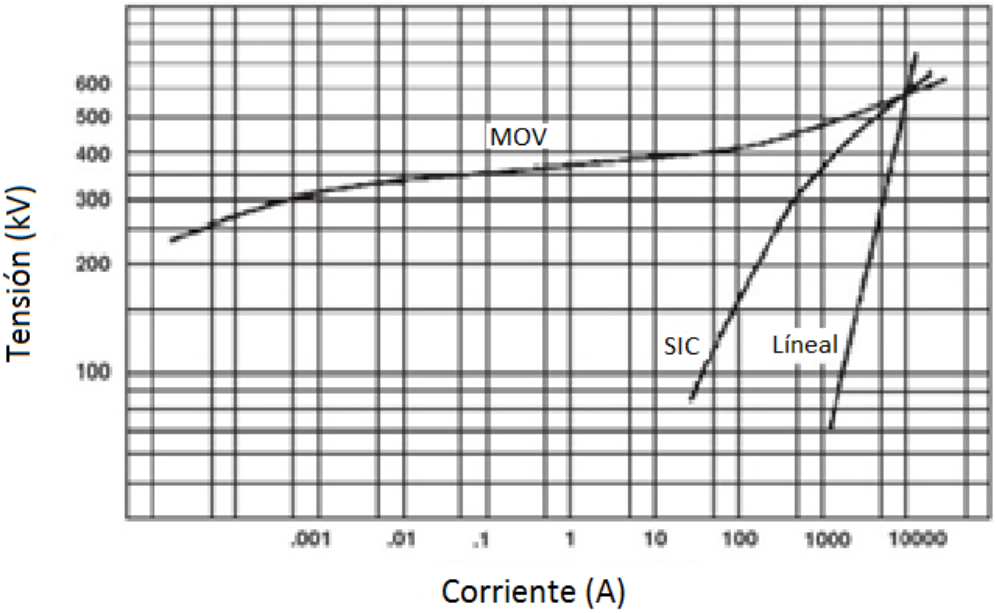

Figura 1. *Curva de comportamiento tensión-corriente para un descargador de Zinc* [13],

1.2 Método de envejecimiento de Ibáñez

En Colombia uno de los antecedentes que existe sobre el análisis de cómo podrían degradarse los descargadores de Oxido Zinc es la de tesis de maestría del Ing. Henry Ibáñez [4]. En la que se estudió la degradación de las pastillas de 3 descargadores de 12 kV rms, el procedimiento de envejecimiento que se propuso es el de aplicar diferentes niveles de energía a los descargadores por medio de la variación de la temperatura a una tensión mayor al MCOV de los descargadores. También realizó el estudio del comportamiento de diferentes variables como corriente de fuga, capacitancia, componente armónica, potencia disipada y coeficiente de no linealidad (α) a tres niveles de temperatura diferentes: 60 °C, 100 °C y 140 °C.

Con los resultados obtenidos el autor propone unos índices de variación para algunas de las variables analizadas, como conclusión final se propone estudiar el coeficiente de no linealidad (α) y el valor de la potencia disipada por los descargadores.

1.3 Método de envejecimiento según la IEC 60099-4 de 2004[8]

El método de envejecimiento acelerado utilizado se basa en envejecer el descargador aplicando una tensión constante a una temperatura constante (mayor a 100 °C) durante un tiempo aproximado de 1000 horas. Con el procedimiento de envejecimiento acelerado se encuentran los valores de las tensiones Uc* y Ur*. Estos valores se utilizan para aplicar el siguiente procedimiento a tres descargadores nuevos:

1. Se aplica un impulso de corriente 8/20 a corriente nominal y se mide tensión residual.
2. Se deja pasar un intervalo de tiempo.
3. Se aplica un acondicionamiento que consiste en 4 grupos de 5 impulsos en onda 8/20 a corriente nominal superpuestos a una onda de tensión de valor 1,2 U_C*.
4. Intervalo de tiempo en el que se mantienen las muestras a 20 °C ± 15 K.
5. Se aplica un impulso 4/10 a 100 kA seguidos de un precalentamiento a 60 °C ± 3 K antes de aplicar otro impulso 4/10 a 100 kA.
6. Ponerlo a tensión Ur* por 10 s, luego a tensión Uc* por 30 minutos.
7. Se deja enfriar hasta 20 °C ± 15 K
8. Se aplica un impulso de corriente 8/20 a corriente nominal y se mide tensión residual

El criterio de conformidad de la norma exige que la tensión residual no presente una variación mayor al 5 % y el descargador logra mantener su estabilidad térmica.

1.4 Método de Lee, Song, Kim, Lee B.S., Kwon [3]

Para este método los autores proponen realizar un envejecimiento en el que se simule el funcionamiento real del descargador teniendo en cuenta los diferentes climas a los que se encuentran sometidos durante su operación normal. Para lo cual introducían los descargadores en una cámara en la que se podían variar los siguientes parámetros: radiación UV, temperatura, húmeda, salinidad y lluvia.

El procedimiento de envejecimiento consistió en aplicar condiciones de verano e invierno durante 3000 horas mientras los descargadores se encontraban energizados a su MCOV, durante las 3000 horas se realizaron mediciones de la corriente de fuga y análisis químicos a la superficie de los descargadores.

Como resultados se obtuvieron cambios en la corriente de fuga y en algunos parámetros químicos como su capacidad de absorción de agua.

1.5 Otros métodos de envejecimiento

El método propuesto por Alain Vicaud en [5] consiste en mantener las muestras (en este caso pastillas) durante 1500 horas o más energizadas a una tensión constante igual al MCOV a temperaturas variables entre 110 °C 140 °C, el autor toma como parámetro a medir la potencia disipada por el descargador. En este estudio se determinó que la potencia consumida por los bordes de la pastilla es mayor que la consumida por el centro.

En 2001 Kim, Song y Moon [7] construyeron una cámara en la que se ponían seis descargadores a tensión constante, dentro de la cámara tenían la posibilidad de variar la temperatura y la humedad. El procedimiento seguido fue el de envejecer los descargadores durante doce horas e ir midiendo la corriente de fuga.

2. Método de envejecimiento propuesto

2.1 Consideraciones generales

Los descargadores que se estudiarán durante el proyecto, serán los de Óxido de Zinc (ZnO), puesto que los descargadores de este tipo son los más utilizados en los sistemas de distribución y transmisión.

Como se observó en los métodos estudiados en el capítulo 1 la temperatura se toma como el parámetro más importante para explicar el comportamiento de variables como: corriente de fuga, potencia disipada, capacitancia, etc. Para este proyecto no se tendrá en cuenta el comportamiento de la temperatura puesto que en los métodos estudiados ya se tuvo en cuenta dicho parámetro y además en todos los estudios el método de envejecimiento consistía en energizar los descargadores a temperaturas muy diferentes a la ambiente. Con base en lo anterior, se trabajará a temperatura ambiente la cual siempre estará dentro del intervalo definido como temperatura de enfriamiento en la IEC6099-4, 20 ºC $\pm$ 15 K.

Uno de los objetivos del proyecto es implementar un método de envejecimiento en el que se replique el funcionamiento normal de un descargador de sobretensión. Por lo que se propone energizar los descargadores de sobretensión a una tensión igual a su máxima tensión de operación continua MCOV con la cual se busca garantizar que el descargador funcione en su zona de no conducción. Por otro lado si se tiene en cuenta que los descargadores en el sistema eléctrico en general funcionan a una tensión menor a su MCOV, por ejemplo para una red de 11,4 kV la tensión que aparecería en el descargador sería de 6,6 kV comercialmente los descargadores usados para estas redes tienen un MCOV de 8,5 kV o 10,2 kV por lo que se puede decir que al energizarlos a su MCOV se obtiene un parámetro de envejecimiento en comparación a su funcionamiento real.

El principal parámetro de envejecimiento que se propone es aplicar impulsos de corriente tipo rayo y tipo maniobra estandarizados como los que se manejan en la IEC 60099-4 y proponen Darveniza, Mercer, Tumma [11]; se escoge este parámetro pues un descargador en funcionamiento normal se verá expuesto a este tipo de impulsos. Los impulsos que se

utilizaran serán de onda (8/20) µs para impulso tipo rayo y de 2 ms para el impulso tipo maniobra.

Los parámetros a ser medidos durante la realización de los ensayos serán: Corriente de impulso, tensión residual, corriente de fuga y tensión alterna adicionalmente se calculará la energía acumulada y la capacitancia. La energía asociada a los impulsos de corriente aplicados se calculará al final con base en los oscilogramas de tensión residual y corriente de impulso obtenidos durante los ensayos, la capacitancia se encontrará a partir de los oscilogramas de tensión alterna y de corriente de fuga. Los parámetros a medir se escogieron por las siguientes razones:

- **Corriente de impulso:** Se debe medir para garantizar que se está cumpliendo con los requisitos de corriente de la norma IEC 60099-4.
- **Tensión residual:** Como se vio en el método de envejecimiento de la norma IEC 60099-4 es el parámetro que se utiliza para saber si un descargador cumple con el criterio de conformidad, por lo que se considera como una variable de interés.
- **Corriente de fuga:** Es uno de los parámetros más relacionados con el envejecimiento de los descargadores como se nota en [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [10], por lo que también se medirá. Para algunos autores como Ibáñez es una variable que muestra cambios significativos durante el tiempo es decir a mayor tiempo de envejecimiento mayor valor tendrá la corriente de fuga. En otros casos como con Tada [2] esta variable no pudo ser determinante para demostrar envejecimiento en el descargador.
- **Tensión alterna:** Se debe medir para garantizar que el descargador funciona a su máxima tensión continua de operación MCOV.
- **Energía asociada a los impulsos de corriente:** Se realizará el cálculo de energía para saber cuánta energía soporto cada una de las muestras.
- **Capacitancia:** Teniendo en cuenta que en el método aplicado por Ibáñez se hizo un estudio de la capacitancia y se identificó que la misma variaba con respecto a la temperatura se escoge calcular la carga eléctrica.

2.2 Método particular para este proyecto

Se probarán 5 descargadores nuevos iguales los cuales tienen las siguientes características:

Corriente nominal (kA)	Tensión máxima de funcionamiento MCOV (kV)	Tensión nominal o duty-cycle voltaje rating (kV)
10	8,5	10,2

Tabla 1. Características de los descargadores bajo ensayo

Se escogieron estos teniendo en cuenta que el generador de impulsos de corriente del LABE puede probar descargadores completos para tensiones nominales menores a 13 kV, también teniendo en cuenta los resultados de los descargadores utilizados por Ramos y Torres [12] en otro proyecto.

Los cinco descargadores se energizarán a su tensión máxima de operación continua 8,5 kV y se les aplicaran impulsos de corriente de 10 kA en onda (8/20) μs para impulso tipo rayo y de 150 A en onda de 2 ms para el impulso tipo maniobra como especifica la norma IEC 60099-4.

Teniendo en cuenta que Ramos y Torres [12] utilizaron la misma clase de descargadores, en los ensayos realizados por ellos un descargador soportó 780 impulsos de 4,6 kA lo que equivale a una energía total de 2,03 MJ. Para los ensayos se aplicará la mitad de la energía con impulsos de corriente tipo rayo y la otra mitad con impulsos de corriente tipo maniobra.

Se propone aplicar 175 impulsos de corriente tipo rayo y 104 impulsos tipo maniobra para aplicar una energía aproximada de 2,03 MJ, el ensayo tendrá una duración de 500 horas por lo que se recomienda aplicar los impulsos tipo rayo cada hora y los tipo maniobra cada 3,3 horas. Teniendo en cuenta que en [4] se encontró que un descargador tarda del orden de 40 minutos en volver a temperatura ambiente, se consideran apropiados los intervalos de tiempo propuestos.

Los impulsos de corriente se aplicarán teniendo los descargadores energizados en A.C. y la corriente de fuga se medirá todos los días antes de iniciar las pruebas.

3. Implementación del método

3.1 Diseño del circuito

Para implementar el método de envejecimiento se utilizaron las instalaciones y los equipos del Laboratorio de Ensayos eléctricos Fabio Chaparro – LABE de la Universidad Nacional de Colombia. Se propone realizar los ensayos a las 5 muestras al mismo tiempo energizándolas en corriente alterna en paralelo y aplicando los impulsos de corriente a cada elemento independientemente. Para lo cual se propone utilizar el generador de onda de corriente GIC del laboratorio el cual es capaz de entregar impulsos de corriente tipo rayo onda 8/20 µs y ondas tipo maniobra de 2 ms. Para la parte de corriente alterna se usa un transformador de 11,4 kV con una potencia de 34,5 kVA. El circuito general propuesto es el siguiente:

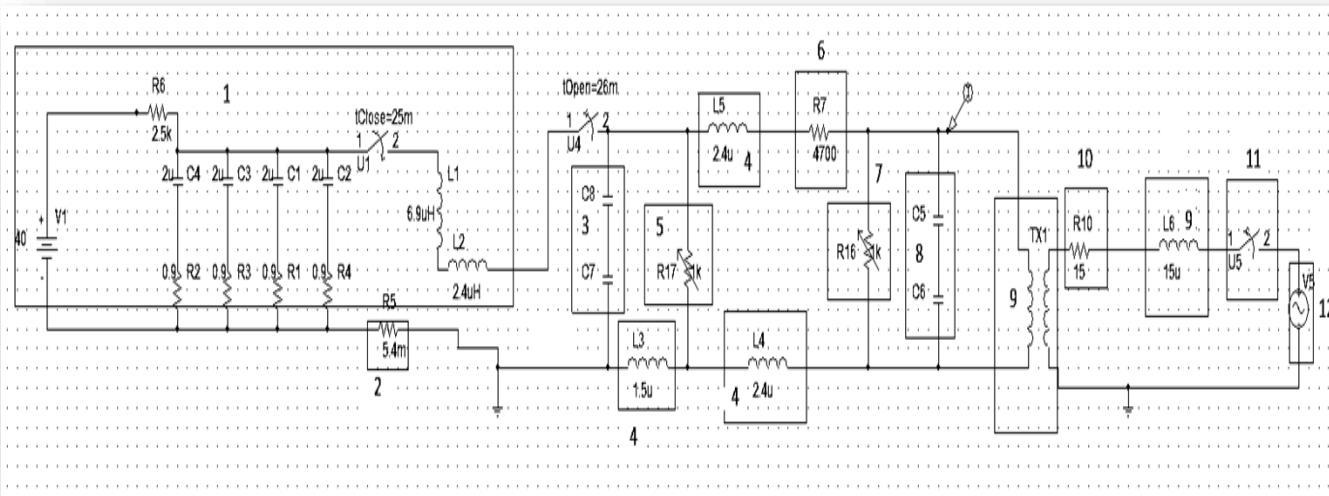

Figura 2.*Esquema general del circuito de ensayo*

Donde:

1. *Generador de impulsos de corriente*
2. *Resistencia de medida corriente de impulso de 5,4 mΩ*
3. *Divisor capacitivo de 40 kV para la medida de la tensión residual*
4. *Inductancia de los cables usados en el montaje*
5. *Descargador para ensayo*
6. *Resistencia de agua 4700 Ω*
7. *Descargador para proteger el transformador de alta tensión*
8. *Divisor capacitivo de 25 kV*
9. *Transformador monofásico de 34,5 kVA*
10. *Balasto para limitar la corriente de 15 Ω*
11. *Interruptor de protección de 10 A*
12. *Fuente de baja tensión (variac)*

El esquema presentado en la *Figura 2* es para un solo descargador pero durante la realización de los ensayos se conectaran las cinco muestras en paralelo por lo que cada descargador requerirá de su propia resistencia de agua desde la fuente de tensión alterna.

La función de las resistencias de agua [12] es la de impedir que el impulso de corriente pase hacia el transformador encargado de mantener la tensión MCOV y el impulso se aplique solamente al descargador de turno, se construyeron con el objetivo de soportar una energía 4230 J durante 10 segundos, que corresponde al tiempo en que se demora en despejar una falla el interruptor de protección de 10 A en el lado primario (BT) del transformador.

3.1.1 Circuito para impulso de corriente tipo rayo

El circuito equivalente del montaje para la aplicación de los impulsos tipo rayo se simuló con el software Pspice a continuación se muestra su esquema:

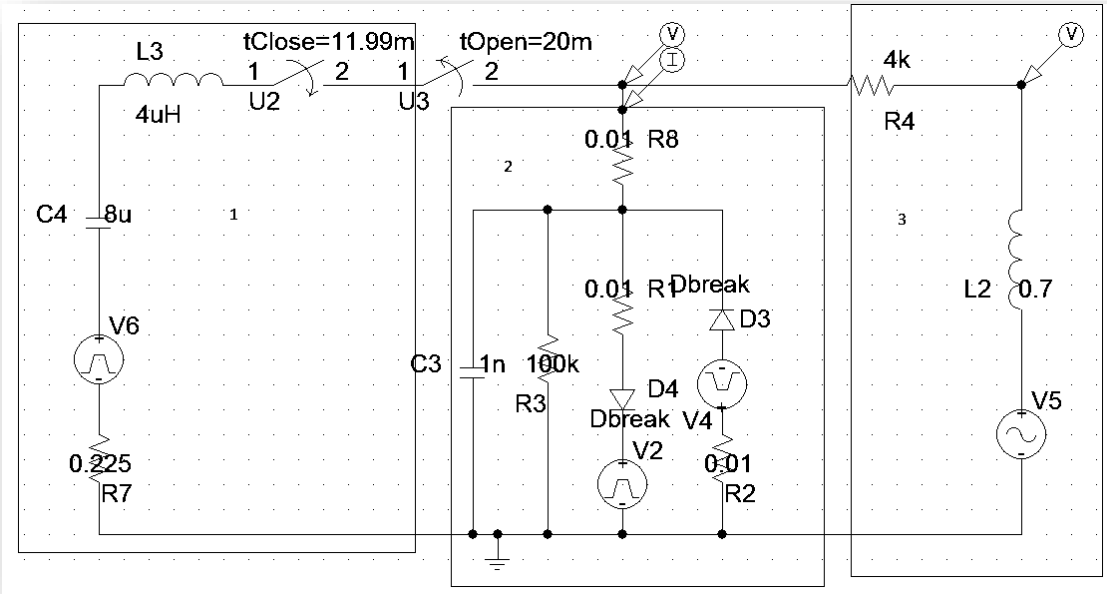

***Figura 3**. Esquema general del circuito simulado para la onda de corriente tipo rayo*

Donde 1 representa el circuito de impulso, 2 el modelo del descargador y 3 el circuito A.C. A continuación se muestra el comportamiento del circuito:

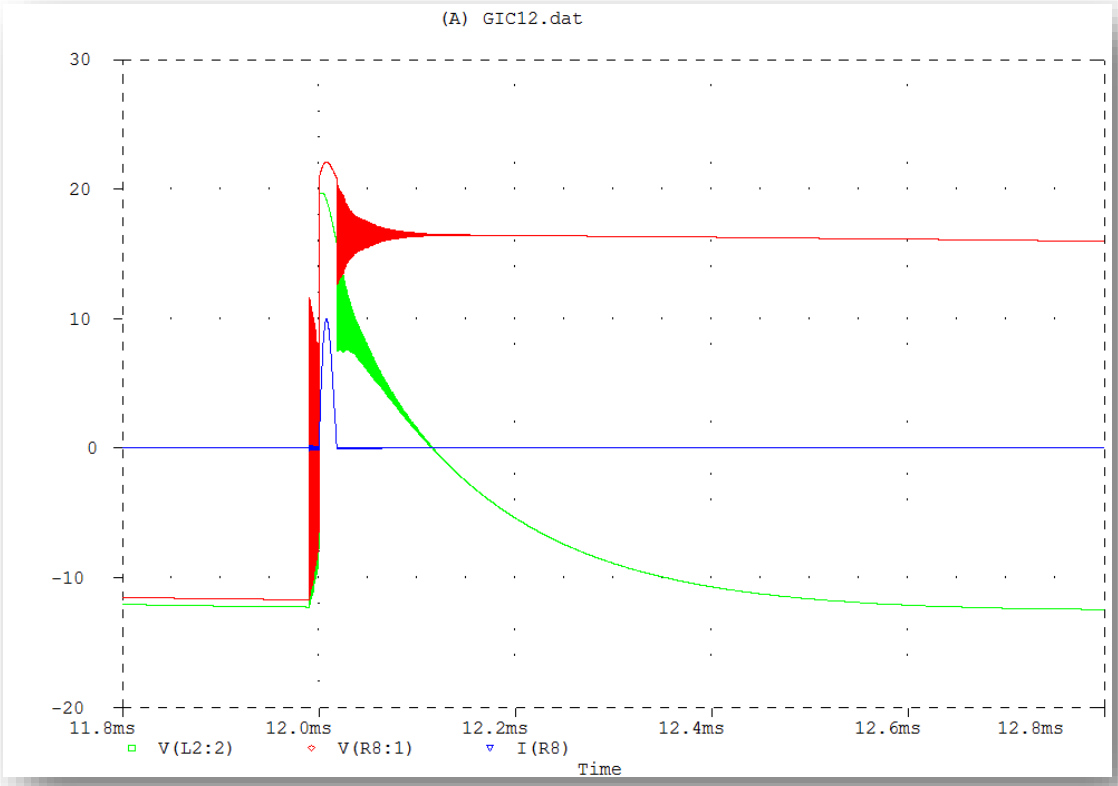

Figura 4. *Respuesta de la simulación del circuito de impulso de corriente tipo rayo junto con el circuito de tensión A.C.*

La onda azul representa el impulso de corriente de 10 kA, la onda roja representa la tensión residual en el descargador y la onda verde muestra la tensión que aparece en el los bornes del transformador de 34,5 kVA. Como se observa la presencia de la resistencia de agua logra bajar la sobretensión en los bornes del transformador, teniendo en cuenta que el transformador posee su propio descargador de sobretensión se puede inferir que no habrá ningún problema de sobretensión en el transformador al implementar el circuito de ensayo propuesto.

3.1.2 Circuito para impulso tipo maniobra

El circuito para la aplicación de los impulsos tipo maniobra se simuló con el software ATP a continuación se muestra su esquema utilizado:

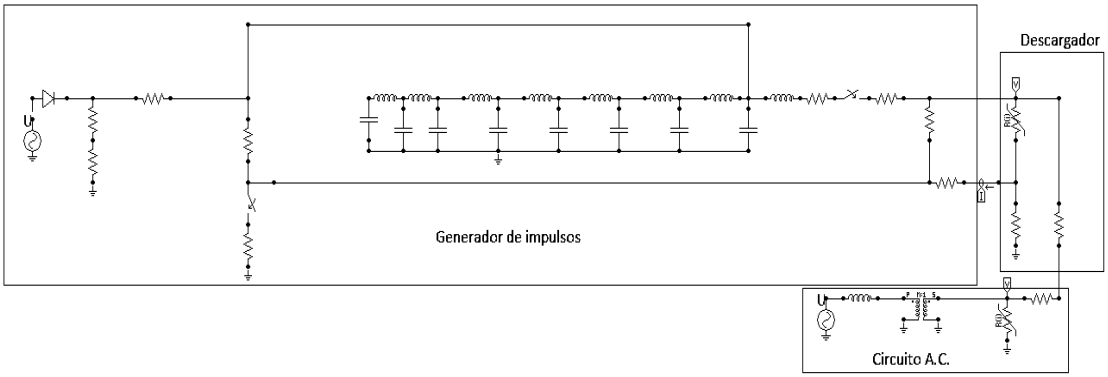

Figura 5. *Esquema general del circuito simulado para la onda de corriente tipo maniobra*

A continuación se muestra el comportamiento del circuito:

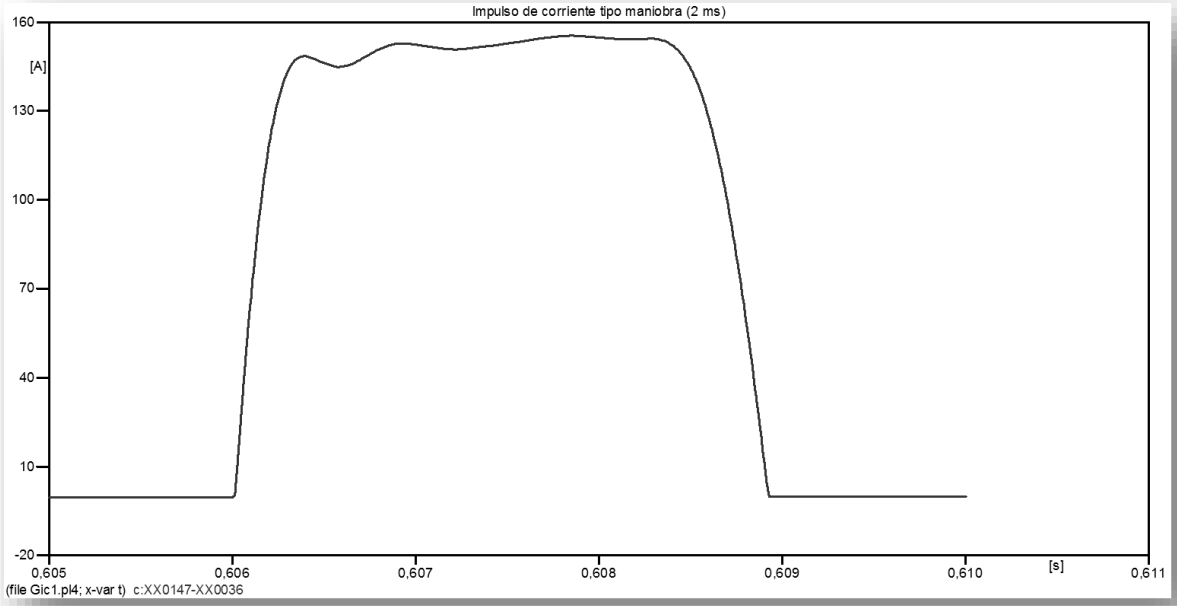

Figura 6. *Forma de onda de la corriente*

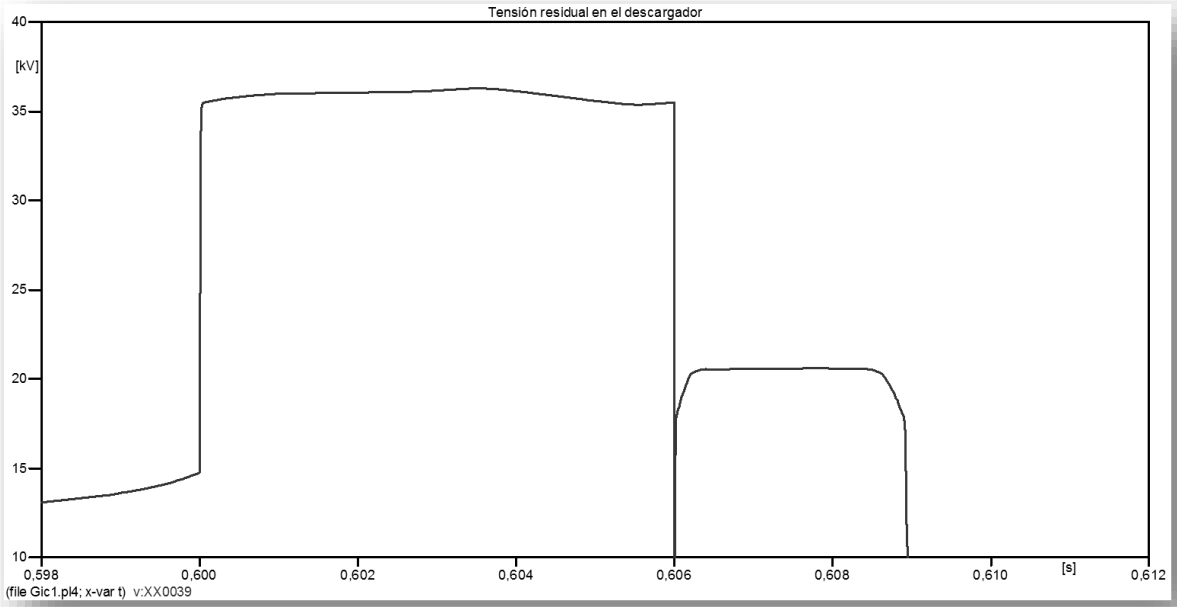

Figura 7. *Forma de onda de la tensión residual en el descargador*

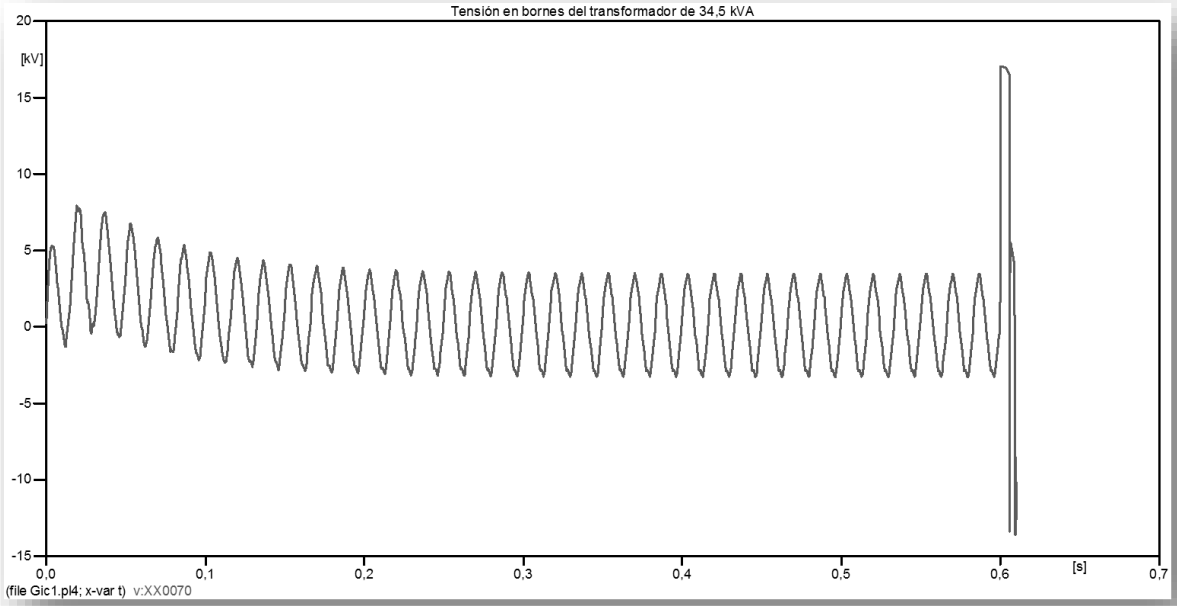

Figura 8. *Forma de onda de la tensión en bornes del transformador*

Como se puede observar en la *Figura 8* la tensión en bornes del transformador se ve reducida por la resistencia de agua, de nuevo al existir el descargador de protección para el

transformador de 34,5 kVA se puede suponer que no habrá ningún problema con el transformador al momento de la realización de los ensayos.

3.2 Elección de los equipos de medición

Para la medición de los parámetros se usaron los siguientes equipos:

- Corriente de impulso: Osciloscopio DIAS, resistencia de 5,4 mΩ para corriente tipo rayo y resistencia de 3,2 Ω para corriente tipo maniobra
- Tensión residual: Osciloscopio DIAS y divisor capacitivo de 40 kV
- Tensión alterna: Divisor capacitivo de 25 kV, multímetro Fluke 189 y osciloscopio Tektronix TDS 1012B con rata de muestreo de 1 Giga simple por segundo
- Corriente de fuga: Resistencia calibrada de 6,2 kΩ y osciloscopio Tektronix TDS 1012B La resistencia para medir corriente de fuga se construyó según el diseño hecho por Ramos y Torres [12] el cual se puede ver a continuación:

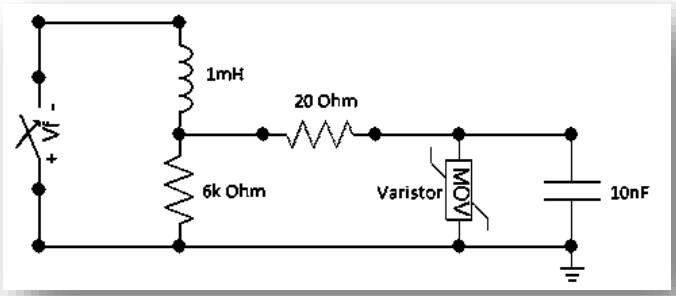

Figura 9. *Resistencia para medida de corriente de fuga*

Como se observa en el diagrama la resistencia de medida de 6 kΩ está protegida contra sobretensiones por medio de un varistor de baja tensión y un gap representado por Vf.

Se construyeron seis resistencias de medida una para cada descargador y una adicional de reserva, las resistencias fueron calibradas en el labora torio de metrología del LABE.

3.3 Realización de los ensayos

Antes de realizar los ensayos se decidió a realizar primero la totalidad de impulsos tipo rayo y después se realizarían los impulsos de corriente tipo maniobra

3.3.1 Ensayos preliminares

.Se realizaron pruebas preliminares de cada uno de los circuitos de energización así como de cada uno de los sistemas de medida y protección, esto con el fin de garantizar una ejecución sin problemas de los ensayos finales. Para la ejecución de estos ensayos preliminares se utilizó un sexto descargador con las mismas características de las muestras a ensayar.

De dichas pruebas preliminares se identificaron los siguientes ítems:

- Las onda de corriente tipo rayo no cumple con las tolerancias para los tiempos de frente y de cola de ± 10 %, puesto que para una onda de corriente (8/20) μs las tolerancias para el tiempo de frente sería de 8 ± 0,8 μs y para el de cola sería de 20 ± 2 μs. En cada una de las 5 posiciones en las que se van a encontrar los descargadores se encontraron tiempos de frente superiores a 9 μs y tiempos de cola superiores a 22 μs. El cambio en los tiempos es debido a la inductancia introducida por los cables utilizados para conectar los descargadores en paralelo.
- Dicho cambio en los tiempos afecta directamente en la cantidad de energía aplicada por cada uno de los impulsos, pero en un principio se decidió continuar con el plan de ensayos propuesto.
- Al aparecer un nivel de tensión A.C en el descargador en el momento del impulso el osciloscopio DIAS no determina de manera adecuada el valor pico de la tensión residual, por lo que se determina realizar la medición de esta variable dos veces al día apagando durante las mediciones el circuito de tensión A.C.
- Se definió que la corriente de fuga sería medida desacoplando el generador de impulsos del circuito A.C. Es decir que al momento de medir la corriente de fuga se conectarían las resistencias en serie a cada uno de los descargadores y se quitaría el cable de tierra que une el generador de impulsos al circuito A.C.
- Se encontró que el THD del circuito es igual a 7,4 % principalmente en el quinto armónico, por lo que se resolvió corregirlo con un capacitor conectado entre los bornes de baja tensión del transformador, el THD corregido quedo en 4 % principalmente en el tercer armónico.
- Se definieron las tensiones de carga del generador a las se aplicaría la corriente de prueba de 10 kA, para cada una de los descargadores.

3.3.2 Ensayos definitivos

A continuación se muestran fotografías del montaje final

Figura 10. *Fotografías del montaje final*

Donde:

1. Transformador de 34,5 kVA
2. Descargador para proteger el transformador
3. Divisor capacitivo de 25 kV
4. Resistencias de agua
5. Estructura neumática conectada a un compresor ubicado fuera del campo de ensayos controlada por interruptores (uno por muestra)
6. Descargadores a ensayar
7. Divisor capacitivo de 40 kV

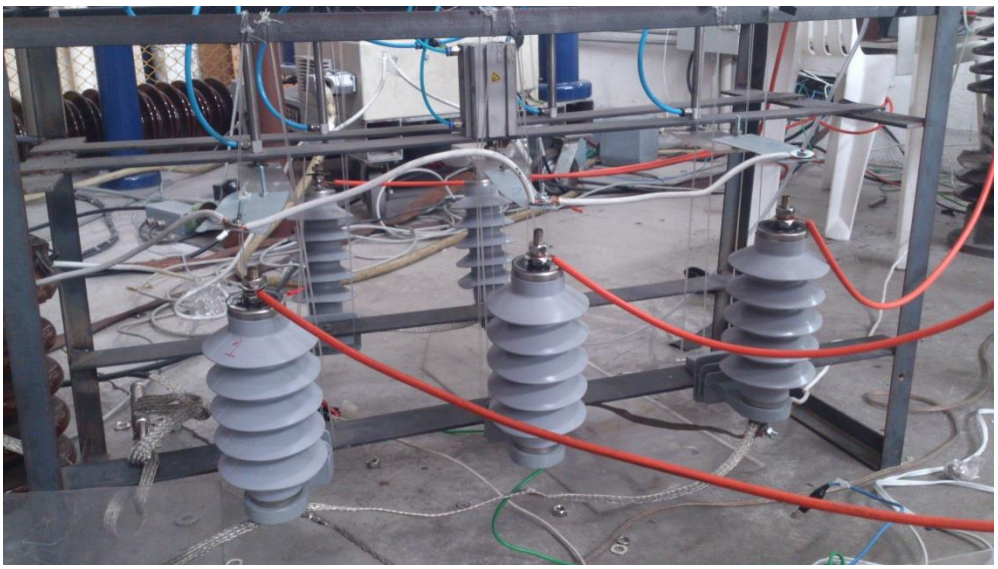

Figura 11*. Ubicación de los cinco descargadores en la estructura neumática de izquierda a derecha son muestra 1, 2, 3 atrás de izquierda a derecha 4 y 5.*

Los ensayos se realizaron entre el 19 de agosto y el 15 de octubre de 2014, los ensayos se realizaron en la franja de 7:00 a 22:00 horas. El procedimiento realizado cada día fue el siguiente:

- Se mide corriente de fuga a una tensión de 8,5 kV para cada uno de los descargadores
- Se mantiene la tensión de 8,5 kV durante una hora, al finalizar la hora se aplica impulso de corriente onda 8/20 μs de 10 kA, con el circuito de tensión alterna desenergizado

- Se vuelve a energizar las muestras a tensión de 8,5 kV
- Se aplica impulso de corriente onda 8/20 µs de 10 kA al pasar otra hora, con el circuito A.C. energizado
- Se repite el paso anterior durante el resto de las pruebas del día a excepción del último impulso el cual se vuelve a aplicar sin tensión A.C.

Durante los ensayos se obtuvieron resultados como los que se muestran a continuación:

- Corriente de impulso y tensión residual obtenido en el osciloscopio DIAS

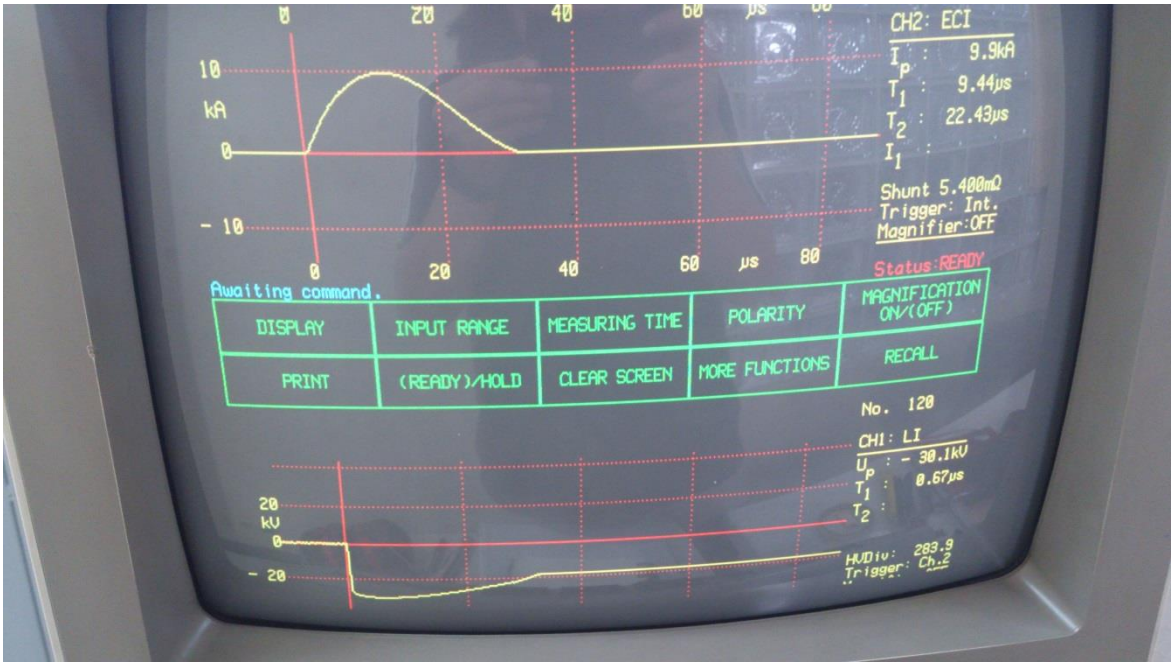

Figura 12. *Oscilograma de tensión y corriente tomado por el osciloscopio DIAS*

En la imagen se puede observar que a la muestra uno en este caso se le aplicó una corriente de 9,9 kA y apareció una tensión residual de 30,1 kV.

- Corriente de fuga y tensión MCOV en osciloscopio Tektronix

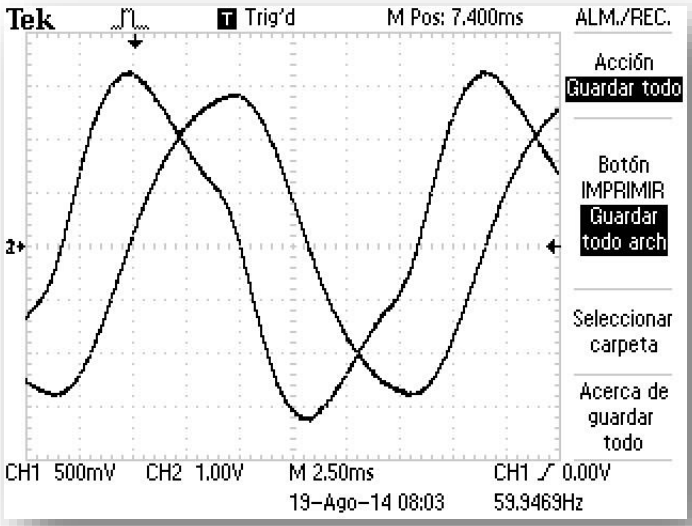

Figura 13. *Oscilograma de tensión y corriente tomado durante la medición de la corriente de fuga*

Se busca encontrar la componente resistiva (conducción) de la corriente, por lo que se mide la corriente cuando la onda de tensión pasa por su valor máximo en ese momento dv/dt es igual a cero por lo que la componente capacitiva de la corriente sería cero.

4. Resultados obtenidos

4.1 Corriente de fuga

Para calcular la corriente de fuga durante los ensayos se utilizó el archivo digital entregado por el osciloscopio digital Tektronix. Para calcular corriente se usará el valor de resistencia obtenido durante la calibración de las mismas. A continuación se presenta el valor de cada una de las resistencias de acuerdo con el resultado de la calibración:

Resistencia	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Valor (Ω)	6266,188	6269,3304	6254,691	6273,438	6298,992	6261,479

Tabla 2. *Valor de las resistencias usadas para medir corriente de fuga*

Las resistencias se usaron con su muestra equivalente es decir la resistencia 1 corresponde a la muestra 1, la resistencia 2 a la muestra 2, etc.

Se busca medir la corriente resistiva por lo que se buscó el valor de la corriente en el pico de tensión esto también se realiza usando el archivo digital de 2500 puntos entregado por el osciloscopio Tektronix.

Los valores de corriente medidas se muestran en el *Anexo A*

El 5 de septiembre se tomó la medida de la corriente de fuga de dos maneras, una como normalmente se hacía y otra desconectando el descargador 3 del circuito. Esto se hizo debido a que el deterioro de la muestra tres afecto la forma de la onda de tensión haciendo que la misma pasara de tener un THD de 4,3 % a uno de 8,3% los dos más altos en el tercer armónico. El deterioro de la muestra 3 se evidencio al medir la corriente y ver como esta se salía de la escala de medida como se puede observar en la tabla correspondiente a la muestra tres en el *Anexo A.*

4.2 Calculo de la capacitancia

Para calcular el valor de la capacitancia se utiliza el archivo de tensión y corriente del osciloscopio Tektronix, En este caso se procede a calcular la capacitancia la cual se encuentra buscando la pendiente de la recta que cruza por cero en la onda tensión y multiplicándola por la corriente que aparece en v igual a cero. Esto es despejando la capacitancia de la *Ecuación 1*

$$ic = C * \frac{dv}{dt}$$

***Ecuación 1**. Corriente en el capacitor*

El cálculo de capacitancia encontrado se muestra en el *Anexo B*

4.3 Tensión Residual

La tensión residual se midió durante los ensayos directamente con el osciloscopio DIAS, solo se tomarán las tensiones residuales medidas cuando la onda de tensión A.C. se encontraba apagada

Los valores medidos se muestran en el *Anexo C*

4.4 Cálculo de energía acumulada debida al impulso de corriente tipo rayo

La energía aplicada al descargador por el impulso de corriente tipo rayo depende de:

$$E = \int V(t) * i(t)\, dt$$

Ecuación 2. Energía aplicada al descargador

Para el cálculo de la energía se utilizaron las fotos tomadas en el DIAS para cada uno de los impulsos aplicados, puesto que se aplicaron más de 600 impulsos a todas las muestras en total resulta impráctico calcular la energía a partir de cada una de las fotografías tomadas. La tensión se supondrá constante para facilitar el cálculo de la energía aunque esta suposición nos puede llevar a obtener un error en el cálculo de la energía.

Se utilizó este método ya que no se dispone de otro tipo de equipo en el laboratorio que soporte los niveles de tensión de los divisores y resistencia *shun*t calibradas y normalmente

utilizadas en los ensayos, La salida disponible es solo la pantalla por lo que es necesario trabajar con las fotografías y los datos que calcula el y muestra en pantalla el digitalizador DIAS, de acuerdo con la norma IEC60060, que son: Valor pico, tiempo de frente y tiempo de cola.

En primera medida para el cálculo de la energía se tomaron los datos del 21 de agosto ese día se aplicaron 13 impulsos por muestra, se procedió a sacar 10 puntos por cada uno de los impulsos de corriente y digitalizar los puntos.

A continuación se muestra el proceso para el segundo impulso de la muestra 1: El oscilograma obtenido es el siguiente:

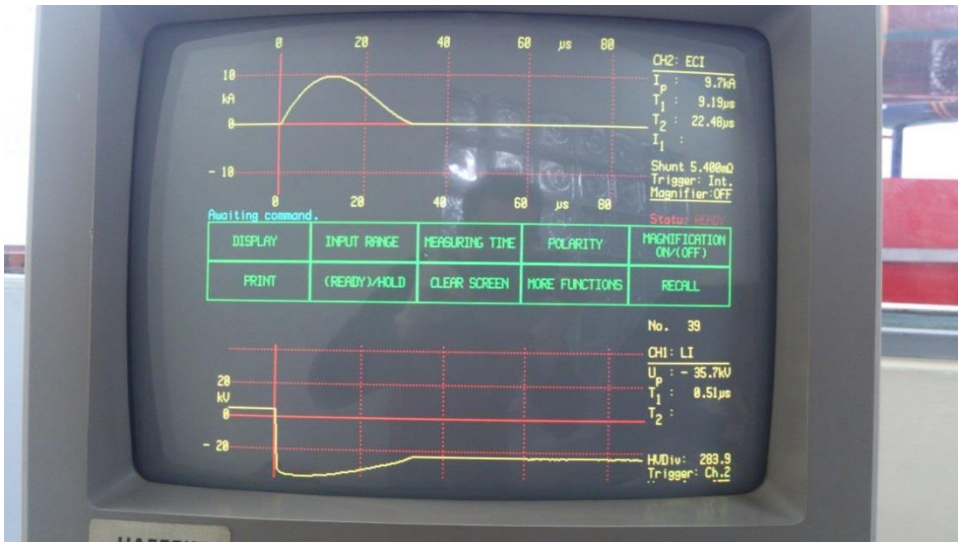

Figura 14. *Oscilograma segundo impulso aplicado a la muestra 1 el 21 de agosto*

Los puntos obtenidos para el oscilograma 39 son los siguientes:

Tiempo (µs)	**Corriente (kA)**
0	0
4	4,5
6,4	7,2
9,6	9
11,2	9,7
14,4	9,7
15,2	9,45
20	6,75
23,2	4,5
30,4	0

Tabla 3. Datos obtenidos oscilograma 39

A continuación se utilizó Matlab para encontrar una función que represente el impulso de corriente, la respuesta obtenida es la siguiente:

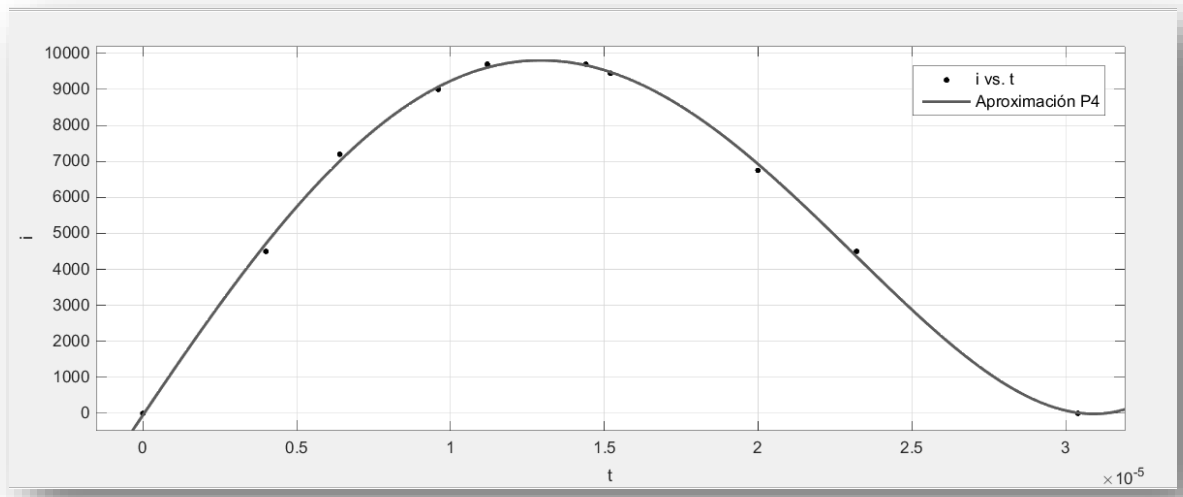

Figura 15. *Función aproximada encontrada con Matlab*

La aproximación utilizada fue la de un polinomio de grado 4, y la ecuación obtenida es la siguiente:

```
Linear model Poly4:
    f(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5
Coefficients (with 95% confidence bounds):
      p1 =   7.953e+22  (5.012e+22, 1.089e+23)
      p2 =  -3.595e+18  (-5.368e+18, -1.822e+18)
      p3 =  -5.793e+12  (-3.969e+13, 2.811e+13)
      p4 =   1.266e+09  (1.042e+09, 1.491e+09)
      p5 =      -49.25  (-487.5, 389)

Goodness of fit:
  SSE: 1.501e+05
  R-square: 0.9988
  Adjusted R-square: 0.9979
  RMSE: 173.3
```

Figura 16. *Ecuación de la función aproximada*

Lo siguiente que se hizo fue integrar la función de corriente obtenida en Scientific Workplace:

$$\int_0^{30.4\times10^{-6}} ((755.8 + (-57.93 * \cos(1.04 \times 10^5 x)) + (7889 * \sin(1.04 \times 10^5 x))) + ((-711 * \cos(2 * 1.04 \times 10^5 * x)) + (1564 * \sin(2 * 1.04 \times 10^5 * x))))dx = 0.17455$$

El valor de integral obtenido es de 0,17455 A*s

El procedimiento nombrado se realizó para todos los impulsos del día 21 de agosto a las 5 muestras. Los valores de las integrales se muestran a continuación:

	Oscilograma	Integral
Muestra 1	34	0,1349
	39	0,1746
	44	0,1915
	49	0,1777
	54	0,2033
	59	0,1851
	64	0,1746
	65	0,1675
	70	0,2004
	75	0,2013
	80	0,1689
	85	0,2100
	90	0,1884
	95	0,1727

	Oscilograma	Integral
Muestra 2	35	0,1787
	40	0,1816
	45	0,1795
	50	0,1760
	55	0,1760
	60	0,1785
	66	0,1797
	71	0,1760
	76	0,1686
	81	0,1788
	86	0,1760
	91	0,2031
	96	0,1733
	36	0,1814
	41	0,1820
	46	0,1997

	Oscilograma	Integral
Muestra 3	51	0,1631
	56	0,1882
	61	0,2097
	67	0,1872
	72	0,1613
	77	0,1881
	82	0,1831
	87	0,2018
	92	0,1895
	97	0,1667

	Oscilograma	Integral
Muestra 4	37	0,2028
	42	0,193
	47	0,2073
	52	0,1900
	57	0,2038
	62	0,1932
	68	0,1941
	73	0,1923
	78	0,1911
	83	0,1981
	88	0,1956
	93	0,1950
	98	0,1788

	Oscilograma	Integral
Muestra 5	38	0,1985
	43	0,2089
	48	0,2142
	53	0,1899
	58	0,1901
	63	0,194
	69	0,1960
	74	0,1897
	79	0,1933
	84	0,1899
	89	0,1899
	94	0,2004
	99	0,1799

Tabla 4. Integral calculada para todas las muestras correspondientes al 21 de agosto.

Para calcular el resto de las integrales se propone lo siguiente:

Encontrar una relación entre los valores que el oscilograma de corriente entrega: Tiempo de frente, tiempo de cola y valor pico de la corriente como se observa en el oscilograma 39 y el valor de la integral calculado por medio de la función encontrada para los impulsos analizados el 21 de agosto.

Se propone utilizar una relación entre las variables del siguiente tipo:

$$\frac{tc}{tf} * i * k = int$$

Donde:

1. tc: Tiempo de cola
2. tf: tiempo de frente
3. i: corriente pico
4. k: constante a determinar
5. int: valor de la integral

Para encontrar k se propone utilizar los valores promedio totales (todos los impulsos) de tc, tf e i y utilizar un valor de int que se acerque al valor de la relación entre (tc/tf)*i.

Por ejemplo tomando de nuevo el oscilograma 39 se calcula k con base a los valores totales promedio de tc, tf e i de la muestra 1, dichos valores promedio son:

tf= 9,65 µs

tc= 22,708 µs

i= 9,89 kA

Por lo que remplazando tendríamos:

$$\frac{22{,}708\ \times 10\hat{}-6}{9{,}65\ \times 10\hat{}-6} * 9890 = 23277{,}66$$

Ahora se tiene la siguiente tabla para la muestra 1 el 21 de agosto:

Para el cálculo de la energía se supuso una tensión residual constante de 30 kV

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral
10,18	22,96	7,2	16238,89	0,13495
9,19	22,48	9,7	23727,52	0,17463
9,35	22,42	10,3	24697,96	0,19157
9,32	22,53	9,7	23448,60	0,17777
10,27	23	11,6	25978,57	0,20333
9,74	22,83	10,2	23908,21	0,18513
9,63	22,48	9,9	**23110,28**	**0,17461**
10,24	23,18	9,3	21052,14	0,16751
10,01	22,86	10,9	24892,50	0,20045
9,94	22,65	11,1	25293,25	0,20136
9,52	22,49	9,7	22915,23	0,16899
10,49	22,88	11,7	25519,16	0,21008
10,16	23,01	10,2	23100,59	0,18849
9,25	22,48	9	21872,43	0,17274

Tabla 4. Variables necesarias para calcular el método para la muestra 1 con base en los datos tomados el 21 de agosto.

De acuerdo con la tabla el valor más cercano de int para el 23277,66 calculado es 0,17461

Con estos valores se calcula un k= 7,501x10^-6, ahora para el oscilograma 39 usamos la relación para calcular int:

$$\frac{tc}{tf} * i * k = int = \frac{9{,}19x10^{-6}}{22{,}48x10^{-6}} * 9700 * 7{,}5x10^{-6} = int = 0{,}178$$

Comparado el int calculado por la relación con el int calculado por la integral la diferencia es de un 2 %.

En las siguientes tablas se resume esta misma comparación para todas las muestras durante el 21 de agosto

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral por función	Constante	Integral por relación	Diferencia entre métodos (%)
10,18	22,96	7,2	16238,8998	0,13495	7,5012E-06	0,12181097	9,74
9,19	22,48	9,7	23727,5299	0,17463	7,5012E-06	0,17798455	1,92
9,35	22,42	10,3	24697,9679	0,19157	7,5012E-06	0,18526399	3,29
9,32	22,53	9,7	23448,6052	0,17777	7,5012E-06	0,17589229	1,06
10,27	23	11,6	25978,5784	0,20333	7,5012E-06	0,19487008	4,16
9,74	22,83	10,2	23908,2136	0,18513	7,5012E-06	0,1793399	3,13
9,63	22,48	9,9	23110,2804	0,17461	7,5012E-06	0,17335445	0,72
10,24	23,18	9,3	21052,1484	0,16751	7,5012E-06	0,15791603	5,73
10,01	22,86	10,9	24892,5075	0,20045	7,5012E-06	0,18672326	6,85
9,94	22,65	11,1	25293,2596	0,20136	7,5012E-06	0,18972938	5,78
9,52	22,49	9,7	22915,2311	0,16899	7,5012E-06	0,17189135	1,72
10,49	22,88	11,7	25519,1611	0,21008	7,5012E-06	0,19142391	8,88
10,16	23,01	10,2	23100,5906	0,18849	7,5012E-06	0,17328177	8,07
9,25	22,48	9	21872,4324	0,17274	7,5012E-06	0,16406913	5,02

Tabla 5. Muestra 1 el 21 de agosto

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral por función	Constante	Integral por relación	Diferencia entre métodos (%)
9,83	23,12	9,9	23284,6389	0,17873	7,9402E-06	0,18488498	3,44
9,78	23,11	9,7	22920,9611	0,18161	7,9402E-06	0,1819973	0,21
9,63	23,13	9,7	23298,1308	0,17959	7,9402E-06	0,18499211	3,01
9,59	23,27	9,6	23294,2649	0,17609	7,9402E-06	0,18496142	5,04
9,8	23,43	9,3	22234,5918	0,17886	7,9402E-06	0,17654739	1,29
9,71	23,26	9,4	22517,4047	0,17851	7,9402E-06	0,17879298	0,16
9,6	23,14	9,4	22657,9167	0,1797	7,9402E-06	0,17990868	0,12
9,86	23,38	9,3	22052,1298	0,17601	7,9402E-06	0,1750986	0,52
9,77	23,48	8,7	20908,4954	0,16861	7,9402E-06	0,1660179	1,54
9,89	23,44	9,3	22041,6582	0,17886	7,9402E-06	0,17501545	2,15
10,1	23,4	9,3	21546,5347	0,17601	7,9402E-06	0,17108407	2,80
10,14	23,36	10,7	24650,0986	0,20311	7,9402E-06	0,19572702	3,63
9,8	23,14	8,8	20778,7755	0,17335	7,9402E-06	0,16498789	4,82

Tabla 6. *Muestra 2 el 21 de agosto*

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral por función	Constante	Integral por relación	Diferencia entre métodos (%)
9,95	23,73	9,7	23133,7688	0,18148	8,4301E-06	0,19501909	7,46
9,97	23,89	9,6	23003,4102	0,18205	8,4301E-06	0,19392016	6,52
10,41	23,39	11,2	25165,0336	0,19972	8,4301E-06	0,21214278	6,22
9,94	24,13	8,4	20391,5493	0,16313	8,4301E-06	0,17190201	5,38
10	23,31	10,7	24941,7	0,18822	8,4301E-06	0,21026006	11,71
11,03	23,91	11,4	24712,058	0,20978	8,4301E-06	0,20832416	0,69
10,57	23,53	9,9	22038,5052	0,18725	8,4301E-06	0,18578595	0,78
10,33	24,16	8,4	19646,0794	0,1613	8,4301E-06	0,16561765	2,68
12,05	25,01	9,3	19302,3237	0,18816	8,4301E-06	0,16271977	13,52
10,71	23,52	9,9	21741,1765	0,18313	8,4301E-06	0,18327945	0,08
10,61	23,42	11,4	25163,8077	0,20187	8,4301E-06	0,21213244	5,08
10,4	23,39	9,9	22265,4808	0,18958	8,4301E-06	0,18769937	0,99
10,18	24,05	8,4	19844,7937	0,1667	8,4301E-06	0,16729283	0,36

Tabla 7. *Muestra 3 el 21 de agosto*

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral por función	Constante	Integral por relación	Diferencia entre métodos (%)
10,46	24,22	9,9	22923,327	0,2028	8,8587E-06	0,20307098	0,13
10,19	24,25	9,7	23083,9058	0,193	8,8587E-06	0,20449351	5,96
10,53	23,5	11,2	24995,2517	0,20738	8,8587E-06	0,22142555	6,77
10,21	23,29	10,2	23267,189	0,19001	8,8587E-06	0,20611716	8,48
10,43	23,12	10,8	23940,1726	0,20385	8,8587E-06	0,21207892	4,04
10,21	23,26	10,2	23237,2184	0,19322	8,8587E-06	0,20585166	6,54
10,66	23,54	10,2	22524,2026	0,19414	8,8587E-06	0,19953526	2,78
10,33	23,33	10,2	23036,3988	0,19237	8,8587E-06	0,20407265	6,08
10,19	23,22	10,2	23242,787	0,19119	8,8587E-06	0,20590099	7,69
10,25	23,24	10,7	24260,2927	0,19811	8,8587E-06	0,21491477	8,48
10,74	23,83	10	22188,0819	0,1956	8,8587E-06	0,19655767	0,49
10,28	23,13	10,2	22950	0,19507	8,8587E-06	0,20330727	4,22
10,42	24,28	8,8	20505,1823	0,17889	8,8587E-06	0,18164936	1,54

Tabla 8. *Muestra 4 el 21 de agosto*

Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	(tf/tc)*i	Integral por función	Constante	Integral por relación	Diferencia entre métodos (%)
10,64	24,41	9,9	22712,312	0,19852	8,4543E-06	0,19201709	3,28
10,38	23,46	11,4	25765,3179	0,20893	8,4543E-06	0,21782817	4,26
10,58	23,49	11,8	26198,6767	0,21426	8,4543E-06	0,22149193	3,38
11,18	23,79	10,2	21704,6512	0,18991	8,4543E-06	0,18349801	3,38
10,4	23,46	10,2	23008,8462	0,19017	8,4543E-06	0,19452409	2,29
10,41	23,31	10,2	22839,7695	0,194	8,4543E-06	0,19309466	0,47
10,8	23,64	10,7	23421,1111	0,19603	8,4543E-06	0,19800951	1,01
10,68	23,47	10,2	22415,1685	0,18972	8,4543E-06	0,18950495	0,11
10,49	23,25	10,2	22607,245	0,19339	8,4543E-06	0,19112882	1,17
10,53	23,25	10,2	22521,3675	0,18997	8,4543E-06	0,19040279	0,23
10,65	23,34	10,2	22353,8028	0,18997	8,4543E-06	0,18898614	0,52
10,64	23,58	10,7	23712,9699	0,20042	8,4543E-06	0,20047697	0,03
10,21	24,59	8,5	20471,5965	0,1799	8,4543E-06	0,17307337	3,79

Tabla 9. *Muestra 5 el 21 de agosto*

Como se puede observar en general la diferencia en porcentaje para las muestras 1,2, 4 y 5 tiende a estar por debajo del 10 %, la muestra 3 muestra una diferencia mayor al 10 % para dos impulso. El impulso que varía en 13% se desvía del método debido a que el tiempo de frente y de cola presenta valores anormales.

Como este método para calcular el valor de la integral es análogo al cálculo de la carga eléctrica:

$$q(t) = \int i(t)\, dt$$

La carga eléctrica no se tendrá en cuenta, pues se considera incluida en el cálculo de la energía.

En el *Anexo D* se mostraran todos los cálculos de energía acumulada para las 5 muestras utilizando el método propuesto.

Los resultados en energía acumulada fueron:

Muestra	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
Energía (kJ)	574,78	336,60	431,83	1535,9	834,39
Número de impulsos aplicados antes de fallar	*109*	*60*	*74*	*244*	*138*
Energía promedio por impulso (kJ)	5,27	5,61	5,83	6,29	6,0

Tabla 10. Energía Acumulada calculada para cada una de las muestras

Como se puede observar ninguna de las 5 muestras alcanzo la energía de 2,03 MJ que teóricamente alcanzo el trabajo de Ramos y Torres [12] en el cual se aplicaron 780 impulsos

de 5 kA. Puesto que el procedimiento de este proyecto proponía aplicar los 2.03 MJ dividiéndolos por mitades en onda de corriente tipo rayo y en ondas de corriente tipo maniobra.

Para las muestras 1, 2,3 y 5 no se pudo llegar ni a los 1,015 MJ propuestos para las ondas de corriente tipo rayo. Como solo quedo la muestra 4 y teniendo en cuenta la dispendiosa tarea en que resulta configurar la onda de corriente de larga duración en el generador de impulsos de corriente GIC, se decidió seguir aplicando impulsos de corriente tipo rayo sobre la muestra 4.

Por todo lo anterior no fue posible aplicar los impulsos de larga duración que correspondían a la segunda etapa de los ensayos.

5. Análisis de datos

En este capítulo se encontrará una relación entre las variables: corriente de fuga, tensión residual y la capacitancia con respecto la energía acumulada.

5.1 Relación entre la corriente de fuga y la energía acumulada

A continuación se muestra el comportamiento de la corriente de fuga con respecto a la cantidad de energía que se le fue aplicando a cada una de las muestras

5.1.1 Muestra 1

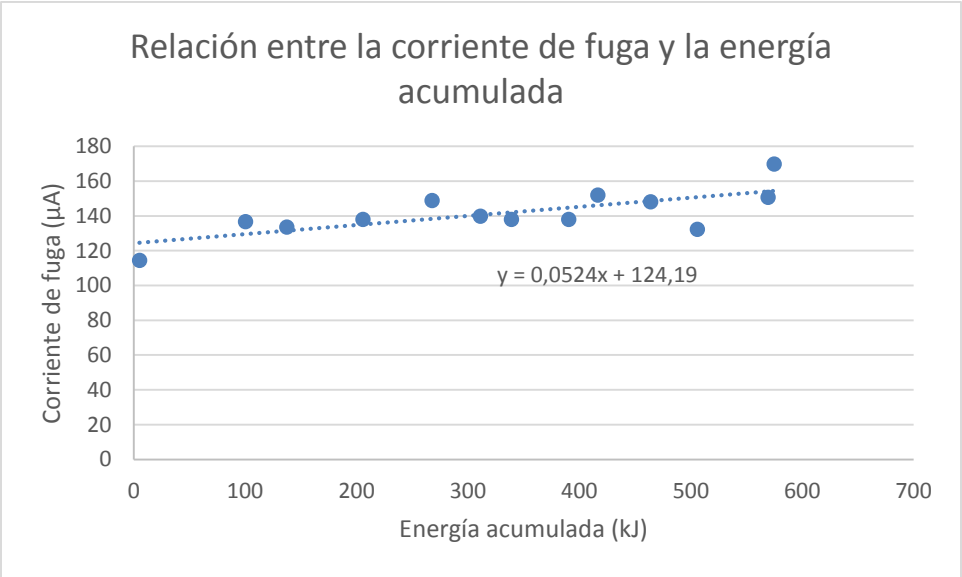

Figura 16. *Relación para la muestra 1*

5.1.2 Muestra 2

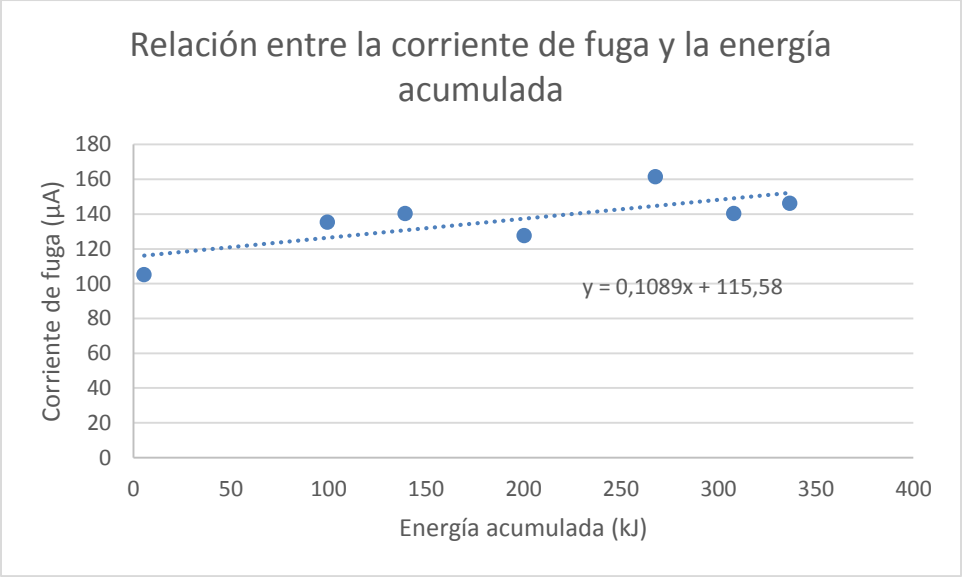

Figura 17. *Relación para la muestra 2*

5.1.3 Muestra 3

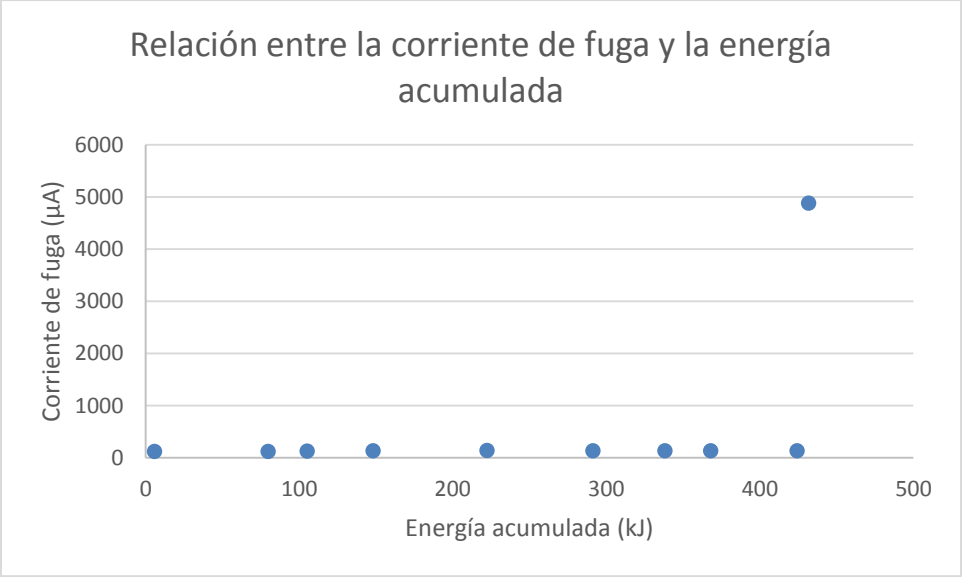

Figura 18. *Relación para la muestra 3 con todos sus datos*

En esta gráfica se observa como el último punto fuera de escala representa un crecimiento significativo antes de la falla del descargador.

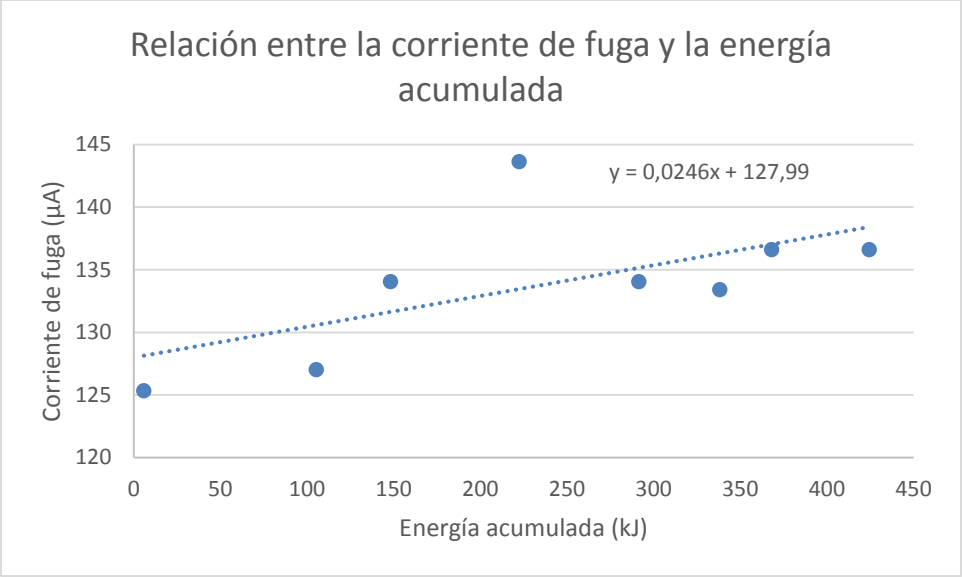

Figura 18. *Relación para la muestra 3 sin tener en cuenta el último dato*

Para un mejor análisis del comportamiento de la corriente de fuga se quita el último dato de la gráfica.

5.1.4 Muestra 4

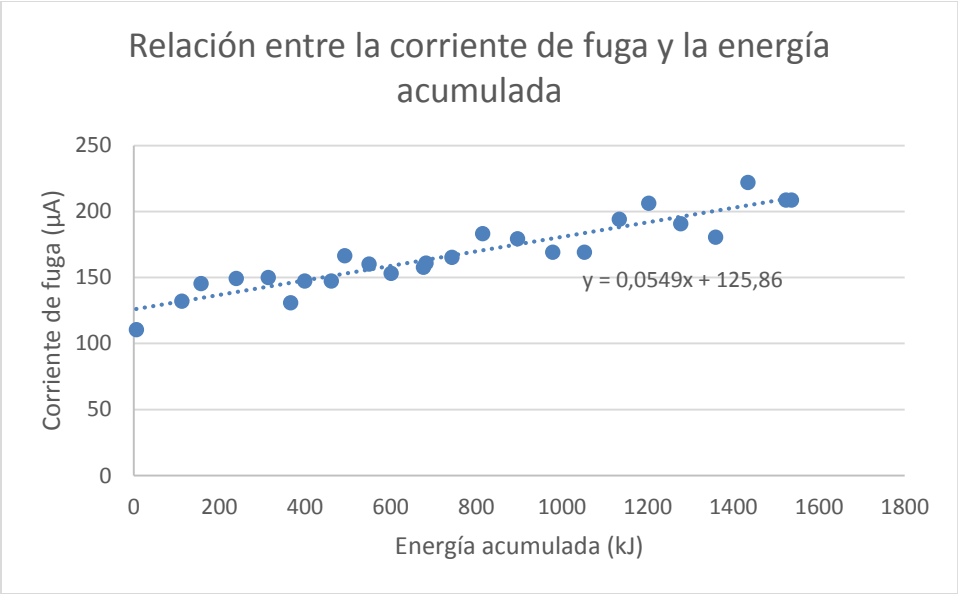

Figura 19. *Relación para la muestra 4*

5.1.5 Muestra 5

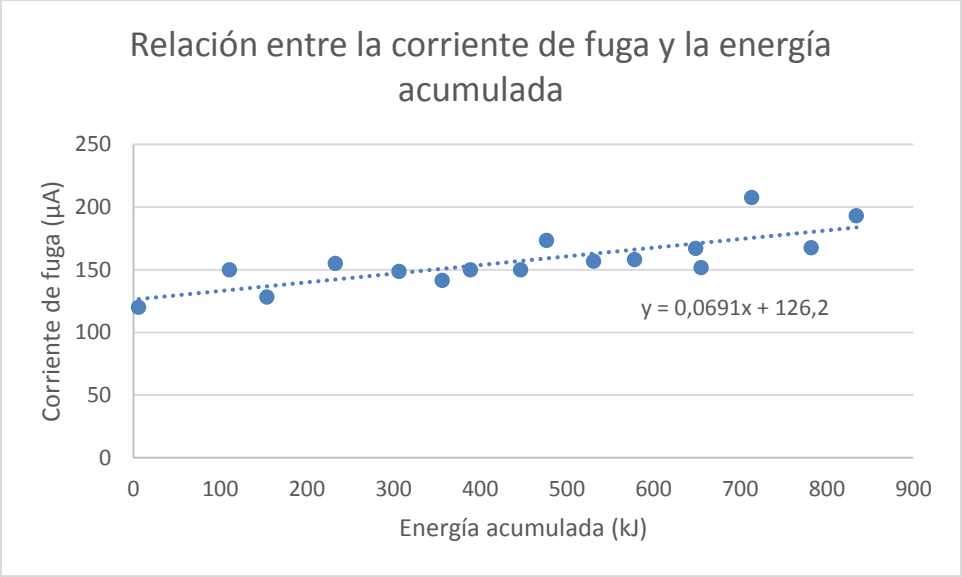

Figura 20. *Relación para la muestra 5*

En las 5 gráficas se puede observar una tendencia al aumento de la corriente a medida de que la energía acumulada va aumentando para cada una de las muestras, también se muestra una línea de tendencia tipo lineal para el comportamiento de la corriente.

Si encontramos un valor de pendiente promedio entre las cinco líneas de tendencia que representan a cada una de las muestras se podría obtener una relación entre como aumenta la corriente de fuga a medida que la energía aplicada va envejeciendo al descargador. La pendiente promedio obtenida es de 0,062 µA/kJ.

5.2 Relación entre la capacitancia y la energía acumulada

5.2.1 Muestra 1

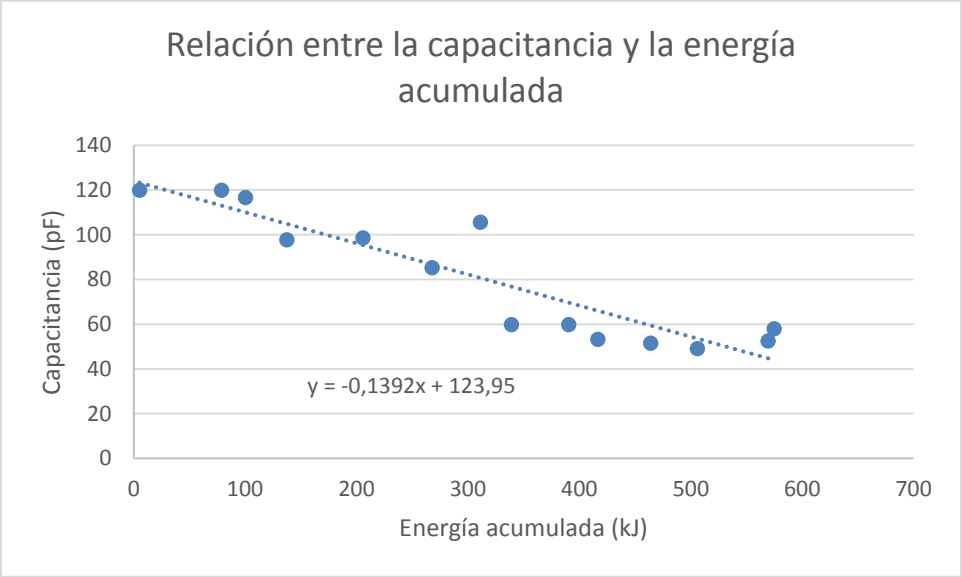

Figura 21. *Relación para la muestra 1*

5.2.2 Muestra 2

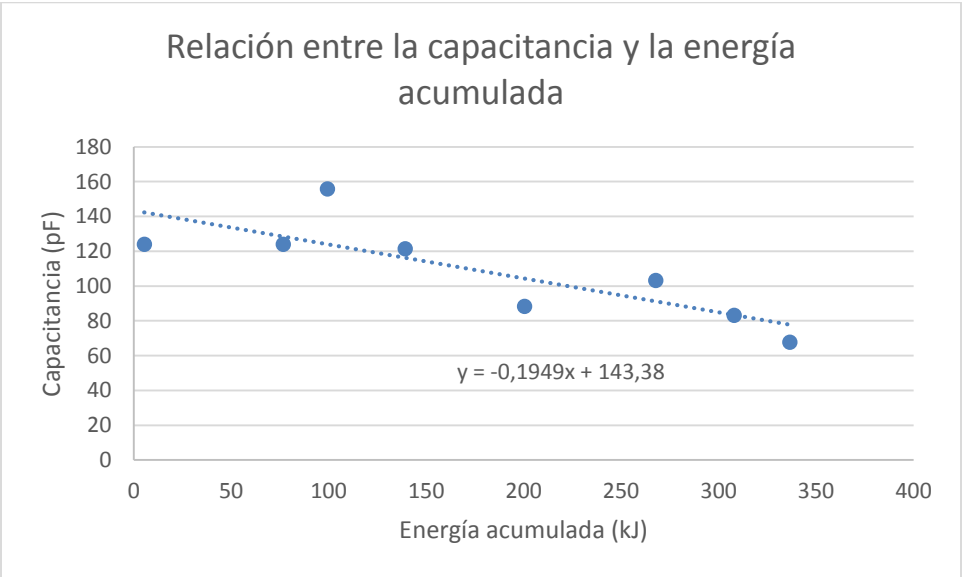

Figura 22. *Relación para la muestra 2*

5.2.3 Muestra 3

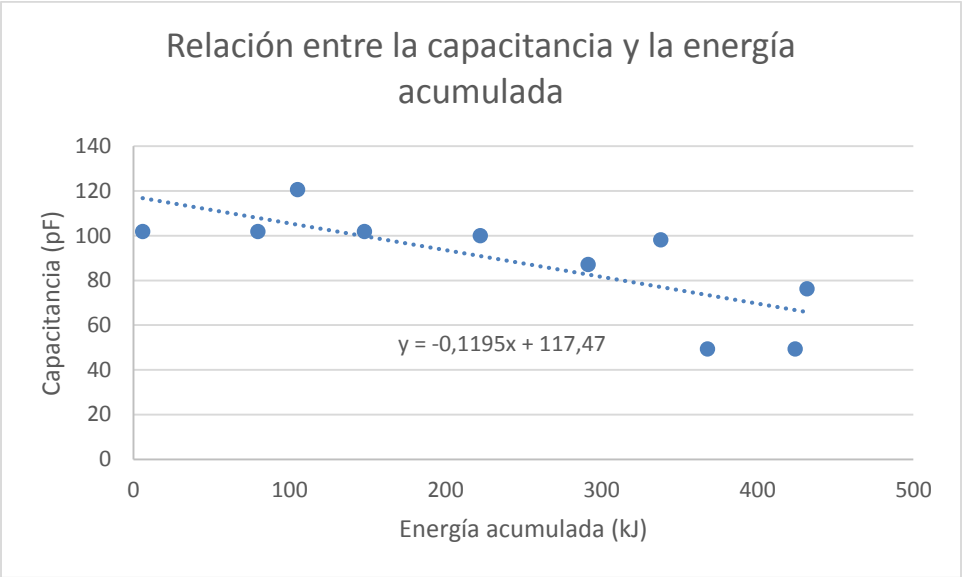

Figura 23. *Relación para la muestra 3*

5.2.4 Muestra 4

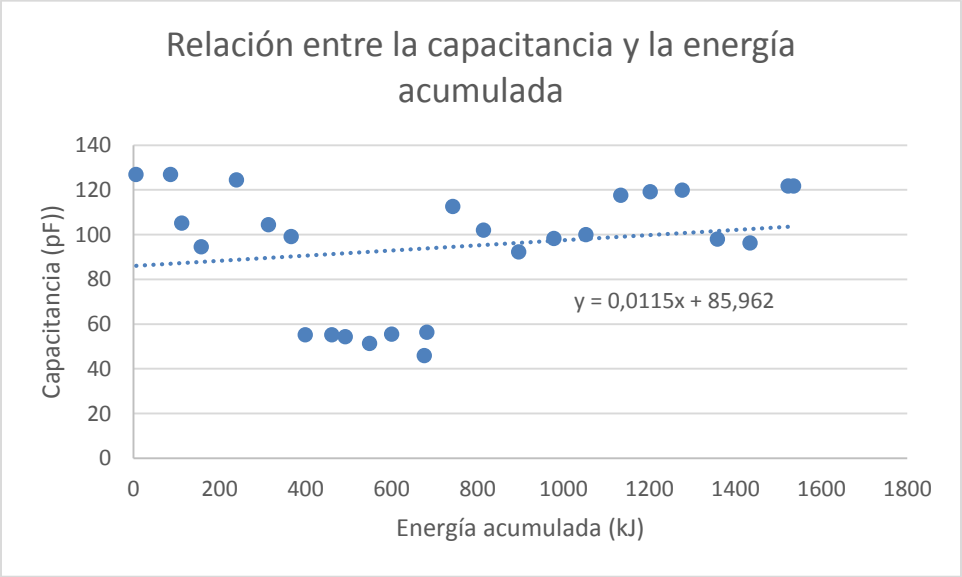

Figura 24. *Relación para la muestra 4*

5.2.5 Muestra 5

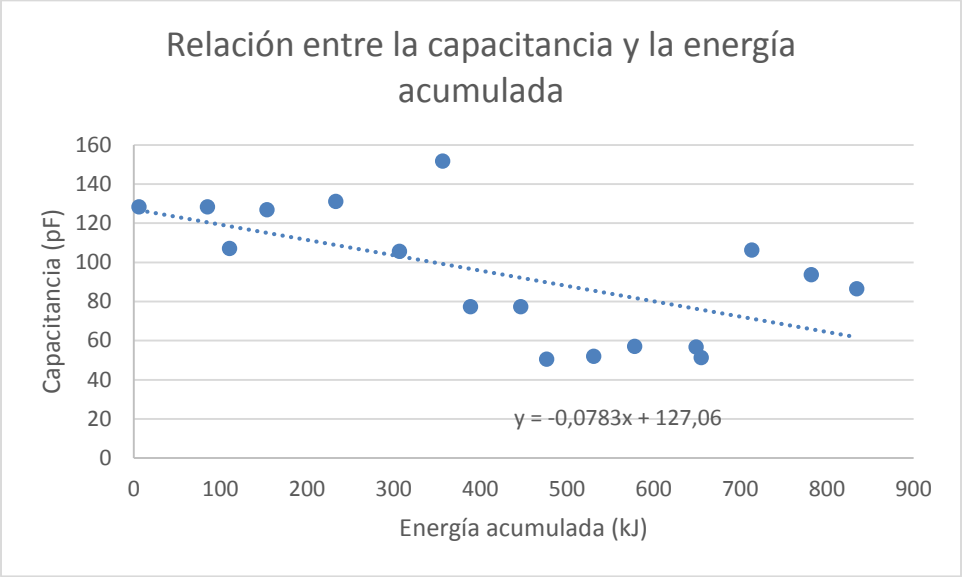

Figura 25. *Relación para la muestra 5*

Las pendientes de cuatro de las gráficas muestran una tendencia a la reducción de la capacitancia, mientras la muestra 4 no tiene una tendencia clara. Es conveniente para futuros trabajos considerar métodos de medición directos sobre las muestras dado que con el presente método hay una dispersión alta de los puntos calculados.

5.3 Relación entre la tensión residual y la energía acumulada

5.3.1 Muestra 1

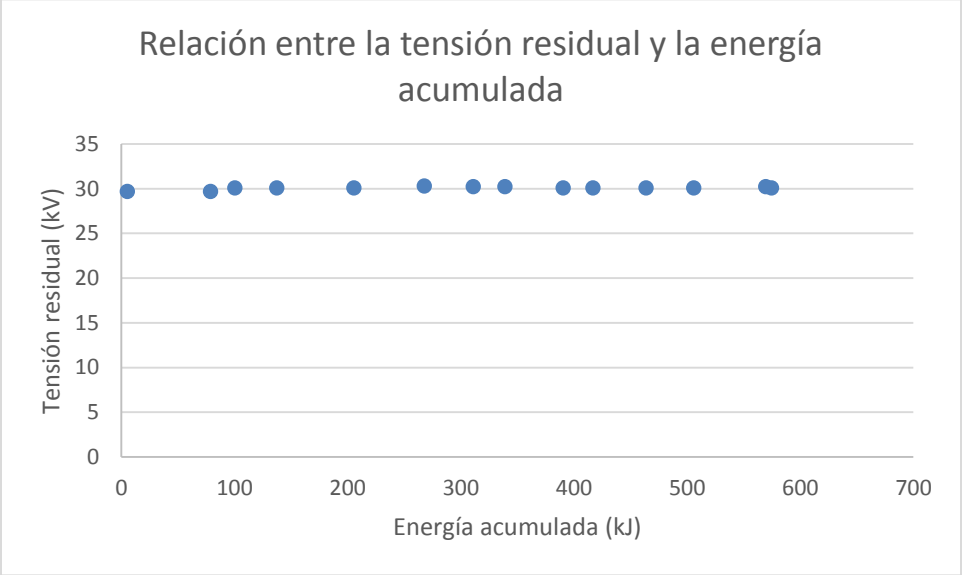

Figura 26. *Relación para la muestra 1*

5.3.2 Muestra 2

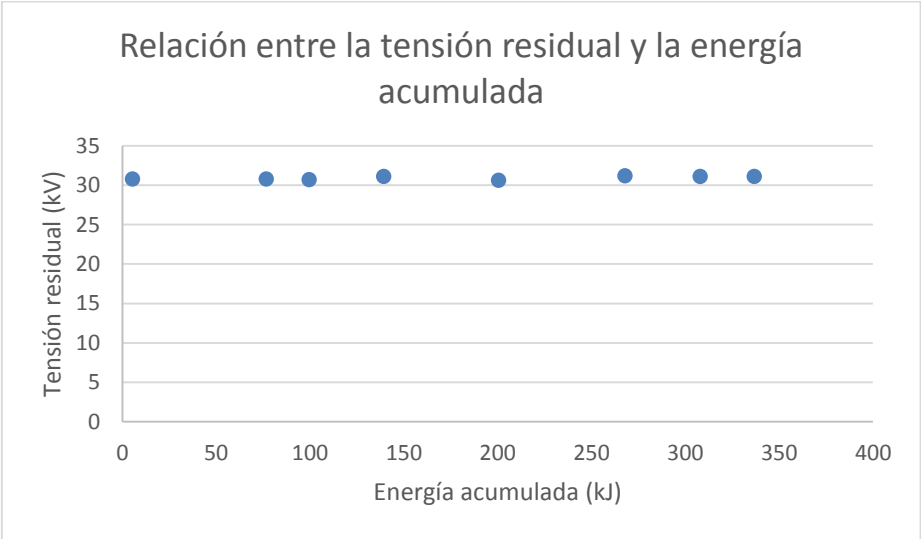

Figura 27. *Relación para la muestra 2*

5.3.3 Muestra 3

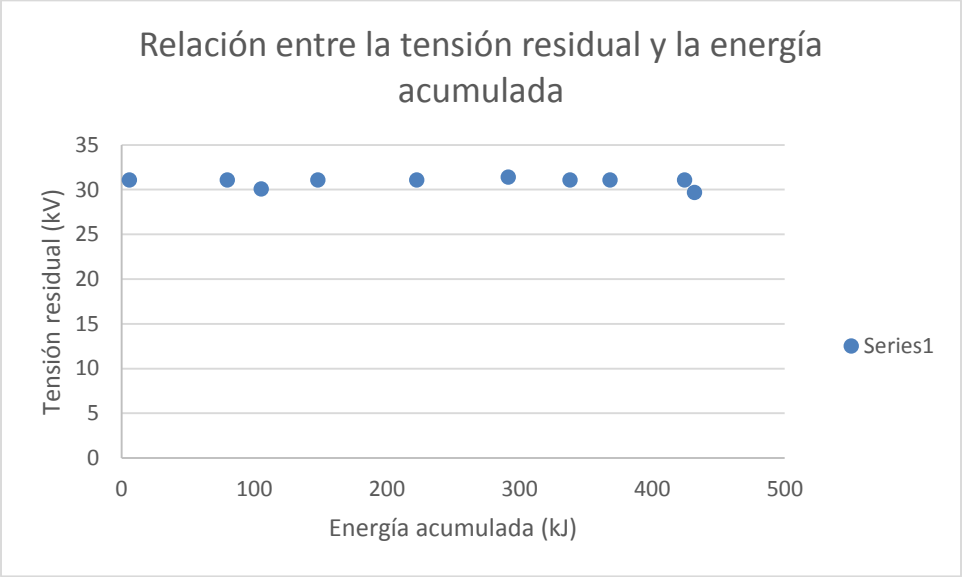

Figura 28. *Relación para la muestra 3*

5.3.4 Muestra 4

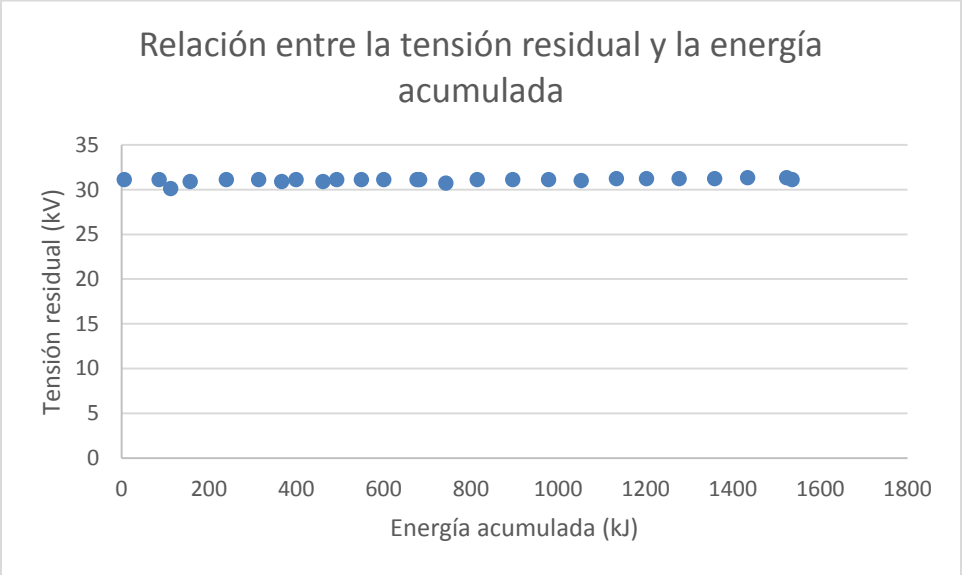

Figura 29. *Relación para la muestra 4*

5.3.5 Muestra 5

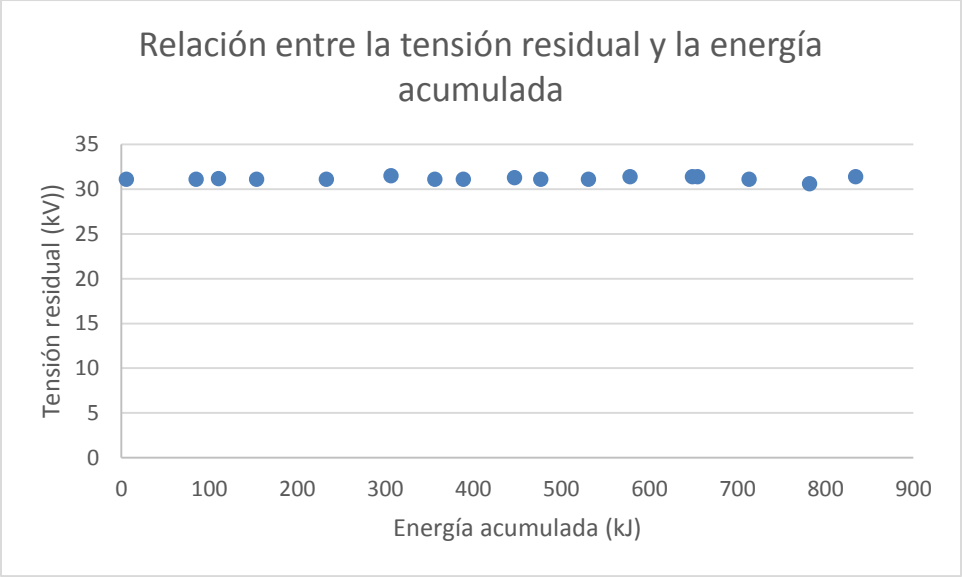

Figura 30. *Relación para la muestra 5*

Se observa una clara tendencia por parte de la tensión residual a no cambiar su valor a medida que se la energía acumulada aplicada al descargador va aumentado para las 5 muestras y se puede inferir que la tensión residual durante los ensayos no depende en ningún momento de la energía acumulada aplicada al descargador.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Se diseñaron e implementaron con éxito los circuitos eléctricos y sistemas de medición necesarios para realizar con toda solvencia los ensayos necesarios para medir las variables estudiadas durante el proyecto. Se considera sobre todo que con los sistemas de medida implementados se obtuvieron representaciones precisas de las variables medidas (corriente de fuga, tensión A.C., tensión residual y corriente de impulso) por ejemplo para la onda de corriente de fuga en la cual se encuentran valores del orden de los micro amperios se pudo obtener una onda con ruido despreciable.

- Se puede concluir que la corriente de fuga resistiva aumenta a medida que el descargador se ve sometido a más descargas atmosféricas. Para las 5 muestras ensayadas la variación es de aproximadamente 0,062 uA/kJ. Si cada onda tipo rayo estandarizada tiene una energía aproximada 5,3 kJ se necesitarían 3 descargas para aumentar en 1 uA la corriente de fuga. Esto corrobora lo estudiado por otros autores como Ibáñez [12] quién encontró una tendencia al aumento de la corriente resistiva a medida que implementaba su método de envejecimiento por temperatura.

- La corriente absorbida por el descargador es muy importante a la hora de determinar su envejecimiento a partir del cálculo de la energía acumulada. Esto se ve reflejado por el hecho de que los descargadores no pudieron ser probados con impulsos de corriente tipo maniobra, al haber fallado después de aplicarles una energía mucho menor a la esperada (menos de 1 MJ para cuatro muestras) comparada con la aplicada por Ramos y Torres [12] la cual fue de 2,03 MJ a unos descargadores de las mismas especificaciones. La diferencia entre la energía aplicada por Ramos y Torres y el proyecto acá descrito es que Ramos y Torres aplicaron la mitad de la corriente nominal del descargador 5 kA, mientras que en este proyecto se aplicó la corriente nominal 10 kA. Por todo lo anterior se puede inferir que el envejecimiento del descargador se ve condicionado también por el valor de la corriente asociada a la descarga atmosférica y la temperatura que aparece sobre el descargador a causa de la misma.

- El comportamiento de la tensión residual es prácticamente independiente de la energía acumulada puesto a que se mantuvo prácticamente constante durante todo el tiempo que duraron los ensayos. Este comportamiento es muy bueno en el mundo práctico en donde los descargadores son utilizados como protección contra sobretensiones puesto que aseguraría que aunque se estuviese aproximando al final de su vida útil el equipo al que se encuentran protegiendo siempre va a ver la misma tensión al momento de aparecer una falla por sobretensión.

.

6.2 Recomendaciones

Para estudios futuros se recomienda proponer otro método para estimar el valor de la capacitancia.

Realizar un estudio aplicado a un mayor número de muestras en que además de las variables tenidas en cuenta en este proyecto pongan especial atención a los cambios de temperatura que aparecen sobre el descargador antes y después de aplicarse el impulso de corriente.

Se recomienda que se realice un estudio similar pero con varios niveles de corriente, desde uno o kiloamperios hasta una corriente de impulso superior a 10 kA para encontrar la relación con la magnitud de la corriente de impulso.

Por último se podría realizar un análisis del comportamiento del tercer armónico durante el envejecimiento de los descargadores, puesto que se pudieron medir algunos cambios en el THD durante la realización de este proyecto.

A. Anexo: Corriente de fuga medida durante los ensayos

Corriente muestra 1

A continuación se muestran las corrientes medidas para la muestra 1

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
19-ago	12064,886	104,69	-11807,456	-114,26
22-ago	11807,456	136,64	-11807,456	-114,93
27-ago	12150,696	118,09	-11807,456	-133,41
28-ago	12236,506	137,88	-11996,238	-116,18
29-ago	12064,886	148,73	-11807,456	-122,56
30-ago	12408,126	139,8	-11652,998	-130,22
01-sep	12322,316	137,88	-11550,026	-134,69
05-sep	11481,378	109,16	-11120,976	-162,14
B	11807,456	151,93	-11550,026	-146,82
08-sep	12064,886	148,1	-11807,456	-130,86
sep-09	12236,506	132,14	-11979,076	-128,95
sep-10	12236,506	132,78	-11893,266	-150,65
sep-11	12322,316	169,8	-11464,216	-150,65

***Tabla 11**. Corriente de fuga resistiva medida para la muestra 1*

El 5 de septiembre se realizaron dos medidas la B corresponde a una medida después de desconectar la muestra 3.

Corriente muestra 2

A continuación se muestran las corrientes medidas para la muestra 2

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
19-ago	12185,02	105,27	-11893,266	-103,36
22-ago	11979,076	135,33	-11979,076	-131,5
27-ago	12082,048	118,09	-11807,456	-140,44
28-ago	12322,316	125,75	-11979,076	-127,67
29-ago	12236,506	112,35	-11893,266	-161,5
30-ago	12339,478	140,44	-11550,026	-137,88
01-sep	12322,316	146,18	-11635,836	-127,03

***Tabla 12**. Corriente de fuga resistiva medida para la muestra 2*

Corriente Muestra 3

A continuación se muestran las corrientes medidas para la muestra 3

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
19-ago	12150,696	125,35	-11721,646	-104,24
22-ago	11807,456	121,92	-11807,456	-127,03
27-ago	12082,048	124,48	-11807,456	-134,05
28-ago	12150,696	137,24	-11807,456	-143,63

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
29-ago	12236,506	134,05	-11979,076	-134,05
30-ago	12322,316	123,2	-11550,026	-133,41
01-sep	12408,126	125,12	-11635,836	-136,61
05-sep	11851,0475	4883,35	-11028,3012	-2355,5

***Tabla 13**. Corriente de fuga resistiva medida para la muestra 3*

Corriente muestra 4

A continuación se muestran las corrientes medidas para la muestra 4

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
19-ago	12064,886	110,43	-11721,646	-107,24
22-ago	11893,266	132,14	-11893,266	-127,67
27-ago	12236,506	145,54	-12064,886	-121,29
28-ago	12150,696	-129,58	-11807,456	-149,37
29-ago	12322,316	150,01	-12064,886	-124,48
30-ago	12408,126	128,31	-11635,836	-130,86
01-sep	12408,126	147,46	-11635,836	-135,97
05-sep	11465,9322	146,82	-10940,775	-154,48
B	11979,076	166,61	-11738,808	-147,46
08-sep	12064,886	160,23	-11807,456	-148,73
sep-09	12236,506	145,54	-11893,266	-153,2
sep-10	12339,478	157,67	-12064,886	-149,37
sep-11	12322,316	160,86	-11481,378	-143,63
24-sep	12236,506	160,86	-11979,076	-165,33
25-sep	12064,886	183,21	-11824,618	-160,23
26-sep	12322,316	179,38	-12064,886	-162,14
27-sep	12167,858	169,16	-11893,266	-148,1
30-sep	12236,506	184,48	-11893,266	-178,74
02-oct	12064,886	194,06	-11893,266	-159,59
03-oct	11979,076	206,19	-11738,808	-186,4
08-oct	12236,506	190,23	-11996,238	-190,87
09-oct	12408,126	176,18	-12064,886	-180,65
10-oct	12064,886	222,14	-11807,456	-197,89
11-oct	12064,886	208,74	-11807,456	-170,44

***Tabla 14**. Corriente de fuga resistiva medida para la muestra 4*

El 5 de septiembre se realizaron dos medidas la B corresponde a una medida después de desconectar la muestra 3.

Corriente muestra 5

A continuación se muestran las corrientes medidas para la muestra 4

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
19-ago	12064,886	120,02	-11721,646	-111,76
22-ago	11807,456	149,87	-11893,266	-136,53

Fecha	Vmax ciclo + (V)	I en max ciclo + (µA)	Vmax ciclo – (V)	I en max- ciclo –(µA)
27-ago	12236,506	123,19	-11979,076	-128,27
28-ago	12236,506	154,95	-11893,266	-136,53
29-ago	12322,316	128,91	-11979,076	-148,6
30-ago	12253,668	119,38	-11464,216	-141,61
01-sep	12408,126	149,87	-11721,646	-118,11
05-sep	11395,568	133,35	-11206,786	-154,95
B	11807,456	173,36	-11550,026	-161,93
08-sep	12150,696	156,85	-11893,266	-153,04
sep-09	12236,506	158,12	-11893,266	-153,68
sep-10	12339,478	167,01	-12150,696	-144,79
sep-11	12322,316	151,77	-11464,216	-139,7
24-sep	12064,886	207,65	-11807,456	-172,09
25-sep	12236,506	167,65	-11979,076	-164,47
26-sep	12322,316	193,05	-12064,886	-159,39

Tabla 15*. Corriente de fuga resistiva medida para la muestra 4*

El 5 de septiembre se realizaron dos medidas la B corresponde a una medida después de desconectar la muestra 3.

B. Anexo: Capacitancia calculada

Capacitancia muestra 1

Fecha	C (pF)
19-ago	119,92
22-ago	116,67
27-ago	97,7
28-ago	98,568
29-ago	85,337
30-ago	105,59
01-sep	59,81
05-sep	53,561
B	53,291
08-sep	51,527
sep-09	49,036
sep-10	52,547
sep-11	57,95

***Tabla 16**. Capacitancia calculada para la muestra 1*

Capacitancia muestra 2

Fecha	C (pF)
19-ago	124,02
22-ago	155,85
27-ago	121,41
28-ago	88,312
29-ago	103,16
30-ago	83,211
01-sep	67,696

***Tabla 17**. Capacitancia calculada para la muestra 2*

Capacitancia muestra 3

Fecha	C (pF)
19-ago	101,85
22-ago	120,51
27-ago	101,79
28-ago	99,932
29-ago	87,143
30-ago	98,072
01-sep	49,284
05-sep	76,275

***Tabla 18**.* Capacitancia *calculada para la muestra 3*

Capacitancia muestra 4

Fecha	C (pF)
19-ago	126,91
22-ago	105,14
27-ago	94,513
28-ago	124,53
29-ago	104,39
30-ago	99,188
01-sep	55,202
05-sep	55,148
B	54,415
08-sep	51,33
sep-09	55,455
sep-10	45,973
sep-11	56,334
24-sep	112,65
25-sep	102,04
26-sep	92,359
27-sep	98,32
30-sep	100,06
02-oct	117,69
03-oct	119,17
08-oct	119,92
09-oct	97,948
10-oct	96,243
11-oct	121,7

Tabla 19. Capacitancia *calculada para la muestra 4*

Capacitancia muestra 5

Fecha	C (pF)
19-ago	128,32
22-ago	107,06
27-ago	126,84
28-ago	131,2
29-ago	105,7
30-ago	151,71
01-sep	77,333
05-sep	50,55
B	52,111
08-sep	51,987
sep-09	57,05
sep-10	56,848
sep-11	51,309
24-sep	106,32
25-sep	93,688
26-sep	86,584

Tabla 20. Capacitancia *calculada para la muestra 5*

C. Anexo: Tensión residual medida

Muestra 1

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
19/08/2014	0	39
	29,7	38
26/08/2014	22,1	39
27/08/2014	30,1	39
	30,1	39
28/08/2014	30,1	39
	30,1	38
29/08/2014	40,1	39
	30,3	39
30/08/2014	30,4	39
	30,1	39
01/09/2014	30,4	39
	30,1	39
06/09/2014	30,1	39
08/09/2014	30,1	39
	30,1	39
10/09/2014	30,4	39
	30,1	39
11/09/2014	30,1	39

***Tabla 21**. Tensión residual muestra 1*

Muestra 2

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
21/08/2014	31,1	39,3
	30,4	38
26/08/2014	30,7	39,3
27/08/2014	31,1	39,3
	31,1	39,3
28/08/2014	30,7	39,3
	30,4	38
29/08/2014	31,1	39,3
	31,2	39,3
30/08/2014	31,1	39,3
	31,1	39,3
01/09/2014	31,1	39,3

***Tabla 22**. Tensión residual muestra 2*

Muestra 3

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
21/08/2014	31,1	39,5
	30,7	38
26/08/2014	30,1	39,5
27/08/2014	31,1	39,5
	31,1	39,5
28/08/2014	31,1	39,5
	30,4	38
29/08/2014	31,1	39,5
	31,6	39,5
30/08/2014	31,1	39,5
	31,1	39,3
01/09/2014	31,1	39,5
04/09/2014	31,1	39,5
	29,1	35
06/09/2014	29,7	39,5

***Tabla 23**. Tensión residual muestra 3*

Muestra 4

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
21/08/2014	31,1	39,5
	30,4	38
26/08/2014	30,1	39,5
27/08/2014	30,7	39,5
	31,1	39,5
28/08/2014	31,1	39,5
	30,4	38
29/08/2014	31,1	39,5
	31,2	39,5
30/08/2014	31,1	39,5
	30,7	39,5
01/09/2014	31,1	39,5
04/09/2014	30,7	39,5
	31,1	39,5
06/09/2014	31,1	39,5
08/09/2014	31,1	39,5
	31,1	39,5
09/09/2014	31,1	39,5
10/09/2014	31,1	39,5
	31,1	39,5
11/09/2014	31,1	39,5
24/09/2014	30,7	39,5
	30,7	39,5
25/09/2014	32,7	40
	31,1	39,7
26/09/2014	31,4	39,7
	31,1	39,7
27/09/2014	31,4	39,7
	31,1	39,7
01/10/2014	31	39,7
	31,2	39,7
02/10/2014	31,2	39,7
	31,2	39,7

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
03/10/2014	31,2	39,7
	31,2	39,7
08/10/2014	31,2	39,7
	31,2	39,7
09/10/2014	31,2	39,7
10/10/2014	31,2	39,9
	31,4	39,9
11/10/2014	31,4	39,9
	31,1	39,9
15/10/2014	31,1	39,9

***Tabla 24**. Tensión residual muestra 4*

Muestra 5

Fecha	Tensión residual (kV)	Tensión de carga (kV)
21/08/2014	31,1	39,7
	30,4	38
26/08/2014	31,2	39,5
27/08/2014	31,1	39,7
	31,1	39,7
28/08/2014	31,1	39,7
	30,4	38
29/08/2014	31,4	39,7
	31,6	39,7
30/08/2014	31,1	39,7
	31,1	39,7
01/09/2014	31,1	39,7
04/09/2014	31,1	39,7
	31,4	39,7
06/09/2014	31,1	39,7
08/09/2014	31,1	39,7
	31,1	39,7
09/09/2014	31,4	39,7
10/09/2014	31,4	39,7
	31,4	39,7
11/09/2014	31,4	39,7
24/09/2014	31,1	39,7
	31,1	39,7
25/09/2014	30,1	39,7
	31,1	39,7
26/09/2014	31,4	39,7

***Tabla 25**. Tensión residual muestra 5*

D. Anexo: Cálculo de la energía acumulada

Energía acumulada aplicada a la muestra 1

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método para todos los impulsos aplicados:

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
19/08/2014	9,48	22,21	9,9	2,342827	7,50118E-06	0,17398235	30,1	5236,86884
21/08/2014	10,18	22,96	7,2	2,25540275	7,50118E-06	0,12181097	30,1	3666,51008
	9,19	22,48	9,7	2,44613711	7,50118E-06	0,17798455	30,1	5357,33508
	9,35	22,42	10,3	2,39786096	7,50118E-06	0,18526399	30,1	5576,44603
	9,32	22,53	9,7	2,41738197	7,50118E-06	0,17589229	30,1	5294,35788
	10,27	23	11,6	2,23953262	7,50118E-06	0,19487008	30,1	5865,58946
	9,74	22,83	10,2	2,34394251	7,50118E-06	0,1793399	30,1	5398,13085
	9,63	22,48	9,9	2,33437175	7,50118E-06	0,17335445	30,1	5217,96901
	10,24	23,18	9,3	2,26367188	7,50118E-06	0,15791603	30,1	4753,27241
	10,01	22,86	10,9	2,28371628	7,50118E-06	0,18672326	30,1	5620,37026
	9,94	22,65	11,1	2,27867203	7,50118E-06	0,18972938	30,1	5710,85432
	9,52	22,49	9,7	2,36239496	7,50118E-06	0,17189135	30,1	5173,92968
	10,49	22,88	11,7	2,18112488	7,50118E-06	0,19142391	30,1	5761,85964
	10,16	23,01	10,2	2,26476378	7,50118E-06	0,17328177	30,1	5215,78119
	9,25	22,48	9	2,43027027	7,50118E-06	0,16406913	30,1	4938,48074
26/08/2014	9,49	22,37	9,9	2,35721812	7,50118E-06	0,17505106	30,1	5269,03699
	9,55	22,69	9,8	2,37591623	7,50118E-06	0,1746574	30,1	5257,18767
	10,72	23,42	11,4	2,18470149	7,50118E-06	0,18682145	30,1	5623,32569
	10,42	23,25	10,7	2,23128599	7,50118E-06	0,17908895	30,1	5390,57753
27/08/2014	9,44	22,43	9,9	2,37605932	7,50118E-06	0,17645024	30,1	5311,1523
	9,74	22,49	9,9	2,30903491	7,50118E-06	0,17147289	30,1	5161,33412
	9,35	22,66	9,8	2,42352941	7,50118E-06	0,17815752	30,1	5362,54132
	9,4	22,65	9,8	2,40957447	7,50118E-06	0,17713167	30,1	5331,66323
	9,38	22,71	9,8	2,42110874	7,50118E-06	0,17797957	30,1	5357,1851
	9,5	22,74	9,8	2,39368421	7,50118E-06	0,17596355	30,1	5296,50287
	9,67	22,43	9,9	2,31954498	7,50118E-06	0,17225339	30,1	5184,82706
28/08/2014	9,58	22,4	9,9	2,33820459	7,50118E-06	0,17363909	30,1	5226,53647
	10,68	23,16	11,5	2,16853933	7,50118E-06	0,18706603	30,1	5630,68748
	9,37	22,58	9	2,40981857	7,50118E-06	0,16268842	30,1	4896,92144
	9,49	22,71	9,3	2,39304531	7,50118E-06	0,16694125	30,1	5024,93156
	10,22	22,98	10,7	2,24853229	7,50118E-06	0,18047319	30,1	5432,24298
	10,16	22,84	11,2	2,2480315	7,50118E-06	0,18886444	30,1	5684,8197
	9,93	22,79	10,3	2,29506546	7,50118E-06	0,17732178	30,1	5337,38563
	10,24	22,82	10,8	2,22851563	7,50118E-06	0,18053825	30,1	5434,20127
	9,91	22,89	10,2	2,30978809	7,50118E-06	0,17672667	30,1	5319,47278
	10,03	22,85	10,2	2,2781655	7,50118E-06	0,17430716	30,1	5246,64553
	9,97	22,82	10,2	2,2888666	7,50118E-06	0,17512592	30,1	5271,2903
	9,53	22,75	9	2,38719832	7,50118E-06	0,16116131	30,1	4850,9555
	9,4	22,74	9,1	2,41914894	7,50118E-06	0,16513297	30,3	5003,5289
29/08/2014	9,9	23,51	9,3	2,37474747	7,50118E-06	0,16566477	30,3	5019,64261
	9,94	22,6	11,1	2,27364185	7,50118E-06	0,18931055	30,3	5736,10969
	9,45	22,63	9,7	2,39470899	7,50118E-06	0,17424257	30,3	5279,54983
	9,43	22,69	9	2,40615058	7,50118E-06	0,16244079	30,3	4921,95599
	10,55	24,18	9,3	2,29194313	7,50118E-06	0,15988826	30,3	4844,61422
	9,43	22,87	9,1	2,4252386	7,50118E-06	0,16554865	30,3	5016,12416
	9,81	22,73	9,3	2,31702345	7,50118E-06	0,16163789	30,3	4897,62795
	10,03	22,84	10,7	2,27716849	7,50118E-06	0,18277161	30,3	5537,97968

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	9,4	22,69	9	2,41382979	7,50118E-06	0,16295922	30,3	4937,66436
	10,29	22,97	10,3	2,23226433	7,50118E-06	0,17246963	30,3	5225,82977
	9,52	22,81	9,6	2,3960084	7,50118E-06	0,17253983	30,3	5227,95672
	9,41	22,64	9,8	2,40595112	7,50118E-06	0,17686531	30,3	5359,0189
30/08/2014	9,41	22,43	10,3	2,38363443	7,50118E-06	0,18416481	30,4	5598,61036
	9,38	22,78	10,2	2,42857143	7,50118E-06	0,18581503	30,4	5648,77689
	9,49	22,66	9,8	2,38777661	7,50118E-06	0,17552927	30,4	5336,0899
	9,67	22,58	9,9	2,33505688	7,50118E-06	0,17340533	30,4	5271,52205
	9,3	22,42	10,3	2,41075269	7,50118E-06	0,18626003	30,4	5662,30493
	10,26	22,79	11,1	2,22124756	7,50118E-06	0,18494804	30,4	5622,42036
	9,3	22,6	9	2,43010753	7,50118E-06	0,16405814	30,1	4938,15004
	9,42	22,49	10	2,38747346	7,50118E-06	0,17908876	30,1	5390,57178
01/09/2014	9,27	22,16	10,6	2,39050701	7,50118E-06	0,19007529	30,4	5778,28896
	10,13	22,71	12,5	2,24185587	7,50118E-06	0,21020715	30,4	6390,29741
	10,25	22,82	10,3	2,22634146	7,50118E-06	0,17201202	30,4	5229,16527
	9,67	22,51	10,3	2,32781799	7,50118E-06	0,17985231	30,4	5467,51036
	9,61	22,86	9,1	2,37877211	7,50118E-06	0,16237681	30,4	4936,25515
04/09/2014	9,28	22,84	8,2	2,4612069	7,50118E-06	0,15138811	30,4	4602,19848
	9,56	22,73	9,1	2,37761506	7,50118E-06	0,16229783	30,4	4933,85412
	9,39	22,74	9,3	2,42172524	7,50118E-06	0,16894199	30,4	5135,83645
	9,66	22,75	9,3	2,35507246	7,50118E-06	0,16429222	30,4	4994,48361
	9,73	22,54	9,9	2,31654676	7,50118E-06	0,17203074	30,4	5229,73442
	9,39	22,64	9,7	2,41107561	7,50118E-06	0,17543343	30,4	5333,17621
	9,51	22,74	9,8	2,39116719	7,50118E-06	0,17577852	30,4	5343,66702
	9,51	22,74	9,8	2,39116719	7,50118E-06	0,17577852	30,4	5343,66702
	9,35	22,57	9,7	2,41390374	7,50118E-06	0,17563921	30,4	5339,43189
	9,6	22,46	9,9	2,33958333	7,50118E-06	0,17374147	30,1	5229,61833
06/09/2014	9,35	22,56	9,8	2,41283422	7,50118E-06	0,1773713	30,1	5338,87609
	9,39	22,49	9,7	2,39510117	7,50118E-06	0,1742711	30,1	5245,56023
	9,59	22,79	9,8	2,37643379	7,50118E-06	0,17469544	30,1	5258,33287
	9,35	22,6	9,7	2,4171123	7,50118E-06	0,17587267	30,1	5293,76726
	9,83	22,72	9,8	2,31129196	7,50118E-06	0,16990676	30,1	5114,19362
08/09/2014	9,8	22,54	9,9	2,3	7,50118E-06	0,17080195	30,1	5141,13859
	9,79	22,66	9,9	2,31460674	7,50118E-06	0,17188667	30,1	5173,78872
	9,29	22,55	9,7	2,42734123	7,50118E-06	0,17661694	30,1	5316,16984
	9,41	22,63	9,7	2,40488842	7,50118E-06	0,17498324	30,1	5266,99548
	9,39	22,68	9,7	2,41533546	7,50118E-06	0,17574338	30,1	5289,87577
	9,65	22,67	9,9	2,3492228	7,50118E-06	0,17445732	30,1	5251,16521
	9,65	22,67	9,9	2,3492228	7,50118E-06	0,17445732	30,1	5251,16521
	9,53	22,63	9,7	2,37460651	7,50118E-06	0,17277988	30,1	5200,67445
	9,44	22,64	9,8	2,39830508	7,50118E-06	0,17630324	30,1	5306,72747
09/09/2014	9,33	22,76	9,6	2,43944266	7,50118E-06	0,17566759	30,1	5287,59433
	9,44	22,77	9,8	2,41207627	7,50118E-06	0,17731558	30,1	5337,19896
	9,53	22,7	9,7	2,38195173	7,50118E-06	0,17331433	30,1	5216,76138
	10,13	22,89	11,1	2,25962488	7,50118E-06	0,18814345	30,1	5663,11795
	9,49	22,7	9	2,39199157	7,50118E-06	0,16148491	30,1	4860,69572
	9,42	22,58	9,7	2,3970276	7,50118E-06	0,17441127	30,1	5249,77935
	9,42	22,58	9,7	2,3970276	7,50118E-06	0,17441127	30,1	5249,77935
	9,45	22,56	9,7	2,38730159	7,50118E-06	0,17370359	30,1	5228,4782
10/09/2014	9,35	22,62	9,7	2,41925134	7,50118E-06	0,17602831	30,4	5351,2605
	9,48	22,83	9,7	2,40822785	7,50118E-06	0,17522622	30,4	5326,8771
	9,41	22,6	9,7	2,40170032	7,50118E-06	0,17475127	30,4	5312,43854
	9,45	22,68	9,7	2,4	7,50118E-06	0,17462755	30,4	5308,67752
	9,55	22,69	9,7	2,37591623	7,50118E-06	0,17287518	30,4	5255,40545
	9,42	22,58	9,7	2,3970276	7,50118E-06	0,17441127	30,4	5302,10273
	9,44	22,68	9,7	2,40254237	7,50118E-06	0,17481254	30,4	5314,30112
	9,45	22,61	9,7	2,39259259	7,50118E-06	0,17408858	30,4	5292,29272
	9,5	22,64	9,7	2,38315789	7,50118E-06	0,17340209	30,4	5271,42365
	9,58	22,64	9,7	2,36325678	7,50118E-06	0,17195406	30,4	5227,40341
	9,43	22,63	9,7	2,39978791	7,50118E-06	0,17461212	30,4	5308,20839

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	9,5	22,72	9,8	2,39157895	7,50118E-06	0,17580879	30,1	5291,84455
11/09/2014	9,36	22,57	9,6	2,41132479	7,50118E-06	0,17364278	30,1	5226,64766
							Energía total (J)	**574783,133**

Tabla 25. *Energía acumulada aplicada a la muestra 1*

Energía acumulada aplicada a la muestra 2

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método para todos los impulsos aplicados:

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
19/08/2014	9,63	22,25	9,6	2,3105	0,0000	0,1761	30,7000	5406,8643
21/08/2014	9,83	23,12	9,9	2,3520	0,0000	0,1849	30,7000	5675,9690
	9,78	23,11	9,7	2,3630	0,0000	0,1820	30,7000	5587,3172
	9,63	23,13	9,7	2,4019	0,0000	0,1850	30,7000	5679,2578
	9,59	23,27	9,6	2,4265	0,0000	0,1850	30,7000	5678,3154
	9,8	23,43	9,3	2,3908	0,0000	0,1765	30,7000	5420,0047
	9,71	23,26	9,4	2,3955	0,0000	0,1788	30,7000	5488,9445
	9,6	23,14	9,4	2,4104	0,0000	0,1799	30,7000	5523,1963
	9,86	23,38	9,3	2,3712	0,0000	0,1751	30,7000	5375,5270
	9,77	23,48	8,7	2,4033	0,0000	0,1660	30,7000	5096,7495
	9,89	23,44	9,3	2,3701	0,0000	0,1750	30,7000	5372,9744
	10,1	23,4	9,3	2,3168	0,0000	0,1711	30,7000	5252,2808
	10,14	23,36	10,7	2,3037	0,0000	0,1957	30,7000	6008,8196
	9,8	23,14	8,8	2,3612	0,0000	0,1650	30,7000	5065,1284
26/08/2014	9,64	23,15	9,8	2,4015	0,0000	0,1869	30,7000	5736,8110
	9,83	23,17	9,7	2,3571	0,0000	0,1815	30,7000	5573,3300
	9,78	23,22	9,4	2,3742	0,0000	0,1772	30,7000	5440,2859
	10,84	23,56	11,4	2,1734	0,0000	0,1967	30,7000	6039,7834
27/08/2014	9,69	23,18	9,8	2,3922	0,0000	0,1861	31,1000	5789,0626
	9,83	23,14	9,7	2,3540	0,0000	0,1813	31,1000	5638,6364
	10,08	22,91	9,6	2,2728	0,0000	0,1732	31,1000	5388,0090
	9,98	23,25	9,7	2,3297	0,0000	0,1794	31,1000	5580,2887
	9,91	23,24	9,7	2,3451	0,0000	0,1806	31,1000	5617,2884
	10,51	23,28	11,1	2,2150	0,0000	0,1952	31,1000	6071,4966
	9,64	23,2	9,7	2,4066	0,0000	0,1854	31,1000	5764,6800
28/08/2014	9,67	23,09	9,8	2,3878	0,0000	0,1858	30,7000	5704,1908
	9,66	23,16	9,7	2,3975	0,0000	0,1847	30,7000	5668,9636
	9,99	23,2	9,7	2,3223	0,0000	0,1789	30,7000	5491,1681
	10,06	23,58	9,6	2,3439	0,0000	0,1787	30,7000	5485,1380
	10,07	22,95	11,1	2,2790	0,0000	0,2009	30,7000	6166,6131
	10,29	23,32	9,9	2,2663	0,0000	0,1781	30,7000	5469,1379
	10,39	23,46	10	2,2579	0,0000	0,1793	30,7000	5504,0575
	10,3	23,4	9,9	2,2718	0,0000	0,1786	30,7000	5482,5719
	10,28	22,99	10,9	2,2364	0,0000	0,1936	30,7000	5942,1397
	9,77	23,63	8,7	2,4186	0,0000	0,1671	30,7000	5129,3096
	9,79	23,36	8,9	2,3861	0,0000	0,1686	30,4000	5126,0858
29/08/2014	9,63	23,17	9,8	2,4060	0,0000	0,1872	31,1000	5822,6186
	9,9	23,23	9,7	2,3465	0,0000	0,1807	31,1000	5620,5429
	9,83	23,47	9,6	2,3876	0,0000	0,1820	31,1000	5660,0898
	9,75	23,5	9,6	2,4103	0,0000	0,1837	31,1000	5713,8258
	9,82	23,41	9,4	2,3839	0,0000	0,1779	31,1000	5533,6323
	9,84	23,58	9,6	2,3963	0,0000	0,1827	31,1000	5680,8387
	9,86	23,58	8,9	2,3915	0,0000	0,1690	31,1000	5255,9281
	10,32	23,27	11,1	2,2548	0,0000	0,1987	31,1000	6180,6220
	9,94	23,37	9	2,3511	0,0000	0,1680	31,1000	5225,2534

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,07	23,65	8,9	2,3486	0,0000	0,1660	31,1000	5161,5983
	9,72	23,49	9,6	2,4167	0,0000	0,1842	31,1000	5729,0222
	9,78	23,23	9,7	2,3753	0,0000	0,1829	31,2000	5707,8009
30/08/2014	9,73	23,25	9,8	2,3895	0,0000	0,1859	31,1000	5782,6740
	9,97	23,32	9,7	2,3390	0,0000	0,1802	31,1000	5602,7035
	9,77	23,46	9,8	2,4012	0,0000	0,1868	31,1000	5811,0156
	10,11	23,23	9,9	2,2977	0,0000	0,1806	31,1000	5617,2761
	10,07	22,78	11,2	2,2622	0,0000	0,2012	31,1000	6256,5481
	9,71	23,34	9	2,4037	0,0000	0,1718	31,1000	5342,1570
	9,59	23,08	9,7	2,4067	0,0000	0,1854	31,1000	5764,7629
01/09/2014	9,71	22,92	10,1	2,3605	0,0000	0,1893	31,1000	5887,2066
	9,77	23,11	9,7	2,3654	0,0000	0,1822	31,1000	5665,9095
	9,79	23,48	9,6	2,3984	0,0000	0,1828	31,1000	5685,6373
	9,86	23,43	10	2,3763	0,0000	0,1887	31,1000	5867,9701
	9,97	23,24	9,7	2,3310	0,0000	0,1795	31,1000	5583,4833
							Energía Total (J)	**336599,5138**

Tabla 26. *Energía acumulada aplicada a la muestra 2*

Energía acumulada aplicada a la muestra 3

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método para todos los impulsos aplicados:

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
19/08/2014	9,97	23,88	9,6	2,39518556	8,4301E-06	0,19383899	30,1	5834,55349
21/08/2014	9,95	23,73	9,7	2,38492462	8,4301E-06	0,19501909	30,1	5870,0746
	9,97	23,89	9,6	2,39618857	8,4301E-06	0,19392016	30,1	5836,99677
	10,41	23,39	11,2	2,246878	8,4301E-06	0,21214278	30,1	6385,49756
	9,94	24,13	8,4	2,42756539	8,4301E-06	0,17190201	30,1	5174,25052
	10	23,31	10,7	2,331	8,4301E-06	0,21026006	30,1	6328,82781
	11,03	23,91	11,4	2,16772439	8,4301E-06	0,20832416	30,1	6270,55734
	10,57	23,53	9,9	2,22611164	8,4301E-06	0,18578595	30,1	5592,15709
	10,33	24,16	8,4	2,33881897	8,4301E-06	0,16561765	30,1	4985,09137
	12,05	25,01	9,3	2,07551867	8,4301E-06	0,16271977	30,1	4897,86513
	10,71	23,52	9,9	2,19607843	8,4301E-06	0,18327945	30,1	5516,71146
	10,61	23,42	11,4	2,20735156	8,4301E-06	0,21213244	30,1	6385,1865
	10,4	23,39	9,9	2,24903846	8,4301E-06	0,18769937	30,1	5649,75097
	10,18	24,05	8,4	2,36247544	8,4301E-06	0,16729283	30,1	5035,51411
26/08/2014	9,97	23,82	9,6	2,3891675	8,4301E-06	0,19335195	30,1	5819,89381
	10,19	24,02	9,3	2,35721295	8,4301E-06	0,18480448	30,1	5562,61492
	9,88	24,14	14,3	2,44331984	8,4301E-06	0,29454191	30,1	8865,71134
	9,88	24,25	8,4	2,45445344	8,4301E-06	0,17380602	30,1	5231,56123
27/08/2014	9,95	23,93	9,6	2,40502513	8,4301E-06	0,19463529	31,1	6053,15748
	10,94	24,01	10,9	2,19469835	8,4301E-06	0,20166571	31,1	6271,80371
	10,17	24,13	9,3	2,3726647	8,4301E-06	0,18601589	31,1	5785,09426
	9,99	24,18	9,3	2,42042042	8,4301E-06	0,18975992	31,1	5901,53353
	10,23	23,34	11,1	2,28152493	8,4301E-06	0,21349068	31,1	6639,56029
	10,12	23,08	10,5	2,28063241	8,4301E-06	0,20187165	31,1	6278,20819
	10,2	23,94	9,6	2,34705882	8,4301E-06	0,18994416	31,1	5907,26331
28/08/2014	9,96	23,87	9,6	2,39658635	8,4301E-06	0,19395235	31,1	6031,91809
	10,13	23,84	9,4	2,35340573	8,4301E-06	0,18648993	31,1	5799,83691
	10,55	23,45	11,8	2,22274882	8,4301E-06	0,22110732	31,1	6876,43776
	10,39	23,5	10	2,26179018	8,4301E-06	0,1906703	31,1	5929,8463
	11,8	24,7	9,6	2,09322034	8,4301E-06	0,16940137	31,1	5268,38253
	10,02	24,27	8,4	2,42215569	8,4301E-06	0,17151894	31,1	5334,23891
	10,53	23,77	10,2	2,25735992	8,4301E-06	0,19410276	31,1	6036,5959
	11,5	24,41	10,7	2,1226087	8,4301E-06	0,19146282	31,1	5954,49368

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	12,08	25,59	8,9	2,11837748	8,4301E-06	0,15893666	31,1	4942,93023
	11,61	24,62	9,4	2,1205857	8,4301E-06	0,16804067	31,1	5226,06497
	11,34	24,11	10,2	2,12610229	8,4301E-06	0,18281636	31,1	5685,58883
	10,37	23,6	10	2,27579556	8,4301E-06	0,19185096	31,1	5966,56489
	9,82	24,11	8,4	2,45519348	8,4301E-06	0,17385843	30,4	5285,29613
29/08/2014	9,9	23,8	9,6	2,4040404	8,4301E-06	0,1945556	31,1	6050,67906
	11,73	24,76	10,3	2,11082694	8,4301E-06	0,18328233	31,1	5700,08031
	10	24,15	9,3	2,415	8,4301E-06	0,18933496	31,1	5888,31731
	10,76	23,64	11,1	2,19702602	8,4301E-06	0,20558381	31,1	6393,65652
	10,16	24,23	8,7	2,38484252	8,4301E-06	0,17490801	31,1	5439,63902
	10,5	23,22	10,8	2,21142857	8,4301E-06	0,20133877	31,1	6261,63565
	10,26	24,09	8,5	2,34795322	8,4301E-06	0,16824381	31,1	5232,38253
	11,34	24,61	10,2	2,170194	8,4301E-06	0,18660766	31,1	5803,49818
	11,74	24,41	10,2	2,07921635	8,4301E-06	0,1787848	31,1	5560,2072
	10,45	24,19	8,9	2,31483254	8,4301E-06	0,1736762	31,1	5401,32993
	10,21	23,99	9	2,3496572	8,4301E-06	0,17826979	31,1	5544,19041
	10,14	23,17	9,4	2,28500986	8,4301E-06	0,18107007	31,6	5721,81416
30/08/2014	10,06	23,93	9,6	2,37872763	8,4301E-06	0,19250707	31,1	5986,96987
	10,13	24,1	9,3	2,37907206	8,4301E-06	0,18651823	31,1	5800,71686
	10,01	24,13	9,3	2,41058941	8,4301E-06	0,18898917	31,1	5877,5633
	10,29	24,22	9,3	2,3537415	8,4301E-06	0,18453232	31,1	5738,9552
	10,14	23,8	9,4	2,34714004	8,4301E-06	0,18599342	31,1	5784,39547
	9,93	24,02	9,3	2,41893253	8,4301E-06	0,18964327	31,1	5897,90571
	10,04	23,88	9,4	2,37848606	8,4301E-06	0,18847736	31,1	5861,64598
	10,05	23,85	9,3	2,37313433	8,4301E-06	0,18605271	31,1	5786,23932
01/09/2014	9,88	23,73	9,3	2,40182186	8,4301E-06	0,1883018	31,1	5856,18603
	10,91	23,66	11,1	2,16865261	8,4301E-06	0,20292881	31,1	6311,08589
	10,27	23,34	10	2,27263875	8,4301E-06	0,19158484	31,1	5958,28853
	10,42	23,5	10	2,25527831	8,4301E-06	0,19012134	31,1	5912,7738
	10,39	23,52	10	2,26371511	8,4301E-06	0,19083257	31,1	5934,89298
04/09/2014	9,92	23,94	9,6	2,41330645	8,4301E-06	0,19530548	31,1	6074,00058
	10,27	24,21	8,4	2,35735151	8,4301E-06	0,16692999	31,1	5191,52266
	10,1	23,92	9,7	2,36831683	8,4301E-06	0,19366104	31,1	6022,85847
	9,88	23,96	9	2,42510121	8,4301E-06	0,18399377	31,1	5722,20616
	10,22	24,02	9,4	2,35029354	8,4301E-06	0,18624332	31,1	5792,1671
	10,57	24,31	9,3	2,29990539	8,4301E-06	0,18031159	31,1	5607,69058
	10,24	24,07	9,3	2,35058594	8,4301E-06	0,18428493	31,1	5731,26123
	10,24	24,07	9,3	2,35058594	8,4301E-06	0,18428493	31,1	5731,26123
	10,05	24,19	9,3	2,40696517	8,4301E-06	0,18870503	31,1	5868,72659
	13,99	29,58	8,6	2,11436741	8,4301E-06	0,15328852	29,1	4460,69602
06/09/2014	11,02	24,83	13,3	2,25317604	8,4301E-06	0,25262568	29,7	7502,98275
							Energía Total (J)	**431828,054**

Tabla 27. *Energía acumulada aplicada a la muestra 3*

Energía acumulada aplicada a la muestra 4

A continuación se muestran los resultados obtenidos al aplicar el método para todos los impulsos aplicados:

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
19/08/2014	10,3200	24,2200	9,4000	2,3469	0,0000	0,1954	30,1000	5882,4605
21/08/2014	10,4600	24,2200	9,9000	2,3155	0,0000	0,2031	30,1000	6112,4366
	10,1900	24,2500	9,7000	2,3798	0,0000	0,2045	30,1000	6155,2545
	10,5300	23,5000	11,2000	2,2317	0,0000	0,2214	30,1000	6664,9092
	10,2100	23,2900	10,2000	2,2811	0,0000	0,2061	30,1000	6204,1264
	10,4300	23,1200	10,8000	2,2167	0,0000	0,2121	30,1000	6383,5755
	10,2100	23,2600	10,2000	2,2782	0,0000	0,2059	30,1000	6196,1349

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,6600	23,5400	10,2000	2,2083	0,0000	0,1995	30,1000	6006,0113
	10,3300	23,3300	10,2000	2,2585	0,0000	0,2041	30,1000	6142,5869
	10,1900	23,2200	10,2000	2,2787	0,0000	0,2059	30,1000	6197,6197
	10,2500	23,2400	10,7000	2,2673	0,0000	0,2149	30,1000	6468,9346
	10,7400	23,8300	10,0000	2,2188	0,0000	0,1966	30,1000	5916,3857
	10,2800	23,1300	10,2000	2,2500	0,0000	0,2033	30,1000	6119,5489
	10,4200	24,2800	8,8000	2,3301	0,0000	0,1816	30,1000	5467,6456
26/08/2014	10,2100	24,2300	10,6000	2,3732	0,0000	0,2228	30,1000	6707,6479
	10,0200	23,0600	11,2000	2,3014	0,0000	0,2283	30,1000	6872,9997
	11,5100	24,2900	10,9000	2,1103	0,0000	0,2038	30,1000	6133,5994
	10,4400	23,0100	11,1000	2,2040	0,0000	0,2167	30,1000	6523,4272
27/08/2014	10,5700	24,1800	9,9000	2,2876	0,0000	0,2006	30,7000	6159,2113
	10,6700	23,5900	11,4000	2,2109	0,0000	0,2233	30,7000	6854,5188
	10,1300	22,8900	11,1000	2,2596	0,0000	0,2222	30,7000	6821,3122
	10,1200	23,2800	10,2000	2,3004	0,0000	0,2079	30,7000	6381,3305
	10,3400	23,5100	10,2000	2,2737	0,0000	0,2054	30,7000	6307,2619
	10,1900	23,4200	10,2000	2,2983	0,0000	0,2077	30,7000	6375,6061
	10,3300	24,4400	9,8000	2,3659	0,0000	0,2054	31,1000	6387,8921
28/08/2014	10,5300	24,1500	9,9000	2,2934	0,0000	0,2011	31,1000	6255,3926
	10,7500	23,5200	11,2000	2,1879	0,0000	0,2171	31,1000	6751,1459
	10,0300	23,1800	10,2000	2,3111	0,0000	0,2088	31,1000	6494,4636
	10,7600	23,4600	10,8000	2,1803	0,0000	0,2086	31,1000	6487,3915
	10,7500	23,4000	10,8000	2,1767	0,0000	0,2083	31,1000	6476,8190
	10,3700	23,6300	10,2000	2,2787	0,0000	0,2059	31,1000	6403,4755
	10,3700	23,1800	10,8000	2,2353	0,0000	0,2139	31,1000	6651,0321
	10,5600	23,4500	10,2000	2,2206	0,0000	0,2007	31,1000	6240,3610
	10,5500	23,4800	10,2000	2,2256	0,0000	0,2011	31,1000	6254,2670
	10,1700	23,5100	10,0000	2,3117	0,0000	0,2048	31,1000	6368,8686
	10,4900	23,4300	10,2000	2,2336	0,0000	0,2018	31,1000	6276,6453
	11,0000	23,7500	10,2000	2,1591	0,0000	0,1951	31,1000	6067,3873
	10,6300	24,5000	8,9000	2,3048	0,0000	0,1817	30,4000	5524,1649
29/08/2014	10,5600	24,3300	9,9000	2,3040	0,0000	0,2021	31,1000	6284,1132
	10,4600	23,4200	11,4000	2,2390	0,0000	0,2261	31,1000	7032,1912
	10,8400	23,7800	10,2000	2,1937	0,0000	0,1982	31,1000	6164,7200
	10,3400	23,3600	10,2000	2,2592	0,0000	0,2041	31,1000	6348,6749
	10,5600	23,5800	10,2000	2,2330	0,0000	0,2018	31,1000	6274,9558
	10,3500	23,2700	10,3000	2,2483	0,0000	0,2051	31,1000	6380,0469
	10,7400	23,7200	10,5000	2,2086	0,0000	0,2054	31,1000	6388,9622
	11,7600	24,3600	9,9000	2,0714	0,0000	0,1817	31,1000	5649,8351
	11,1900	23,7800	10,2000	2,1251	0,0000	0,1920	31,1000	5971,9003
	10,4200	24,7500	8,7000	2,3752	0,0000	0,1831	31,1000	5693,2119
	11,1600	23,8600	10,2000	2,1380	0,0000	0,1932	31,1000	6008,0983
	10,3900	24,4300	9,8000	2,3513	0,0000	0,2041	31,2000	6368,8177
30/08/2014	10,1700	24,3900	9,8000	2,3982	0,0000	0,2082	31,1000	6475,1158
	10,3500	23,3800	11,2000	2,2589	0,0000	0,2241	31,1000	6970,3212
	10,4800	23,3400	10,6000	2,2271	0,0000	0,2091	31,1000	6503,9329
	10,1600	23,1800	11,4000	2,2815	0,0000	0,2304	31,1000	7165,6434
	11,1500	23,7900	10,2000	2,1336	0,0000	0,1928	31,1000	5995,8445
	10,6200	23,3600	10,8000	2,1996	0,0000	0,2104	31,1000	6544,8951
	10,0800	23,2400	10,2000	2,3056	0,0000	0,2083	31,1000	6478,9761
	10,2400	24,3300	9,8000	2,3760	0,0000	0,2063	30,7000	6332,5238
01/09/2014	10,4500	24,2700	10,0000	2,3225	0,0000	0,2057	31,1000	6398,5873
	10,1900	22,9100	11,5000	2,2483	0,0000	0,2290	31,1000	7123,2692
	10,4600	23,4900	10,2000	2,2457	0,0000	0,2029	31,1000	6310,7666
	10,0600	23,2400	10,2000	2,3101	0,0000	0,2087	31,1000	6491,8568
	10,2400	23,0100	10,3000	2,2471	0,0000	0,2050	31,1000	6376,5314
04/09/2014	10,4900	24,3200	9,9000	2,3184	0,0000	0,2033	30,7000	6242,1166
	10,4600	24,2700	8,8000	2,3203	0,0000	0,1809	30,7000	5553,0216
	9,9500	23,0100	10,7000	2,3126	0,0000	0,2192	30,7000	6729,5483
	10,4500	24,3700	8,8000	2,3321	0,0000	0,1818	30,7000	5581,2376
	10,0900	23,0300	11,4000	2,2825	0,0000	0,2305	30,7000	7076,4627
	10,2700	24,6800	8,7000	2,4031	0,0000	0,1852	30,7000	5685,9438

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,3600	24,3500	9,7000	2,3504	0,0000	0,2020	30,7000	6200,3977
	10,4200	24,4000	9,7000	2,3417	0,0000	0,2012	30,7000	6177,3533
	10,4200	24,3800	9,7000	2,3397	0,0000	0,2011	30,7000	6172,2899
	10,1900	24,4600	9,7000	2,4004	0,0000	0,2063	31,1000	6414,8221
06/09/2014	10,2800	24,4400	9,8000	2,3774	0,0000	0,2064	31,1000	6418,9616
	10,5900	24,6900	9,3000	2,3314	0,0000	0,1921	31,1000	5973,6351
	10,5800	24,5100	10,0000	2,3166	0,0000	0,2052	31,1000	6382,4623
	10,5700	24,4400	9,9000	2,3122	0,0000	0,2028	31,1000	6306,5526
	10,4400	24,6600	9,6000	2,3621	0,0000	0,2009	31,1000	6247,3296
08/09/2014	10,4200	24,2500	9,7000	2,3273	0,0000	0,2000	31,1000	6219,3697
	10,5800	24,5800	9,8000	2,3233	0,0000	0,2017	31,1000	6272,6767
	10,2800	24,4300	9,7000	2,3765	0,0000	0,2042	31,1000	6350,8624
	10,3400	24,3600	9,7000	2,3559	0,0000	0,2024	31,1000	6295,9185
	10,4300	24,7000	9,6000	2,3682	0,0000	0,2014	31,1000	6263,4627
	10,3300	24,4200	9,7000	2,3640	0,0000	0,2031	31,1000	6317,5354
	10,3800	24,7100	9,6000	2,3805	0,0000	0,2024	31,1000	6296,1815
	10,5300	24,7100	9,6000	2,3466	0,0000	0,1996	31,1000	6206,4923
	10,2800	24,3300	9,7000	2,3667	0,0000	0,2034	31,1000	6324,8662
09/09/2014	10,6900	24,2400	9,9000	2,2675	0,0000	0,1989	31,1000	6184,7296
	10,4100	24,4400	9,7000	2,3477	0,0000	0,2017	31,1000	6274,1200
	10,0300	22,7900	11,5000	2,2722	0,0000	0,2315	31,1000	7198,9946
	10,3400	24,5100	9,0000	2,3704	0,0000	0,1890	31,1000	5877,5441
	10,4800	24,4100	9,7000	2,3292	0,0000	0,2001	31,1000	6224,5627
	10,5200	23,0500	11,6000	2,1911	0,0000	0,2252	31,1000	7002,3497
	9,8200	22,8600	10,7000	2,3279	0,0000	0,2207	31,1000	6862,4490
	11,0300	23,7100	10,2000	2,1496	0,0000	0,1942	31,1000	6040,6939
10/09/2014	10,4300	24,1800	9,9000	2,3183	0,0000	0,2033	31,1000	6323,2128
	10,5900	24,5300	9,7000	2,3163	0,0000	0,1990	31,1000	6190,1894
	10,1800	22,8600	11,5000	2,2456	0,0000	0,2288	31,1000	7114,7051
	10,4400	24,6700	9,6000	2,3630	0,0000	0,2010	31,1000	6249,8630
	10,5500	24,7400	9,6000	2,3450	0,0000	0,1994	31,1000	6202,2474
	10,4400	24,5800	9,6000	2,3544	0,0000	0,2002	31,1000	6227,0625
	10,4800	24,6600	9,6000	2,3531	0,0000	0,2001	31,1000	6223,4849
	10,7800	23,4600	11,4000	2,1763	0,0000	0,2198	31,1000	6835,0975
	10,2900	24,6200	8,5000	2,3926	0,0000	0,1802	31,1000	5603,0205
	10,5900	24,4100	9,7000	2,3050	0,0000	0,1981	31,1000	6159,9072
	10,4400	24,6400	9,6000	2,3602	0,0000	0,2007	31,1000	6242,2629
	10,4100	24,3100	9,7000	2,3353	0,0000	0,2007	31,1000	6240,7470
11/09/2014	10,4700	24,2400	9,7000	2,3152	0,0000	0,1989	31,1000	6187,1163
24/09/2014	10,2800	24,2300	9,7000	2,3570	0,0000	0,2025	30,7000	6217,8556
	10,4900	24,6200	9,6000	2,3470	0,0000	0,1996	30,7000	6127,6280
	10,5200	24,7600	9,3000	2,3536	0,0000	0,1939	30,7000	5952,8707
	10,6600	24,6300	9,6000	2,3105	0,0000	0,1965	30,7000	6032,3571
	10,3800	24,5800	9,3000	2,3680	0,0000	0,1951	30,7000	5989,3001
	10,6200	24,6000	9,3000	2,3164	0,0000	0,1908	30,7000	5858,7119
	10,5200	24,4700	9,4000	2,3260	0,0000	0,1937	30,7000	5946,4077
	10,4200	24,7300	9,3000	2,3733	0,0000	0,1955	30,7000	6002,7181
	10,4100	24,4900	9,7000	2,3525	0,0000	0,2022	30,7000	6206,0946
	10,2900	24,5200	9,3000	2,3829	0,0000	0,1963	30,7000	6026,9368
25/09/2014	10,4200	24,2000	12,0000	2,3225	0,0000	0,2469	32,7000	8073,2216
	10,4700	24,5000	9,8000	2,3400	0,0000	0,2031	31,1000	6317,9487
	10,4200	24,4000	9,7000	2,3417	0,0000	0,2012	31,1000	6257,8400
	10,2800	24,4300	9,7000	2,3765	0,0000	0,2042	31,1000	6350,8624
	10,5500	24,3500	9,7000	2,3081	0,0000	0,1983	31,1000	6168,0638
	10,3100	24,2200	12,6000	2,3492	0,0000	0,2622	31,1000	8154,8623
	10,6100	24,5300	8,5000	2,3120	0,0000	0,1741	31,1000	5414,1677
	10,5800	24,4400	9,4000	2,3100	0,0000	0,1924	31,1000	5982,3801
	10,6100	24,6300	9,6000	2,3214	0,0000	0,1974	31,1000	6139,7527
	10,4600	24,6900	9,6000	2,3604	0,0000	0,2007	31,1000	6242,9701
	10,4800	24,4500	9,7000	2,3330	0,0000	0,2005	31,1000	6234,7627
26/09/2014	10,6900	24,3700	9,9000	2,2797	0,0000	0,1999	31,4000	6277,8783
	10,5700	24,5800	9,8000	2,3254	0,0000	0,2019	31,4000	6339,1765
	10,5000	24,4700	9,7000	2,3305	0,0000	0,2003	31,4000	6288,0542

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,5600	24,4700	9,7000	2,3172	0,0000	0,1991	31,4000	6252,3266
	10,4100	24,4900	9,7000	2,3525	0,0000	0,2022	31,4000	6347,6016
	10,5600	24,4300	9,7000	2,3134	0,0000	0,1988	31,4000	6242,1063
	10,5900	24,4300	9,7000	2,3069	0,0000	0,1982	31,4000	6224,4232
	10,4700	24,4900	9,7000	2,3391	0,0000	0,2010	31,4000	6311,2257
	10,4400	24,7400	9,6000	2,3697	0,0000	0,2015	31,4000	6328,0558
	10,5300	24,5000	9,7000	2,3267	0,0000	0,1999	31,4000	6277,8267
	10,4200	24,4500	9,7000	2,3464	0,0000	0,2016	31,4000	6331,1522
	10,5800	24,4600	9,7000	2,3119	0,0000	0,1987	31,4000	6237,9572
	10,3400	24,3800	9,7000	2,3578	0,0000	0,2026	31,1000	6301,0875
27/09/2014	10,6800	24,3400	9,9000	2,2790	0,0000	0,1999	31,4000	6276,0210
	10,4100	24,4600	9,7000	2,3497	0,0000	0,2019	31,4000	6339,8259
	10,4100	24,4400	9,7000	2,3477	0,0000	0,2017	31,4000	6334,6421
	10,3400	24,4800	9,7000	2,3675	0,0000	0,2034	31,4000	6387,9643
	10,5300	24,4500	9,7000	2,3219	0,0000	0,1995	31,4000	6265,0148
	10,3300	24,6300	9,6000	2,3843	0,0000	0,2028	31,4000	6367,0051
	10,5300	24,5000	9,7000	2,3267	0,0000	0,1999	31,4000	6277,8267
	10,6600	24,5000	9,7000	2,2983	0,0000	0,1975	31,4000	6201,2678
	10,3900	24,4900	9,7000	2,3571	0,0000	0,2025	31,4000	6359,8203
	10,5500	24,4000	9,7000	2,3128	0,0000	0,1987	31,4000	6240,3504
	10,6300	24,5100	9,7000	2,3057	0,0000	0,1981	31,4000	6221,3073
	10,5500	24,5000	9,7000	2,3223	0,0000	0,1996	31,4000	6265,9256
	10,2800	24,4300	9,7000	2,3765	0,0000	0,2042	31,1000	6350,8624
01/10/2014	10,2800	24,3800	9,7000	2,3716	0,0000	0,2038	31,0000	6317,4853
	10,6100	24,4700	9,7000	2,3063	0,0000	0,1982	31,0000	6143,5902
	10,6400	24,5000	9,7000	2,3026	0,0000	0,1979	31,0000	6133,7788
	10,5500	24,4500	9,7000	2,3175	0,0000	0,1991	31,0000	6173,4802
	10,6800	24,4700	9,7000	2,2912	0,0000	0,1969	31,0000	6103,3232
	10,5700	24,7700	9,6000	2,3434	0,0000	0,1993	31,0000	6178,0892
	10,5600	24,4500	9,7000	2,3153	0,0000	0,1990	31,0000	6167,6341
	10,3800	24,6300	9,6000	2,3728	0,0000	0,2018	31,0000	6255,6179
	10,5000	24,6700	9,6000	2,3495	0,0000	0,1998	31,0000	6194,1683
	10,3400	24,6200	9,6000	2,3810	0,0000	0,2025	31,0000	6277,2679
	10,4400	24,6300	9,6000	2,3592	0,0000	0,2006	31,0000	6219,6660
	10,4100	24,3600	9,7000	2,3401	0,0000	0,2011	31,2000	6273,6908
02/10/2014	10,4500	24,5400	9,8000	2,3483	0,0000	0,2039	31,2000	6360,7623
	10,5200	24,4900	9,7000	2,3279	0,0000	0,2000	31,2000	6241,2215
	10,5900	24,4600	9,7000	2,3097	0,0000	0,1985	31,2000	6192,3721
	10,6300	24,5100	9,7000	2,3057	0,0000	0,1981	31,2000	6181,6812
	10,5300	24,5000	9,7000	2,3267	0,0000	0,1999	31,2000	6237,8405
	10,4600	24,4700	9,7000	2,3394	0,0000	0,2010	31,2000	6271,8959
	10,5400	24,5000	9,7000	2,3245	0,0000	0,1997	31,2000	6231,9223
	10,6200	24,5600	9,7000	2,3126	0,0000	0,1987	31,2000	6200,1243
	10,5300	24,5500	9,7000	2,3314	0,0000	0,2003	31,2000	6250,5708
	10,6000	24,5500	9,7000	2,3160	0,0000	0,1990	31,2000	6209,2935
	10,5300	24,5500	9,7000	2,3314	0,0000	0,2003	31,2000	6250,5708
	10,6000	24,6100	9,7000	2,3217	0,0000	0,1995	31,2000	6224,4689
	10,3300	24,4100	9,7000	2,3630	0,0000	0,2031	31,2000	6335,2537
03/10/2014	10,5100	24,5200	9,8000	2,3330	0,0000	0,2025	31,2000	6319,2952
	10,4400	24,5200	9,7000	2,3487	0,0000	0,2018	31,2000	6296,7510
	10,5900	24,5100	9,7000	2,3144	0,0000	0,1989	31,2000	6205,0303
	10,4800	24,7700	9,6000	2,3635	0,0000	0,2010	31,2000	6271,3462
	10,6500	24,4900	9,7000	2,2995	0,0000	0,1976	31,2000	6165,0376
	10,5500	24,6800	9,6000	2,3393	0,0000	0,1989	31,2000	6207,1001
	10,4000	24,5000	9,7000	2,3558	0,0000	0,2024	31,2000	6315,8135
	10,6500	24,4900	9,7000	2,2995	0,0000	0,1976	31,2000	6165,0376
	10,7300	24,5000	9,7000	2,2833	0,0000	0,1962	31,2000	6121,5714
	10,6900	24,5300	9,7000	2,2947	0,0000	0,1972	31,2000	6152,0010
	10,4100	24,4400	9,7000	2,3477	0,0000	0,2017	31,2000	6294,2940
08/10/2014	10,3500	24,3600	9,7000	2,3536	0,0000	0,2022	31,2000	6310,0600
	10,5900	24,4100	9,7000	2,3050	0,0000	0,1981	31,2000	6179,7140
	10,4100	24,5400	9,7000	2,3573	0,0000	0,2026	31,2000	6320,0481

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,4400	24,6100	9,6000	2,3573	0,0000	0,2005	31,2000	6254,7098
	10,6800	24,4700	9,7000	2,2912	0,0000	0,1969	31,2000	6142,6995
	10,5900	24,7900	9,6000	2,3409	0,0000	0,1991	31,2000	6211,2158
	10,6000	24,4800	9,7000	2,3094	0,0000	0,1984	31,2000	6191,5887
	10,5500	24,5200	9,7000	2,3242	0,0000	0,1997	31,2000	6231,0977
	10,6500	24,7600	9,6000	2,3249	0,0000	0,1977	31,2000	6168,7488
	10,6700	24,5700	9,7000	2,3027	0,0000	0,1979	31,2000	6173,5830
	10,4500	24,6700	9,6000	2,3608	0,0000	0,2008	31,2000	6263,9591
	10,4700	24,3900	9,7000	2,3295	0,0000	0,2002	31,2000	6245,4203
09/10/2014	10,5400	24,6100	9,8000	2,3349	0,0000	0,2027	31,2000	6324,4374
	10,6300	24,4800	9,7000	2,3029	0,0000	0,1979	31,2000	6174,1148
	10,7100	25,0100	9,3000	2,3352	0,0000	0,1924	31,2000	6002,4975
	10,4400	24,7700	9,6000	2,3726	0,0000	0,2018	31,2000	6295,3744
	10,6900	24,7400	9,8000	2,3143	0,0000	0,2009	31,2000	6268,6336
	10,6200	24,7500	9,8000	2,3305	0,0000	0,2023	31,2000	6312,5028
	10,6300	24,7200	9,8000	2,3255	0,0000	0,2019	31,2000	6298,9201
	10,4100	24,5600	9,7000	2,3593	0,0000	0,2027	31,2000	6325,1989
	10,5200	24,5400	9,7000	2,3327	0,0000	0,2004	31,2000	6253,9639
	10,5700	24,6900	9,8000	2,3359	0,0000	0,2028	31,2000	6326,9878
	10,4100	24,5600	9,7000	2,3593	0,0000	0,2027	31,2000	6325,1989
	10,4300	24,7400	9,8000	2,3720	0,0000	0,2059	31,2000	6424,8987
	10,8200	24,4100	9,9000	2,2560	0,0000	0,1979	31,2000	6173,0605
10/10/2014	10,7600	24,4000	9,9000	2,2677	0,0000	0,1989	31,2000	6204,9398
	10,6600	24,6400	9,8000	2,3114	0,0000	0,2007	31,2000	6260,8658
	10,4900	24,6600	9,8000	2,3508	0,0000	0,2041	31,2000	6367,4930
	10,5700	24,6400	9,8000	2,3311	0,0000	0,2024	31,2000	6314,1750
	10,3400	24,5300	9,7000	2,3723	0,0000	0,2039	31,2000	6360,2409
	10,4800	24,5100	9,7000	2,3387	0,0000	0,2010	31,2000	6270,1594
	10,4100	24,5600	9,7000	2,3593	0,0000	0,2027	31,2000	6325,1989
	10,4100	24,5900	9,7000	2,3622	0,0000	0,2030	31,2000	6332,9251
	10,3400	24,5100	9,7000	2,3704	0,0000	0,2037	31,2000	6355,0552
	10,6000	24,6600	9,8000	2,3264	0,0000	0,2020	31,2000	6301,4153
	10,4300	24,5500	9,7000	2,3538	0,0000	0,2023	31,2000	6310,4996
	10,3600	24,5800	9,8000	2,3726	0,0000	0,2060	31,4000	6467,6733
11/10/2014	10,5200	24,3000	10,1000	2,3099	0,0000	0,2067	31,4000	6489,5081
	10,6600	24,6600	9,8000	2,3133	0,0000	0,2008	31,4000	6306,1140
	10,5000	24,6600	9,8000	2,3486	0,0000	0,2039	31,4000	6402,2072
	10,5500	24,6700	9,8000	2,3384	0,0000	0,2030	31,4000	6374,4488
	10,6000	24,6500	9,8000	2,3255	0,0000	0,2019	31,4000	6339,2373
	10,5100	24,6500	9,8000	2,3454	0,0000	0,2036	31,4000	6393,5219
	10,5200	24,6300	9,8000	2,3413	0,0000	0,2033	31,4000	6382,2619
	10,5800	24,6400	9,8000	2,3289	0,0000	0,2022	31,4000	6348,6442
	10,8000	24,4800	9,9000	2,2667	0,0000	0,1988	31,4000	6241,9851
	10,5500	24,6300	9,8000	2,3346	0,0000	0,2027	31,4000	6364,1133
	10,4600	24,7000	9,8000	2,3614	0,0000	0,2050	31,4000	6437,1143
	10,8700	24,4500	9,9000	2,2493	0,0000	0,1973	31,4000	6194,1881
	10,7000	24,4500	9,9000	2,2850	0,0000	0,2004	31,4000	6292,6004
	10,5700	24,3800	9,9000	2,3065	0,0000	0,2023	31,1000	6291,0701
15/10/2014	10,3700	24,1600	10,1000	2,3298	0,0000	0,2085	31,1000	6482,9125
	10,5900	24,5800	10,1000	2,3211	0,0000	0,2077	31,1000	6458,5928
							Energía Total (J)	**1535952,76**

Tabla 28. *Energía acumulada aplicada a la muestra 4*

Energía acumulada aplicada a la muestra 5

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
19/08/2014	10,27	24,36	9,4	2,37195716	8,4543E-06	0,18850082	31,2	5881,22555
21/08/2014	10,64	24,41	9,9	2,29417293	8,4543E-06	0,19201709	31,2	5990,93334
	10,38	23,46	11,4	2,26011561	8,4543E-06	0,21782817	31,2	6796,23906
	10,58	23,49	11,8	2,22022684	8,4543E-06	0,22149193	31,2	6910,54815
	11,18	23,79	10,2	2,12790698	8,4543E-06	0,18349801	31,2	5725,13789
	10,4	23,46	10,2	2,25576923	8,4543E-06	0,19452409	31,2	6069,15154
	10,41	23,31	10,2	2,23919308	8,4543E-06	0,19309466	31,2	6024,55338
	10,8	23,64	10,7	2,18888889	8,4543E-06	0,19800951	31,2	6177,89661
	10,68	23,47	10,2	2,19756554	8,4543E-06	0,18950495	31,2	5912,5544
	10,49	23,25	10,2	2,21639657	8,4543E-06	0,19112882	31,2	5963,21931
	10,53	23,25	10,2	2,20797721	8,4543E-06	0,19040279	31,2	5940,56701
	10,65	23,34	10,2	2,1915493	8,4543E-06	0,18898614	31,2	5896,36768
	10,64	23,58	10,7	2,21616541	8,4543E-06	0,20047697	31,2	6254,88158
	10,21	24,59	8,5	2,40842311	8,4543E-06	0,17307337	31,2	5399,88926
26/08/2014	10,35	24,43	9,7	2,36038647	8,4543E-06	0,19356793	31,2	6039,31932
	10,23	23,26	11,8	2,27370479	8,4543E-06	0,22682694	31,2	7077,00048
	10,57	23,76	10,5	2,24787133	8,4543E-06	0,19954429	31,2	6225,78171
	10,25	23,13	10,6	2,25658537	8,4543E-06	0,20222562	31,2	6309,43941
27/08/2014	10,69	24,49	9,9	2,2909261	8,4543E-06	0,19174534	31,1	5963,28012
	10,4	23,3	11,4	2,24038462	8,4543E-06	0,21592652	31,1	6715,31469
	10,63	23,09	11,1	2,17215428	8,4543E-06	0,20384131	31,1	6339,46463
	10,36	23,46	10,2	2,26447876	8,4543E-06	0,19527515	31,1	6073,05704
	10,74	23,58	10,2	2,19553073	8,4543E-06	0,18932948	31,1	5888,14678
	10,07	22,97	10,3	2,28103277	8,4543E-06	0,19863112	31,1	6177,4279
	10,45	24,68	9,8	2,36172249	8,4543E-06	0,19567416	31,1	6085,46651
28/08/2014	10,62	24,38	9,9	2,29566855	8,4543E-06	0,19214227	31,1	5975,62472
	10,41	22,97	12,1	2,20653218	8,4543E-06	0,22572215	31,1	7019,95894
	10,52	23,4	10,1	2,2243346	8,4543E-06	0,18993283	31,1	5906,911
	11,05	23,8	10,7	2,15384615	8,4543E-06	0,1948395	31,1	6059,50842
	10,65	23,41	10,8	2,19812207	8,4543E-06	0,20070311	31,1	6241,86681
	10,08	22,91	11,1	2,27281746	8,4543E-06	0,21328783	31,1	6633,25163
	10,58	23,56	10,2	2,2268431	8,4543E-06	0,19202967	31,1	5972,12276
	10,17	23,61	10	2,32153392	8,4543E-06	0,19626985	31,1	6103,99221
	10,31	23,05	10,8	2,2356935	8,4543E-06	0,20413363	31,1	6348,55602
	10,22	23,12	10,8	2,26223092	8,4543E-06	0,20655668	31,1	6423,91263
	10,2	23,57	10	2,31078431	8,4543E-06	0,19536104	31,1	6075,72834
	10,46	24,69	8,5	2,36042065	8,4543E-06	0,16962384	31,1	5275,30127
	10,54	24,5	8,8	2,32447818	8,4543E-06	0,17293651	30,4	5257,26993
29/08/2014	10,75	24,5	9,9	2,27906977	8,4543E-06	0,19075299	31,4	5989,64399
	10,49	23,34	11,5	2,22497617	8,4543E-06	0,21632253	31,4	6792,5274
	10,22	23,37	10,2	2,28669276	8,4543E-06	0,19719075	31,4	6191,7895
	10,27	23,5	10,2	2,28821811	8,4543E-06	0,19732229	31,4	6195,91977
	10,77	23,11	11,1	2,1457753	8,4543E-06	0,20136583	31,4	6322,88694
	10,78	23,98	10,2	2,2244898	8,4543E-06	0,19182674	31,4	6023,35951
	11,21	24,19	10,2	2,15789474	8,4543E-06	0,18608398	31,4	5843,03682
	10,68	23,59	10,2	2,2088015	8,4543E-06	0,19047387	31,4	5980,87954
	10,77	23,55	10,2	2,18662953	8,4543E-06	0,18856189	31,4	5920,84341
	10,45	23,29	10,1	2,22870813	8,4543E-06	0,19030628	31,4	5975,61718
	10,52	23,6	10,2	2,24334601	8,4543E-06	0,19345278	31,4	6074,41739
	10,5	24,71	9,8	2,35333333	8,4543E-06	0,1949791	31,6	6161,33967
30/08/2014	10,78	24,48	9,9	2,27087199	8,4543E-06	0,19006686	31,1	5911,07927
	10,41	23,37	11,2	2,24495677	8,4543E-06	0,21257126	31,1	6610,96628
	10,38	23,64	10,5	2,27745665	8,4543E-06	0,20217058	31,1	6287,50515
	10,38	23,36	10,8	2,2504817	8,4543E-06	0,20548389	31,1	6390,54911
	10,28	23,2	10,2	2,25680934	8,4543E-06	0,19461378	31,1	6052,48857
	10,33	23,35	10,8	2,26040658	8,4543E-06	0,2063901	31,1	6418,73218
	10,47	23,48	10,2	2,2425979	8,4543E-06	0,19338827	31,1	6014,37522

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
	10,31	24,59	9,8	2,38506305	8,4543E-06	0,19760798	31,1	6145,60829
01/09/2014	10,45	24,53	10	2,34736842	8,4543E-06	0,19845398	31,1	6171,91866
	10,4	23,31	11,4	2,24134615	8,4543E-06	0,21601919	31,1	6718,1968
	10,22	23,06	10,3	2,25636008	8,4543E-06	0,19648264	31,1	6110,61002
	10,19	23,47	10,2	2,30323847	8,4543E-06	0,19861755	31,1	6177,00586
	10,19	23,47	11,8	2,30323847	8,4543E-06	0,22977325	31,1	7145,94796
04/09/2014	10,58	24,48	9,9	2,31379962	8,4543E-06	0,1936598	31,1	6022,8199
	10,56	24,88	8,7	2,35606061	8,4543E-06	0,17329429	31,1	5389,45248
	10,45	24,69	8,5	2,36267943	8,4543E-06	0,16978615	31,1	5280,34941
	10,6	24,61	9,4	2,32169811	8,4543E-06	0,1845067	31,1	5738,15847
	10,42	24,63	9,4	2,36372361	8,4543E-06	0,18784649	31,1	5842,02596
	10,65	24,8	9,6	2,3286385	8,4543E-06	0,18899567	31,1	5877,76532
	10,65	24,8	9,6	2,3286385	8,4543E-06	0,18899567	31,1	5877,76532
	10,52	24,77	9,6	2,35456274	8,4543E-06	0,19109972	31,1	5943,20124
	10,52	24,77	9,6	2,35456274	8,4543E-06	0,19109972	31,1	5943,20124
	10,52	24,69	9,8	2,34695817	8,4543E-06	0,19445091	31,4	6105,75848
06/09/2014	10,28	24,44	9,8	2,37743191	8,4543E-06	0,19697573	31,1	6125,94508
	10,59	24,69	9,3	2,33144476	8,4543E-06	0,1833102	31,1	5700,94715
	10,58	24,51	10	2,31663516	8,4543E-06	0,19585569	31,1	6091,11192
	10,57	24,44	9,9	2,31220435	8,4543E-06	0,19352628	31,1	6018,66741
	10,44	24,66	9,6	2,36206897	8,4543E-06	0,19170893	31,1	5962,14787
08/09/2014	10,71	24,52	9,9	2,28944911	8,4543E-06	0,19162172	31,1	5959,43553
	10,61	24,67	9,7	2,32516494	8,4543E-06	0,19067952	31,1	5930,13303
	10,2	22,88	11,7	2,24313725	8,4543E-06	0,22188107	31,1	6900,50137
	10,48	24,85	8,8	2,37118321	8,4543E-06	0,17641127	31,1	5486,39054
	10,69	24,93	9,6	2,33208606	8,4543E-06	0,18927548	31,1	5886,46739
	11,09	23,68	11,2	2,13525699	8,4543E-06	0,20218397	31,1	6287,92149
	10,65	24,81	9,6	2,32957746	8,4543E-06	0,18907188	31,1	5880,13539
	10,71	24,8	9,4	2,3155929	8,4543E-06	0,18402152	31,1	5723,06923
	10,36	24,6	9,7	2,37451737	8,4543E-06	0,19472676	31,4	6114,4202
09/09/2014	10,74	24,5	9,9	2,28119181	8,4543E-06	0,1909306	31,4	5995,22094
	10,62	24,87	9,8	2,34180791	8,4543E-06	0,1940242	31,4	6092,35974
	10,54	24,7	9,7	2,34345351	8,4543E-06	0,19217931	31,4	6034,43025
	10,44	24,74	9,7	2,3697318	8,4543E-06	0,19433431	31,4	6102,09727
	10,68	24,67	9,7	2,30992509	8,4543E-06	0,18942975	31,4	5948,09404
	10,69	24,67	9,7	2,30776427	8,4543E-06	0,18925254	31,4	5942,52988
	10,69	24,67	9,7	2,30776427	8,4543E-06	0,18925254	31,4	5942,52988
	10,49	25,15	8,4	2,39752145	8,4543E-06	0,17026302	31,4	5346,25885
10/09/2014	10,58	24,44	9,9	2,3100189	8,4543E-06	0,19334337	31,4	6070,9817
	10,74	24,85	9,7	2,31378026	8,4543E-06	0,1897459	31,4	5958,02116
	10,44	24,63	9,7	2,3591954	8,4543E-06	0,19347025	31,4	6074,96587
	10,14	22,93	11,5	2,26134122	8,4543E-06	0,21985811	31,4	6903,54461
	10,55	24,81	8,8	2,35165877	8,4543E-06	0,17495869	31,4	5493,70294
	10,77	24,9	9,6	2,31197772	8,4543E-06	0,18764346	31,4	5892,00453
	9,99	22,89	11,5	2,29129129	8,4543E-06	0,22276999	31,4	6994,97779
	10,49	24,98	8,4	2,38131554	8,4543E-06	0,16911214	31,4	5310,12112
	10,26	23,25	8,1	2,26608187	8,4543E-06	0,15518122	31,4	4872,69032
	10,66	25,05	8,4	2,34990619	8,4543E-06	0,16688156	31,4	5240,08108
	10,48	25,02	9,1	2,38740458	8,4543E-06	0,18367327	31,4	5767,34073
	10,49	24,57	9,7	2,3422307	8,4543E-06	0,19207903	31,4	6031,28148
11/09/2014	10,46	24,7	9,8	2,36137667	8,4543E-06	0,19564551	31,4	6143,2691
24/09/2014	10,22	24,47	9,7	2,39432485	8,4543E-06	0,19635111	31,1	6106,51944
	10,53	24,88	9,6	2,36277303	8,4543E-06	0,19176608	31,1	5963,92501
	10,58	24,64	9,4	2,3289225	8,4543E-06	0,18508083	31,1	5756,01379
	10,51	24,94	9,3	2,37297812	8,4543E-06	0,18657576	31,1	5802,50626
	10,5	24,78	9,4	2,36	8,4543E-06	0,18755058	31,1	5832,82293
	10,43	24,7	9,2	2,36816874	8,4543E-06	0,1841955	31,1	5728,4801
	10,46	24,7	9,2	2,36137667	8,4543E-06	0,18366722	31,1	5712,05042
	10,55	24,85	9,3	2,35545024	8,4543E-06	0,18519763	31,1	5759,64635
	10,51	24,86	9,6	2,36536632	8,4543E-06	0,19197655	31,1	5970,47078
	10,41	24,83	9,3	2,38520653	8,4543E-06	0,18753723	31,1	5832,4077

Fecha	Tiempo de frente (µs)	Tiempo de cola (µs)	Corriente (kA)	tf/tc	Constante	Integral	Tensión residual (kV)	Energía (J)
25/09/2014	10,46	24,67	7,6	2,3585086	8,4543E-06	0,15154081	31,1	4712,91919
	12,35	38,06	12,4	3,08178138	8,4543E-06	0,32307404	31,1	10047,6026
	11,38	24,88	10,9	2,18629174	8,4543E-06	0,20147129	31,1	6265,757
	10,79	24,5	10,9	2,27062095	8,4543E-06	0,2092424	31,1	6507,43852
	10,9	24,63	10,5	2,25963303	8,4543E-06	0,20058838	31,1	6238,29846
	10,86	24,57	9,7	2,26243094	8,4543E-06	0,1855349	31,1	5770,13537
	10,69	25,02	8,4	2,34050514	8,4543E-06	0,16621394	31,1	5169,2534
	10,45	24,73	9,4	2,36650718	8,4543E-06	0,18806771	31,1	5848,90565
	10,73	24,9	9,6	2,32059646	8,4543E-06	0,18834297	31,1	5857,46624
	11,32	24,71	10,8	2,18286219	8,4543E-06	0,19930979	31,1	6198,53432
	10,44	24,76	9,6	2,37164751	8,4543E-06	0,19248634	31,1	5986,32527
26/09/2014	10,5	24,71	9,8	2,35333333	8,4543E-06	0,1949791	31,4	6122,34385
	10,74	25,5	6,9	2,37430168	8,4543E-06	0,13850439	31,4	4349,03783
	10,63	24,88	9,6	2,34054563	8,4543E-06	0,18996207	31,4	5964,80897
	10,44	24,87	9,6	2,38218391	8,4543E-06	0,19334149	31,4	6070,92286
	10,55	24,69	9,4	2,34028436	8,4543E-06	0,18598376	31,4	5839,89017
	10,56	24,83	9,6	2,35132576	8,4543E-06	0,190837	31,4	5992,28181
	10,56	24,8	9,6	2,34848485	8,4543E-06	0,19060643	31,4	5985,04184
	10,65	24,84	9,6	2,33239437	8,4543E-06	0,1893005	31,4	5944,03574
	10,44	24,81	9,6	2,37643678	8,4543E-06	0,19287505	31,4	6056,27649
							Energía Total (J)	**834394,5256**

Tabla 29. *Energía acumulada aplicada a la muestra 5*

Bibliografía

1. Christodoulou, C.A., Avgerinos M.V., Ekonomou L., Gonos I.F., Stathopulos I.A. "Measurement of the resistive leakage current in surge arresters under artificial rain test and impulse voltage subjection" IET Meas. Technol, Vol. 3, lss.3, 2009
2. Tada, Miyake, Shirakawa "A diagnosis of remaining life characteristics of Zno type surge arresters (1st stage) for 275 kV power systems" IEEE, 2002.
3. Lee, Song, Kim, Lee B.S., Kwon "Aging characteristics of polymer lightning arrester by multi-stress accelerated aging test" International conference on solid dielectrics, Toulouse France, ,July 2009.
4. Ibáñez Olaya Henry Felipe "Estudio de degradación de descargadores de ZnO tipo distribución bajo condiciones normales de funcionamiento" Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Tesis de Maestria, Bogotá, 2004.
5. Alain Vicaud "A.C. Voltage ageing of Zinc-Oxide ceramics" IEEE Transaction on Power Systems, Vol. PWRD-1, No. 2, 1986.
6. Izumi, Honna, Tanaka "Deterioration of metal oxide surge arrester element caused by internal partial discharges under polluted conditions" International conference on properties and applications of dielectric materials, Tokyo 1991.
7. Kim Ju-yong, Kim, Song, Moon "Accelerated aging test to determine the replacement criterion of distribution surge arresters" IEEE, 2001.
8. IEC 60099-4 "Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems", Edition 1.2, 2001.
9. Miller, Fan, Barnes "The response on MOV and SIC arresters to steep-front longer duration current pulses" IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 6, No. 2, 1991.
10. Mardira, Darveniza, Saha "Search for new diagnostics for metal oxide surge arrester" International conference on properties and applications of dielectric materials, China 2006
11. Darveniza, Mercer, Tumma "The Effects of multiple stroke lightning impulse current on ZnO arresters" IEEE, 1995.

12. Ramos, Torres “Evaluación de las corrientes de fuga en el envejecimiento de descargadores de media tensión” Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Bogotá, 2013
13. Hubell Ohio Brass “Zinc-oxide arrester design and characteristics” USA, 2004.