

**CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE CORRIENTES
DE RAYO.**

**DARWIN YESID CALDERÓN
FRANKY YOAN CELY QUESADA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMAGA
2018**

**CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE CORRIENTES
DE RAYO.**

**TESIS DE GRADO EN LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**DARWIN YESID CALDERÓN
FRANKY YOAN CELY QUESADA**

**Director:
EDISON ANDRÉS SOTO RÍOS
Doctor en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

*Primeramente, a DIOS,
Que nos ayudó a cumplir con cada una de las metas propuestas.*

*A mi madre,
por mostrarme que cada momento difícil tiene una buena cara.*

*A mi hermana,
Por sacarme una sonrisa en los momentos que llegue a sentirme impotente y
desilusionado de la vida.*

*Mi abuela,
Por ser tan alcahueta y enseñarme que todo se puede hacer en esta vida con la
ayuda de DIOS y la virgen María.*

*A mi familia,
Por el gran apoyo incondicional que me brindaron en los momentos difíciles.*

*A mi padre,
Por enseñarme que en la vida hay momentos felices como momentos difíciles y su
gran apoyo.*

*A mis amigos,
La mana de lobos con los cuales aprendí a disfrutar con las pequeñas cosas de la
vida, por cada día que pasamos juntos y me enseñaron a valorar las mejores
cosas que tienen cada uno.*

DARWIN YESID CALDERÓN

DEDICATORIA

*A Dios,
Por permitirme alcanzar mis metas*

*A mis padres,
Por sus enseñanzas, compañía, fortaleza, apoyo, amor, comprensión, dedicación,
los cuales aportan a mi formación como profesional y como persona*

*A Diana C. Díaz,
Por su apoyo incondicional en cada actividad académica y personal, su amor y
comprensión*

*A la manada de lobos,
Por su amistad y fortaleza a lo largo de la carrera*

*A nuestro director de proyecto de grado,
Por sus consejos, y su inmenso aporte al desarrollo de este trabajo*

*A Ximena Acevedo,
Por su inmenso aporte a mi formación personal y profesional*

*Al consejo de escuela de E3T,
Por enseñarme a construir con base en los argumentos*

FRANKY YOAN CELY QUESADA

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	17
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	18
1.1 OBJETIVOS PROPUESTOS.....	18
1.1.1 Objetivo general.....	18
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
1.2 ALCANCE.....	18
1.3 JUSTIFICACION.....	18
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.5 METODOLOGÍA.....	20
2. ANTECEDENTES.....	22
2.1 CATEGORIZACIÓN DEL RAYO.....	22
2.2 PROCESO DE FORMACIÓN DEL RAYO.....	23
2.2.1 Líder Escalonado.....	25
2.2.2 Proceso De Enlace.....	25
2.2.3 Descarga De Retorno.....	26
2.2.4 Líder Dardo.....	26
2.3 PARÁMETROS DEL RAYO.....	27
2.3.1 Polaridad Del Rayo.....	27
2.3.2 Corriente Pico.....	27
2.3.3 Máxima Rata De Acenso De La Corriente Tipo Rayo (di/dt).....	27
2.3.4 OTROS PARÁMETROS.....	27
2.3.4.1 Nivel Ceraunico (Nc).....	28
2.3.4.2 Densidad De Descargas A Tierra (DRT).....	28
2.4 FORMA DE ONDAS NORMALIZADA DE CORRIENTE.....	28

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS	31
3.1 BOBINA ROGOWSKI CWT600X CON INTEGRADOR	31
3.1.1 Integrador CWT.	32
3.2 OSCILOSCOPIO PICOSCOPE USB 3205D	34
3.2.1 Diagrama De Conectores.	36
3.2.2 Requerimientos Mínimos Del Sistema	37
3.3 COMPUTADOR FIT PC4 PRO	37
3.4 GPS 19X HVS (NMEA 0183)	39
3.5 TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	41
3.6 COFRE INTEMPERIE	42
4. CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO	43
4.1 COMPRA DE LOS EQUIPOS	43
4.2 ENSAMBLAJE DEL EQUIPO	43
4.2.1 Fijado De Los Equipos	43
4.2.2 Cofre De Intemperie	44
4.2.3 Conexión De Los Equipos.	45
4.2.4 Software	46
4.2.4.1 PICOSCOPE.	46
4.2.4.2 Gps.	46
4.2.4.3 Teamviewer.	47
4.3 AJUSTE DE PARÁMETROS	47
4.3.1 Parámetros Del Ordenador	48
4.3.2 Parámetros Del Picoscope.	48
5. PRUEBAS	53
5.1 PRUEBAS AL ORDENADOR (FIT PC4).	53
5.2 PRUEBAS AL PICOSCOPE	53
5.3 PRUEBAS AL DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE DE RAYO	55
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
7. CONCLUSIONES	61
8. RECOMENDACIONES	62

Bibliografía.....63
ANEXOS.....65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: Diagrama de bloques del instrumento de medición.....	20
FIGURA 2: Diagrama de conexión	21
FIGURA 3: Caracterización del rayo.....	22
FIGURA 4: Proceso de formación de un rayo.....	23
FIGURA 5: Nube de tormenta.....	24
FIGURA 6: Forma de onda de la corriente de impulso 8/20 μ s	29
FIGURA 7: Forma de onda de la corriente de impulso 10/350 μ s	29
FIGURA 8: Diagrama de bloques integrador activo	33
FIGURA 9: Bobina de rogowski cwt 600x.....	33
FIGURA 10: Picoscope serie 3000	34
FIGURA 11: Diagrama de conectores del modelo de dos canales picoscope 3205D.....	36
FIGURA 12: Ordenador fit pc4 pro	38
FIGURA 13: Accesorios fit pc4 pro	39
FIGURA 14: Gps 19x hvs (nmea 0183)	40
FIGURA 15: Transformador de aislamiento y especificaciones técnicas.....	41
FIGURA 16: Fijado de equipos en el cofre de intemperie.....	44
FIGURA 17: Cofre intemperie.....	45
FIGURA 18: Conexión de equipos.....	46
FIGURA 19: Interfaz del software	47
FIGURA 21: Interfaz del software picoscope6	49
FIGURA 22: Configuración del trigger	50
FIGURA 23: Almacenamiento de los buffer.....	51
FIGURA 24: Dispositivo de medición de corriente de rayo.....	52

FIGURA 25: Medición de ondas provenientes del generador de señales	54
FIGURA 26: Señal con magnitud aleatoria de tipo senoidal registrada en la pantalla del picoscope.....	54
FIGURA 27: Señal de tipo senoidal con magnitud aleatoria.....	55
FIGURA 28: Diagrama del circuito del dispositivo de impulsos tipo rayo del laboratorio de alta tensión.....	56
FIGURA 29: Arreglo punta-punta laboratorio alta tensión Universidad Industrial De Santander	57
FIGURA 30: Ubicación de la bobina de rogowski en la base de la punta metálica.....	58
FIGURA 31: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga espaciamento, también denominada corriente de desplazamiento	59
FIGURA 32: Corriente cuando se presenta descarga en el espacio del arreglo punta-punta	59

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: Especificaciones bobina de rogowski ctw 600x	32
TABLA 2: Especificaciones picoscope 3205D	35
TABLA 3: Requisitos del sistema.....	37
TABLA 4: Especificaciones técnicas fit pc4 pro	38
TABLA 5: Especificaciones gps 19x hvs nmea 0183.....	40
TABLA 6: Especificaciones técnicas del certificado de conformidad	42
TABLA 7: Costos de los equipos	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: Especificaciones técnicas del computador fit-pc4 pro.....	65
ANEXO B: Certificado de conformidad del producto	69
ANEXO C: Diseño gabinete intemperie	70
ANEXO D: Certificado de modificacion de parametros bobina CWT600xR.....	71
ANEXO E: Pruebas del generador de señales	72
ANEXO F: Señales registradas en el laboratorio de alta tension.....	75

RESUMEN

TITULO: CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE CORRIENTES DE RAYO*

AUTORES: DARWIN YESID CALDERON**
FRANKY YOAN CELY QUESADA

PALABRAS CLAVES: rayos, Santander, impactos directos, trópico, densidad de descargas, caracterizar.

DESCRIPCION:

Debido a su ubicación en la zona tropical Colombia es un país altamente propenso a los rayos¹, según datos de mediciones realizadas por medio de redes de sensores LINET, parte de estas descargas se presentan en el departamento de Santander, por lo tanto, surge la necesidad de realizar estudios para conocer y caracterizar dichas descargas atmosféricas. El resultado de estos estudios podrá aportar en la elaboración de nuevos diseños y calibraciones de protecciones en sistemas eléctricos y electrónicos expuestos a impactos directos de rayos, pues las normas internacionales que se han adoptado en Colombia están basadas en estudios realizados en una zona específica que no contempla las características del trópico, donde se espera un comportamiento diferente por parte de las características y la densidad de las descargas². En este proyecto se pretende hacer un aporte adicional a la investigación de las descargas eléctricas atmosféricas en la zona tropical, construyendo un instrumento que permita caracterizar los parámetros del rayo que hasta la fecha han sido calculados de forma indirecta; con la construcción de un dispositivo de medición de corrientes directas de rayos, el cual será utilizado en sitios con registro de alta actividad de rayos con el fin de medir y caracterizar los siguientes parámetros del rayo: corriente pico, strokes (descargas subsecuentes de rayos por medio del canal previamente ionizado por la primera descarga), frente de onda, tiempo de cola, gradiente máximo (dI/dt) y polaridad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Edison Andrés Soto Ríos, Doctor en Ingeniería Eléctrica

¹ (Tasa de mortalidad por rayos en Colombia para el periodo 1997 - 2014, 2018).

² (Hipótesis de investigaciones sobre variación espacial y temporal en los parámetros del rayo, 2000)

ABSTRACT

TITLE: CONSTRUCTION OF A DEVICE FOR THE MEASUREMENT OF RAY CURRENTS*

AUTHORS: DARWIN YESID CALDERON**
FRANKY YOAN CELY QUESADA

KEYWORDS: Rays, Santander, direct impacts, tropical, density of discharges, characterize.

DESCRIPTION:

Due to its location in the tropical zone Colombia is a country highly prone to lightning³, according to measurements made through sensor networks LINET, part of these discharges occur in the department of Santander, therefore the need to carry out studies to know and characterize these atmospheric discharges arises. The result of these studies can contribute to the development of new designs and calibrations of protections in electrical and electronic systems exposed to direct lightning strikes, since the international standards adopted in Colombia are based on studies carried out in a specific area that does not contemplate the characteristics of the tropics, where a different behavior is expected from the characteristics and density of the discharges⁴. This project intends to make an additional contribution to the investigation of atmospheric electric discharges in the tropical zone, by constructing an instrument that allows to characterize the lightning parameters that have been calculated indirectly to date; with the construction of a device for measuring direct lightning currents, which will be used in sites with high lightning activity record in order to measure and characterize the following lightning parameters: peak current, strokes (Subsequent discharges of rays through the channel previously ionized by the first discharge), wavefront, tail time, maximum gradient (di/dt) and polarity

* Degree work

** Faculty of Mechanical Physics Engineering. School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: Edison Andrés Soto Ríos, Doctor in Electrical Engineering

³ (Tasa de mortalidad por rayos en colombia para el periodo 1997 - 2014, 2018).

⁴ (Hipótesis de investigaciones sobre variación espacial y temporal en los parámetros del rayo, 2000)

INTRODUCCION

Desde finales de la década de los 70 hasta la fecha, la actividad en investigación sobre rayos ha crecido y se ha impuesto a nivel mundial debido a dos factores: uno, a los daños producidos por rayos a equipos electrónicos y sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica así como la pérdida de vidas humanas y dos, al desarrollo de nuevas tecnologías de registro de datos(vgr, osciloscopio de gran ancho de banda), digitalización y almacenamiento computacional de señales analógicas como las producidas por el rayo en un sensor de medición⁵.

Un rayo es el intercambio de la carga almacenada entre una nube y un objeto de carga opuesta. Los tipos de rayos que se pueden presentar son intranube, nube-tierra, tierra-nube y nube-atmósfera. Uno de los eventos más comunes es la descarga entre nubes. Las descargas entre las nubes y la tierra no son las más frecuentes, pero son las más estudiadas ya que estas interactúan y afectan el entorno de los seres humanos y los sistemas de interés, estas descargas generan el mayor número de alteraciones y fallas del sistema eléctrico además de provocar afectaciones a los seres vivos y estructuras.

El servicio de energía eléctrica es fundamental para cumplir gran parte de las actividades que desarrollan personas, empresas, instituciones, gobiernos entre otros. Los ingenieros electricistas de todo el mundo buscan garantizar que la calidad de dicho servicio sea eficiente, continuo y confiable evitando al máximo los efectos de diversas fallas asociadas a eventos externos e internos al sistema eléctrico. Entre las fallas causadas por factores ajenos al sistema se destacan las debidas a fauna, flora, orden público y externalidades tales como precipitaciones, velocidad del viento, ruralidad, fisiografía, entre otras. Una perturbación muy recurrente a lo largo de los años ha sido el rayo. El rayo es el fenómeno físico con interferencia electromagnética más común en líneas de distribución y trasmisión a nivel mundial. Se estima que es el causante de al menos el 70% al 80% de todos los problemas de calidad de energía eléctrica. En Colombia, este efecto es significativo ya que la densidad de rayos a tierra en el país puede llegar hasta 60 rayos/ km^2 - año, la cual excede el valor máximo de algunos países desarrollados ubicados en latitudes templadas. Las afectaciones más comunes en los sistemas de transmisión han sido por impactos directos sobre el cable de guarda, las torres o menos probable sobre el cable de fase como resultado de las fallas en el sistema de apantallamiento.

⁵ (Los rayos: una vision mitológica, científica y tecnológica, 1991)

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS PROPUESTOS

Para el cumplimiento del proyecto se establecen los siguientes objetivos como metas para lograr su correcta finalización.

1.1.1 Objetivo general. Construir un equipo capaz de medir y almacenar los datos que describen corrientes de descarga ocasionadas por rayos.

1.1.2 Objetivos Específicos. Para lograr el cumplimiento del objetivo general, se ha establecido los siguientes objetivos específicos:

- Adquirir los elementos necesarios, bobina de Rogowski, osciloscopio, computador y GPS teniendo en cuenta tamaño, costo, disponibilidad en el mercado y precisión los cuales serán usados para ensamblar un equipo que permita el almacenamiento y medición de las características de la corriente de rayo.
- Conectar y agrupar los elementos que conforman el dispositivo
- Realizar pruebas en el laboratorio de alta tensión de la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) para verificar la validez del equipo construido.
- Realizar los ajustes y adaptaciones necesarios que permitan que el equipo sea fácilmente instalado en el lugar que se destine para su instalación.

1.2 ALCANCE

Construir un equipo capaz de medir y almacenar los parámetros de las descargas atmosféricas a tierra, lo cual permitirá iniciar un proceso de caracterización particular y específica de la actividad de rayos en el departamento de Santander.

1.3 JUSTIFICACION

Debido a que las normativas se basan en estudios y datos tomados en latitudes norte de la tierra, y la importancia de hacer ingeniería propia en el país, se hace necesario crear equipos capaces de medir y caracterizar las descargas atmosféricas a tierra en el territorio nacional, para diseñar de una manera idónea y acertada

protecciones para las redes, implementos electrónicos y la vida de las personas o animales que puedan verse afectados por la descarga.

Este proyecto busca mostrar la importancia de la medida directa de las corrientes producidas por una descarga atmosférica en el diseño y calibración de los instrumentos de medida ante impactos directos.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El rayo es uno de los fenómenos meteorológicos de origen natural más comunes en el mundo, cuyos parámetros varían espacial y temporalmente. Las incidencias de rayos en el mundo se dan en tres zonas: américa tropical, África central y norte de Australia. Colombia siendo uno de los países que está ubicado en la zona ecuatorial del globo terráqueo, presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta razón que ha llevado a construir curvas de distribución de probabilidad de corriente de rayo con base en mediciones indirectas. La corriente máxima del rayo se estima indirectamente por redes interconectadas de detección de rayos. Tales sistemas cuentan con sensores remotos que miden el campo eléctrico producido por un rayo a grandes distancias, lo que permite al cálculo de la corriente pico del rayo. A nivel mundial, estas curvas fueron obtenidas de mediciones directas de rayos sobre torres instrumentadas ubicadas en Brasil (Estación cachimbo, Estado de Minas Gerais, 1991), Rodesia (Anderson, et. al., 1954) y Malasia (lee, et. Al,1979)

Para la estimación de la corriente pico, en los sistemas instalados en Colombia se utiliza una relación entre el campo magnético y la corriente. Por lo tanto, para propósito de aplicaciones de investigación y desarrollo tecnológico en ingeniería eléctrica, es necesario caracterizar los rayos, principalmente en la zona tropical colombiana. Teniendo en cuenta que en Colombia por lo menos el 60% de las salidas de las líneas de transmisión y el 70% en líneas de distribución son atribuidas a descargas atmosféricas⁶, por lo tanto, resulta muy pertinente caracterizar la forma de onda estándar del rayo y así poder establecer los parámetros de mayor importancia para la aplicación de ingeniería tales como multiplicidad, polaridad, la máxima rata de ascenso (di/dt), el tiempo de cola, entre otros. De esta manera la medición directa de corriente permitirá ajustar los errores de localización, la eficiencia en la detección y las corrientes pico inferida de los actuales sistemas de localización de rayos en Colombia, esto aportará mayor calidad de la información de rayos que hoy reciben las empresas del sector petrolero y operadores locales de red. Los daños producidos a los sistemas de transmisión y distribución en energía eléctrica han sido en gran medida el motivo para el desarrollo de la investigación sobre rayos en Colombia⁷.

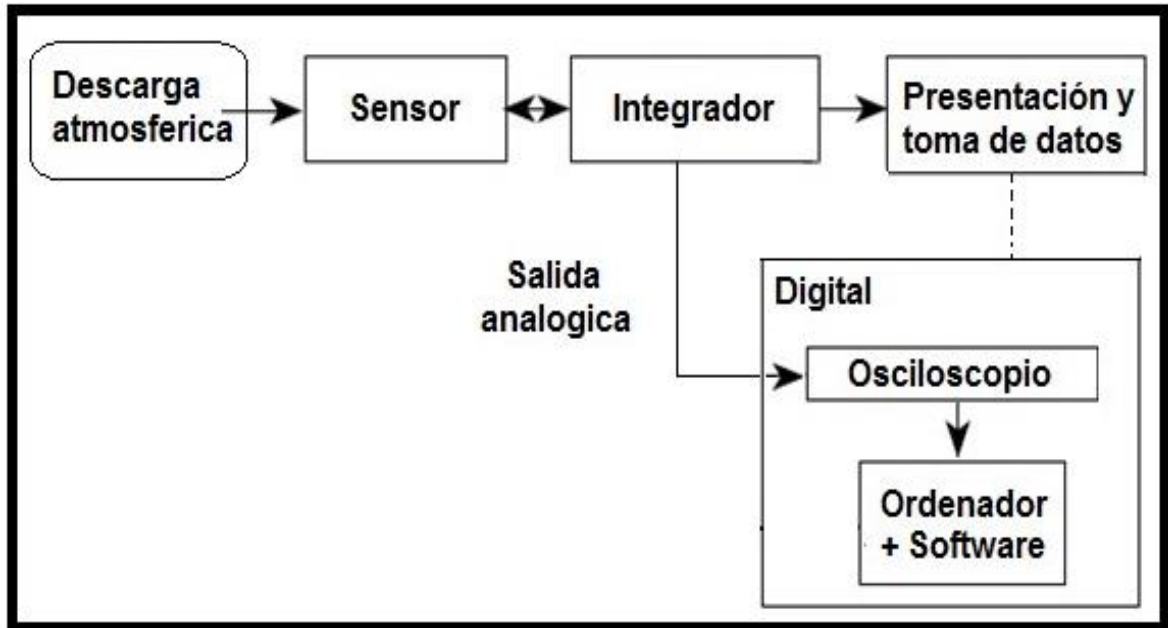
⁶ (C4.CIGRE.ORG, 2006)

⁷ (Los rayos: una vision mitológica, científica y tecnológica, 1991)

1.5 METODOLOGÍA

Para la construcción del dispositivo de medición se tuvo en cuenta el diseño de bloques (FIGURA 1) establecido para la obtención de la señal de corriente generada por una descarga atmosférica.

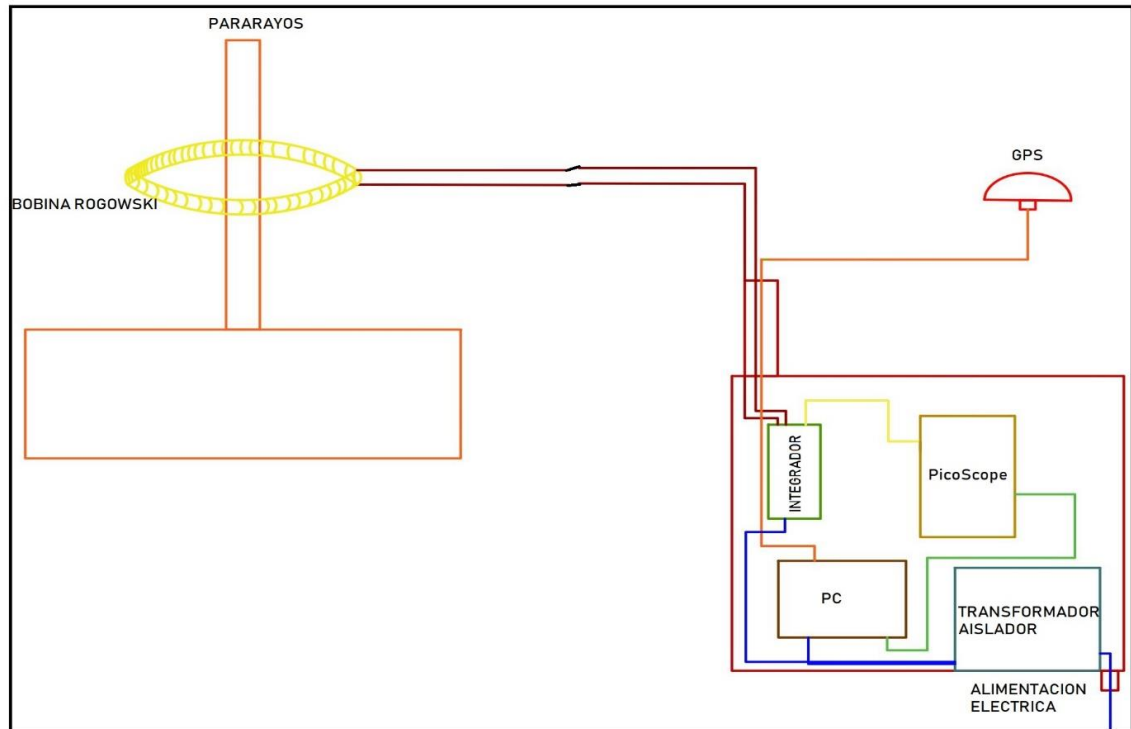
FIGURA 1: Diagrama de bloques del instrumento de medición



Con base en el diagrama de bloques se diseñó el dispositivo de medición que está constituido por una bobina de Rogowski para la medición de la corriente, instalada concéntrica al objeto con mayor probabilidad de recibir impactos de rayos en la estructura que sea destinada para su ubicación (pararrayos, puntas). La señal medida se conduce a través de un cable coaxial al integrador (la señal inducida en la bobina es de tensión, esta se integra para obtener la forma de onda de corriente), su salida se comunica con un osciloscopio conectado a un computador de bajo consumo que almacenará las ondas registradas (FIGURA 2).

Dichos equipos se ubicaron en una caja de aluminio apantallada para evitar interferencias electromagnéticas externas. Las señales medidas se sincronizan en tiempo y espacio con un GPS y se habilitan por medio de una conexión de internet para ser visualizadas en tiempo real

FIGURA 2: Diagrama de conexión



En el proceso de ensamblaje del equipo, se realizó la respectiva programación y las adecuaciones físicas para lograr una mejor comunicación en el momento de procesar los datos obtenidos en la etapa de adquisición de la señal.

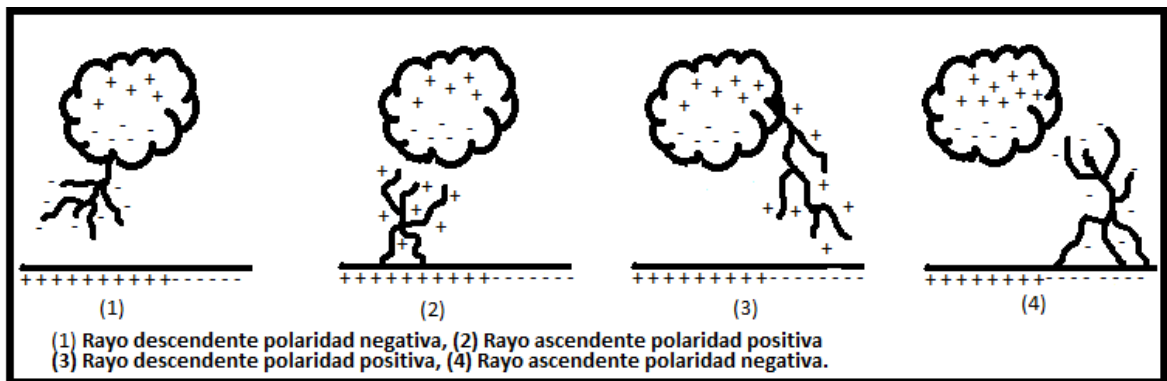
2. ANTECEDENTES

2.1 CATEGORIZACIÓN DEL RAYO

En 1978 fue desarrollada la categorización por Berger, quien fue el primero en plantear cuatro tipos de rayos en términos de la dirección del movimiento entre nube y tierra: ascendente o descendente y en el término del signo de la carga del líder que inicie la descarga: positiva o negativa. (FIGURA 3).

La categoría 1 (rayos negativos nube-tierra) es la más común pues se registra más del 90% de eventos a nivel mundial. Sin embargo, en la investigación sobre la caracterización espacio-temporal de rayos de Colombia, un análisis especial (zona central colombiana) y temporal (1992-1993) en el mes de octubre, se ha encontrado que los rayos pueden ser del 100% de la categoría 3 (rayos positivos nube-tierra). La investigación a este nivel aún continúa, y ya hay resultados similares de otros estudios⁸

FIGURA 3: Caracterización del rayo



Los tipos de descargas 1 y 3 son los que más se han estudiado en el mundo, debido a su interés práctico: son causa de daños en bienes y equipos electrónicos, muertes, perturbaciones en los sistemas de potencia eléctrica y comunicaciones e incendios forestales⁹.

⁸ (Updated statistics of lightning currents measured at Morro Do Cachimbo station, 2012)

⁹ (TORRES SÁNCHEZ, 2002)

2.2 PROCESO DE FORMACIÓN DEL RAYO

La mayoría de los procesos de descarga atmosférica nube-tierra se inician por la aparición de un campo eléctrico ubicado entre la nube con carga negativa N y la tierra con carga positiva P. Una vez la carga de la nube es capaz de romper la rigidez dieléctrica impuesta del aire. En ese momento, el campo eléctrico es del orden de un MV-m en menos de 1 [s], el rayo transporta la carga correspondiente a 1000 electrones, esta carga se transforma en diferentes tipos de energía (energía acústica, calor y energía electromagnética).

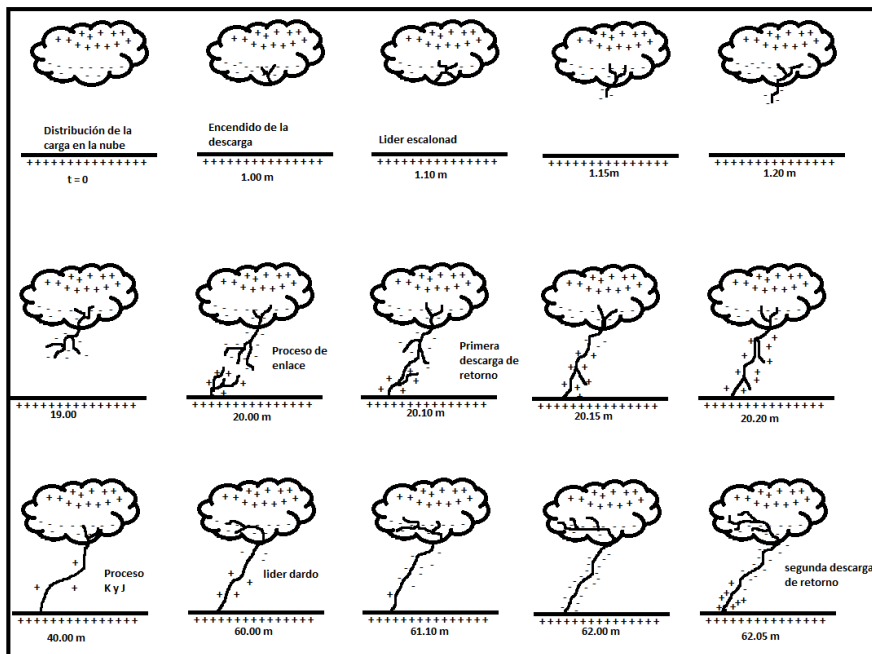
De acuerdo a investigaciones en torno a las etapas que conforman un rayo se concluye que este está formado por:

1. Encendido de la descarga.
2. Líder escalonado.
3. Proceso de enlace.
4. Descarga de retorno.
5. Líder dardo.

Estas 5 etapas se describen a continuación tratando de dar una idea más clara al suceso estudiado. (

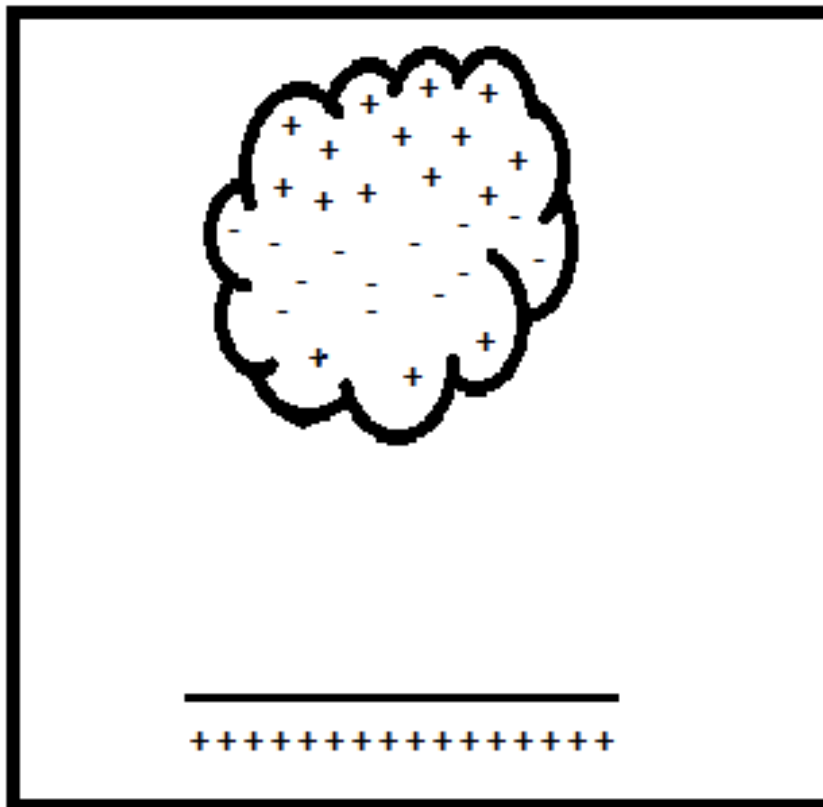
FIGURA 4).

FIGURA 4: Proceso de formación de un rayo



La distribución de la carga de la nube está dada por una estructura tripolar , la cual está constituida por una región de carga negativa N en el centro, con una región de carga positiva P encima de ella y una segunda región, menor, de carga positiva P debajo de aquella, el efecto de la región positiva que se encuentra en la base de la nube se ve anulado por la carga negativa N principal, por lo tanto, se ve con una carga positiva P en la parte superior y una carga negativa N en la inferior igual que un dipolo. Por tal razón, los campos eléctricos más intensos de la nube de tormenta se encuentran en las fronteras superiores e inferiores de las capas principales, en la capa superior se concentra la carga positiva P y en la capa inferior se concentra una polaridad negativa N. (FIGURA 5).

FIGURA 5: Nube de tormenta



Cuando la nube de tormenta inicia un proceso de transformación, en el cual se crea una canal tipo embudo que por medio de la ionización de las gotas de agua, hielo y demás partículas logra romper la rigidez dieléctrica que para ambientes secos es de 30 [kV/cm], en condiciones de presión y presencia de agua existente en las

nubes es de 10 [kV/cm]. Por lo tanto, se empieza a presentar ionización del aire y se facilitan caminos para la conducción de la carga hacia el punto de potencial cero que es la tierra.

2.2.1 Líder Escalonado. El líder escalonado inicia su descarga de retorno al propagarse el rayo de nube a tierra en una serie de pasos discretos los cuales ayudan a crear un canal entre la nube y la tierra. El líder escalonado es iniciado por el encendido de la descarga dentro de la nube, los pasos típicamente son de 1 [μ s], de duración y decenas de metros de longitud, con una pausa entre pasos de cerca de 50 [μ s]. El líder escalonado va descendiendo con una gran capacidad de conexión al objeto de carga opuesta.

La corriente promedio del líder está en el rango de los 0.1 a un 1 [kA] y los pasos tiene pulsos de corriente de al menos 1 [kA]. Al final del proceso del encendido de la descarga se tiene una columna de cargas negativas con un gradiente de potencial que excede en por lo menos un 10% del umbral de ruptura para esas condiciones atmosféricas, proporcionando así la ionización del ambiente. Aunque solo se han mencionado los líderes descendentes negativos, también se presentan líderes escalonados ascendentes, de polaridad positiva o negativa con corrientes que están entre los 20 y los cientos de amperios, siendo los primeros los de mayor ocurrencia¹⁰.

2.2.2 Proceso De Enlace. La diferencia de potencial eléctrico entre la base del líder descendente cargado negativamente y la tierra, tiene una magnitud superior de 10 [MV]. Cuando el líder descendente está próximo a la tierra, el campo eléctrico en los objetos puntiagudos (pararrayos, arboles, torres de transmisión, antenas, aristas de edificios, etc.) o en irregularidades propias de la tierra, superan el valor máximo de tensión disruptiva del aire, debido a eso se genera en ese momento un movimiento de cargas que ascienden desde los objetos ubicados en la tierra al encuentro del líder descendente. Generándose así el proceso de enlace.

La distancia disruptiva de un rayo es quizás el factor más importante para tener en cuenta a la hora de generar discusiones sobre el efecto del apantallamiento de cables en las líneas de transmisión o protecciones de estructuras contra rayos. Hoy en día se define la distancia disruptiva (r_{sc}) como la distancia media desde la punta del líder escalonado descendente hasta la punta de impacto sobre cualquier objeto aterrizado. Esta distancia disruptiva, es la distancia a la cual el líder escalonado descendente siente la atracción eléctrica por el objeto conectado a tierra.

¹⁰ (TORRES SÁNCHEZ, 2002)

2.2.3 Descarga De Retorno. Las descargas de retorno están definidas como una onda de campo eléctrico que asciende por el canal del líder escalonado, alcanzando, en mayor de los casos, penetrar la base de la nube. Logrando así baja de la nube la mayor cantidad de culombios de carga eléctrica, presentando una corriente de hasta 100 kA en la fase más energética¹¹.

Cuando una de las cargas ascendentes entra en contacto con los líderes escalonados que descienden desde la nube, el líder queda a potencial de la tierra, y se presenta lo que se llama la primera descarga de retorno, creando así el camino nube-tierra totalmente ionizado. La primera descarga de retorno produce una corriente pico alrededor de los 50 kA, dependiendo del tipo de latitud donde se presenta el impacto.

Las corrientes medidas producidas por nubes de tormenta con descarga a tierra caen a la mitad de su valor pico en el intervalo de los primeros 50 [µs], y las corrientes superiores a los cientos de amperios pueden durar cientos de milisegundos, después de que ha dejado de fluir el intercambio de cargas nube - tierra, el rayo, incluido el movimiento de cargas dentro de la nube, es llamado descarga simple.

2.2.4 Líder Dardo. Después que la descarga de retorno alcanza la base de la nube esta se expande lateralmente, alcanzando así el límite de la región de descarga de la nube, aumentando el campo eléctrico y produciendo así un nuevo drenaje de carga mediante caminos que penetran alrededor de 200 metros de nube, todavía cargada.

Los líderes dardos usualmente se propagan en forma continua, sin presentar escalonamientos, desde la nube hasta la tierra, siguiendo el canal anteriormente pre-ionizado. Sin embargo, cuando el intervalo de tiempo utilizado para la construcción del líder dorado es excepcionalmente largo desde la descarga de retorno, el líder dardo presenta dificultades a medidas que se aproximan a tierra.

A su vez, pueden producir una descarga de retorno dando origen a los rayos de carácter múltiple. El líder dardo inicializa así la segunda y demás descargas subsecuentes, debido a esto se presentan varias descargas por rayo, esto se define como multiplicidad del rayo. Durante el tiempo de finalización de la primera descarga de retorno se da la inicialización del líder dardo, ocurriendo así procesos que se manifiestan con rápida variación de campo eléctrico, conocidos como procesos J y K¹².

¹¹ (TORRES SÁNCHEZ, 2002) p.35.

¹² *Ibíd.*, p. 67.

2.3 PARÁMETROS DEL RAYO

Se encuentran más de 15 parámetros establecidos por diferentes investigadores que han estudiado las características físicas del rayo. Los parámetros van desde la inicialización de la nube de tormenta hasta el proceso de descarga de la misma. Lo cual conlleva al estudio de diferentes factores en el momento de la interacción espacio-temporal con nuestro entorno (descargas atmosféricas), esto nos lleva a un estudio riguroso de los parámetros más importantes del rayo, los cuales se tendrán en cuenta en el diseño de protecciones para equipos eléctricos, electrónicos y la adecuada protección de vidas humanas.

2.3.1 Polaridad Del Rayo. Este parámetro indica el tipo de carga presente en la corriente de descarga; esta polaridad puede ser positiva o negativa. Los sistemas de protecciones deben tener en cuenta los cambios de polaridad ya que las descargas de polaridad positiva son más peligrosas que las descargas de polaridad negativa.

La polaridad del rayo depende de la región y época del año, los estudios realizados estiman por meses del año la frecuencia de descargas negativas y positivas. En Colombia dependiendo de la zona estudiada montañosa o plana y zona geográfica tenemos con un alto grado de estudio la polaridad de los rayos para los sistemas de protección e influencia en las líneas de transmisión.

2.3.2 Corriente Pico. También llamada corriente máxima del rayo, dada en kA, la cual mediante una medición directa nos muestra el valor máximo alcanzado por una descarga atmosférica en un intervalo de tiempo.

2.3.3 Máxima Rata De Acenso De La Corriente Tipo Rayo (di/dt). Es la variación máxima de la corriente respecto al tiempo, esta medición se hace en el intervalo de frente de la onda tipo rayo dando en valores kA/ μ s. Él (di/dt) es uno de los parámetros más importante del rayo para el cálculo de protecciones contra sobre tensiones, y el análisis espectral de la carga.

2.3.4 OTROS PARÁMETROS. se estudian diferentes tipos de parámetros los cuales se tendrán en cuenta a la hora de la obtención de parámetros claves.

2.3.4.1 Nivel Ceraunico (Nc). El comité Meteorológico internacional IMC (con sus siglas en Ingles International Meteorological Committee), el cual presenta una unidad de medida variable ya que se considera un día de tormenta aquel donde un trueno sea oído y un relámpago observado por un trabajador. Por lo tanto, el nivel ceráunico es la incidencia de días de tormentoso por año presentes en una región o país.

2.3.4.2 Densidad De Descargas A Tierra (DRT). Otro de los parámetros para caracterizar los rayos es la densidad de descargas a tierra (N_g) por $km^2 - año$, este parámetro puede variar en tiempo y espacio, pues los factores que afectan la cantidad de descargas son determinados por la ubicación geográfica y los niveles de polución.

Con la información obtenida se puede determinar la existencia de áreas locales que son especialmente propensas a descargas atmosféricas.

2.4 FORMA DE ONDAS NORMALIZADA DE CORRIENTE

Se han realizado numerosas investigaciones en torno a los parámetros de corrientes de rayos, cuyos resultados se encuentran resumidos en varias normas internacionales de protección de equipos y sistemas y prevén magnitudes de corrientes elevadas. La mayoría de las normas tomadas como referencia a nivel mundial que cubren este tema son las siguientes: ANSI/IEEE C62.41-1991, IEC 61312 e¹³¹⁴¹⁵.

Estas normas son indicativas y representan una guía básica para el usuario en las cuales se definen un grupo de características de forma de onda que representan la amplitud, rata de decrecimiento, tiempo de cola y frecuencia de un evento transitorio típico.

La sección 7.7 de IEEE C62.41 plantea los requerimientos para cada una de las categorías, la forma de onda de corriente es un impulso 8 / 20 μs de magnitud de 10 kA. Esto significa que la magnitud de corriente aumentara al 90% de su valor pico en 8 μs y luego decrecerá a un 50% de su valor en 20 μs (FIGURA 6).

Aunque este valor pico de corriente es unicamente de 10 kA, la norma C62.41 dice que para áreas en categoria C pueden generarse tensiones de circuito abierto de 20 kV y corrientes de descargas de 10 kA o más.

¹³ (IEC, 1990)

¹⁴ (IEC, 1995)

¹⁵ (ASSOCIATION, 1991)

FIGURA 6: Forma de onda de la corriente de impulso 8/20 μs

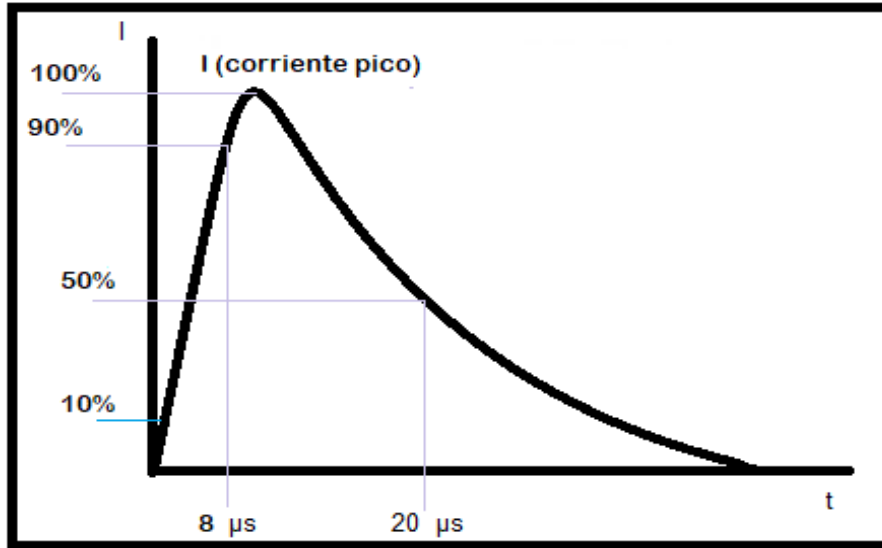
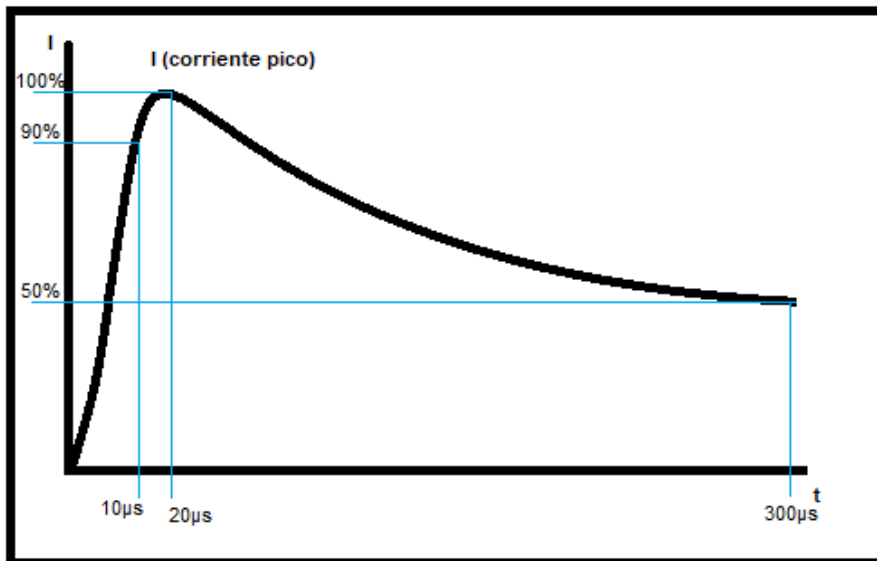


FIGURA 7: Forma de onda de la corriente de impulso 10/350 μs



Aunque este valor pico de corriente es únicamente de 10 kA, la norma C62.41 dice que para áreas en categoría C pueden generarse tensiones de circuito abierto de 20 kV y corrientes de descargas de 10 kA o más¹⁶.

¹⁶ (Los rayos: una vision mitológica, científica y tecnológica, 1991)

La norma IEC 61024 ofrece una clara directiva para definir una forma de onda que describa la energía verdadera que puedan penetrar a una instalación, debido a estos efectos. La forma de onda 10/350 μs incorpora un tiempo de acenso rápido con un relativo largo tiempo de cola. La corriente de impulso de 50 kA aumenta a un 90% de su valor pico en 10 μs y cae la magnitud de su valor en 350 μs (FIGURA 7).

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

El conjunto de equipos utilizados para medición de corrientes de rayo agrupa y sincroniza equipos de medición, acondicionamiento y almacenamiento de señales. En este capítulo muestran las especificaciones de cada uno de los equipos adquiridos por medio de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander su selección se realizó teniendo en cuenta las especificaciones técnicas.

3.1 BOBINA ROGOWSKI CWT600X CON INTEGRADOR

Se implementa la bobina de Rogowski como sensor de medición debido a sus características sobresalientes en cuanto a costo, capacidad de medición a altas corrientes y problemas de saturación con respecto a los instrumentos de medición anteriormente mencionados, la cual está acoplada magnéticamente al conductor que transporta la corriente a medir. La bobina está compuesta por un arrollamiento sobre un núcleo toroidal no ferromagnético. La corriente a medir genera un campo magnético alrededor del conductor, el cual induce una Fuerza Electromotriz en la bobina. Gracias a la ley de Faraday-Lenz (**ecuación 1**) es posible entender cómo el campo magnético genera una diferencia de potencial en los terminales de la bobina, este es producido gracias a la variación del flujo magnético con respecto al tiempo.

$$V_{coil} = -\mu_0 * A * N * \frac{di}{dt}$$

ECUACIÓN 1: LEY DE FARADAY-LENZ

Donde:

μ_0 = permeabilidad del vacío

A = área transversal de la bobina

N = número de vueltas

La bobina seleccionada fue la referencia CWT600x de la empresa PEM cuyas características se muestran en la Tabla 1

Se solicitó al fabricante un cambio en el parámetro di/dt (que en el modelo comercial es de 45 [kA/ μ s]) teniendo en cuenta que la instalación será en una zona tropical, debido a esto el equipo podría presentar elevaciones de corriente con gran velocidad (di/dt) de frente de onda, por tal motivo fue conveniente sobredimensionar las características debido a que se presenta un nivel alto de incertidumbre al no tener antecedentes de mediciones directas en esta zona.

TABLA 1: Especificaciones bobina de rogowski ctw 600x

Tipo	Sensibilidad (mV/A)	Corriente pico (kA)	di/dt (kA/us)	Interferencia (mV)	Desviación (%/ms)	LF(3db) ancho de banda	HF(3db) Ancho de banda bobina de largo 700mm
CWT 600X	0.05	120	120	10	0.06	0.05	16

Se obtiene un rango de error de $\pm 0.2\%$ con el conductor ubicado en el centro de la bobina y con el conductor localizado en otro punto diferente del centro de la bobina se obtiene un error de $\pm 1\%$ de la tensión medida.

3.1.1 Integrador CWT. La onda de entrada al integrador es la tensión inducida en los terminales de la bobina, la cual es la derivada de la corriente que se desea medir, por tal razón es necesario la utilización de un integrador activo para la recuperación de la señal deseada que sea capaz de trabajar en un gran rango de frecuencia (FIGURA 8).

El integrador CWT cuenta con un conector de 2.5 mm para una fuente de alimentación de 12 Volts en corriente continua (V_{cc}) con el fin de funcionar con alimentación constante. Por otra parte, cuenta con un conector tipo BNC para la conexión de un cable coaxial de 0.3 [m] de longitud y con terminal BNC. (FIGURA 9); el integrador recibe por medio del cable coaxial la señal de tensión inducida en la bobina con tolerancia de entrada de 0V a 6V, la señal es integrada para entregar en el puerto de salida la forma de onda de la corriente medida

FIGURA 8: Diagrama de bloques integrador activo

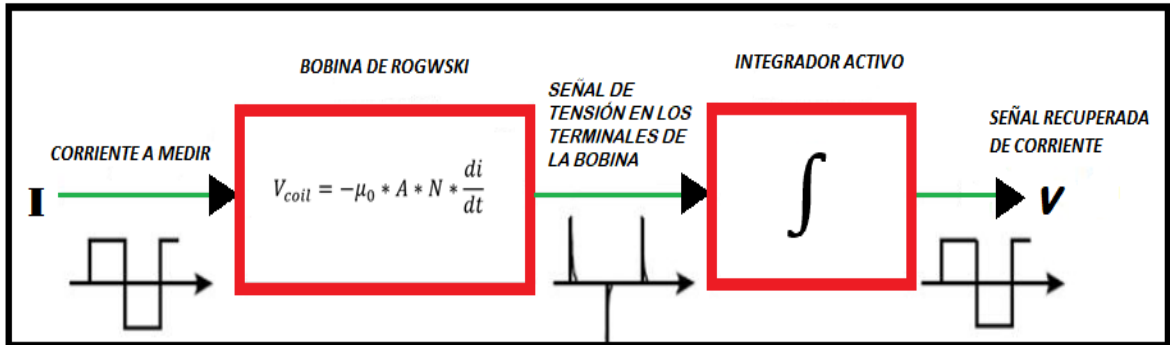
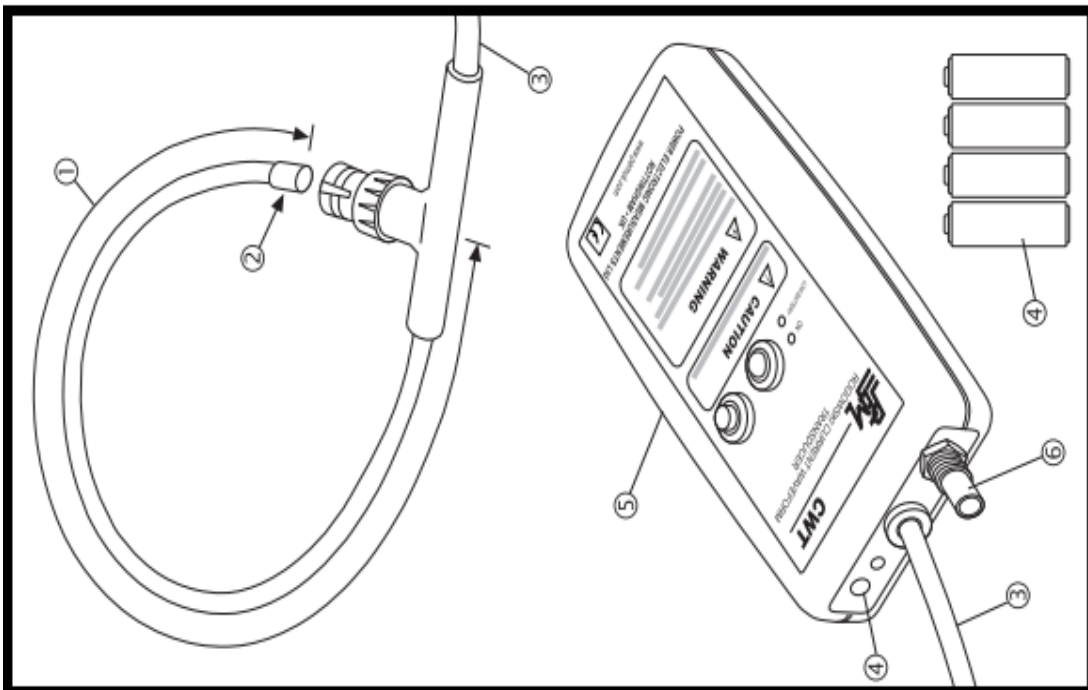


FIGURA 9: Bobina de rogowski cwt 600x



1. Circunferencia de la bobina (500 mm)
2. Sección transversal de la bobina (8.5 mm²)
3. Longitud del cable (4 m)
4. Baterías (4 x AA de 1.5V)
5. Enchufe de 24 V (10%) de salida en DC.
6. Dimensiones del integrador (H= 183 mm, W= 93mm, D= 32mm)
7. Conector de salida BNC (impedancia de salida de 50Ω)

3.2 OSCILOSCOPIO PICOSCOPE USB 3205D

Los osciloscopios de la serie PicoScope 3000 son pequeños, ligeros y portátiles, características que junto con sus especificaciones técnicas de ancho de banda, memoria interna, resolución, velocidad de muestreo y el software PicoScope6 lo hacen idóneo para esta aplicación (FIGURA 10).

Por lo tanto, se compra del osciloscopio PicoScope USB 3205D con las especificaciones presentadas en la Tabla 2.

FIGURA 10: Picoscope serie 3000



ANCHO DE BANDA: Es el intervalo de frecuencia en el cual el canal puede soportar y procesar los datos, su valor está Dado en Hz, el ancho de banda es el rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal puede ser el cálculo de una señal temporal mediante la transformada de Fourier. Debido a los registros documentados¹⁷¹⁸ las frecuencias de rayos varían entre los 200 Hz y 2 MHz. Se establece que el ancho de banda debe ser igual o superior a los 2 MHz

TIEMPO DE SUBIDA: tiempo en que tarda la señal en subir desde su valor mínimo hasta su valor máximo.

¹⁷ (SOTO RIOS, 2016)

¹⁸ (Determination of reflection coefficients at the top and bottom, 2003)

RESOLUCIÓN VERTICAL: el número de bits que utiliza el osciloscopio para representar el nivel de la señal¹⁹.

TABLA 2: Especificaciones picoscope 3205D

Modelo	Canales de entrada analógicos	Tiempo de esntrada	Ancho de banda	Limitador de ancho de vanda	Resolucion vertical
3205D	2	conector BNC asimetrico	100 MHz	20 MHz seleccionables	8 Bits
Resolucion mejorada	Rangos de entrada	Sensibilidad de entrada	Acomplamiento de entrada	Caracteristicas de entrada	exactitud de CC
12 bits en el software	± 20 mV a ± 20 V	Entre 4 mV/div y 4 V7div	CA/CC	$1 \text{ M}\Omega \parallel 14 \text{ pF}$	$\pm 3\%$ de la escala completa $\pm 200\mu\text{v}$
Tamaño de bufer	Velocidad de muestreo maxima	Alimentacion	Conexión con PC	Exactitud de ajuste de desviacion	proteccion contra sobretensiones
Un canal 512K dos canales 256K	Un canal 100MS/s Dos canales 100MS/s	Desde los Puertos USB: De 4.6 a 5.25 V; 500mA, no se requiere alimentación externa	USB 3.0 USB 2.0 USB 1.1	$\pm 1\%$ de ajuste de desviación, adicional a la exactitud de CC.	± 100 V (CC + CA pico)

RANGOS DE ENTRADA: el osciloscopio 3205D está diseñado para soportar tensiones en un rango de -20 a 20 V. cualquier tensión superior puede ocasionar daños en el dispositivo.

TAMAÑO DEL BÚFER: es el número máximo de formas de onda capaz de almacenar, tanto en datos como en imágenes, las cuales están presentes en la memoria del osciloscopio en el momento de ser transferida al ordenador.

VELOCIDAD DE MUESTREO: es la capacidad de muestreo de una señal dependiendo el tipo de señal se requieren mayor número de muestras, ya que

¹⁹ (IEC, 2010)

dependemos de una señal transitoria se requiere un nivel de muestreo superior a dos veces la frecuencia máxima de la señal.

3.2.1 Diagrama De Conectores. Se describen las características más importantes del osciloscopio 3205D.

- Los conectores de entrada analógica del osciloscopio son conectores BNC estándar de impedancias. Por lo tanto, son compatible con la mayoría de sondas de osciloscopios que incluyan variantes x10 y variantes conmutadas x1/x10.
- La entrada externa se puede usar como una fuente de disparo seleccionada en el menú trigger del software PicoScope 6. La entrada EXT utiliza un círculo dedicado junto con un umbral de configuración del software para detectar una señal de disparo. De esta forma, se dejan los canales analógicos libres para la visualización de señales.
- Todos los modelos disponen de un puerto superSpeed USB 3.0 para la conexión con un PC.
- El terminal a tierra elimina el ruido externo que puede interferir en ocasiones en las mediciones si se utiliza PicoScope con un ordenador que no disponga de una conexión de tierra. Si ocurre esto conecte el terminal de tierra a una toma de tierra externa para proporcionar una referencia de tierra para el osciloscopio.

En cuanto a la distribución de las entradas y salidas del PicoScope 3205D la encontramos en la figura 11

FIGURA 11: Diagrama de conectores del modelo de dos canales picoscope 3205D



3.2.2 Requerimientos Mínimos Del Sistema. Para el correcto funcionamiento del picoscope, se debe contar con un ordenador que cumpla con los parámetros de la TABLA 3.

TABLA 3: Requisitos del sistema

<i>Elemento</i>	<i>Especificaciones mínimas</i>	<i>Especificaciones recomendadas</i>
Sistema operativo	Windows XP SP3 o posteriores, Windows vista, Windows 7 o Windows 8	
	Edición de 34 o 64 bits	
	No con Windows RT	
Procesador	300 MHz	1 GHz
Memoria RAM	256 MB	512 MB
Espacio libre en el disco *	1 GB	2 GB
Puertos	Puertos USB 2.0	Puertos USB 2.0
		Puertos USB 3.0

* El software PicoScope no utiliza todo el espacio en el disco especificado en la tabla 4. El espacio libre se necesita para que el sistema operativo Windows funcione de forma eficiente.

3.3 COMPUTADOR FIT PC4 PRO

Para el almacenamiento y procesamiento de los datos obtenidos por el PicoScope y el GPS se hace necesario el uso de un ordenador.

Se adquiere un ordenador de bajo consumo, alto rendimiento y con 16 GB de memoria RAM, con compatibilidad de sistemas operativo Windows, teniendo en cuenta los requerimientos mínimos para la instalación del software del PicoScope 6 (enunciados en la TABLA 3). En la TABLA 4 se muestran las especificaciones técnicas más importantes del ordenador, en el anexo A se relacionan todas las especificaciones técnicas.

TABLA 4: Especificaciones técnicas fit pc4 pro

Elemento	Especificaciones
Modelo	Fit-PC4 Pro barebone
Procesador	SoC AMD GX-420CA (2GHz), con cuatro núcleos de 64 bits
Disco duro	SSD interno de 119 GB
Sistema operativo	Linux oficial (Linux mint 18 cinnamon (64 bits))
Consumo	6 W – 24 W
Puertos	2 puertos USB 3.0
	6 puertos USB 2.0
Memoria RAM	16 GB
Peso	1100 gr
Dimensiones	19 cm x 16 cm x 4 cm (Largo x Ancho x Alto)
Voltaje de entrada	entrada 100-240VAC 50 / 60Hz, 36W salida 12VDC 3ª
Red inalámbrica	WLAN 802.11ac (2.4 / 5 GHz banda dual Intel 7260 HMW) Bluetooth 4.0

FIGURA 12: Ordenador fit pc4 pro



El ordenador cuenta con los siguientes accesorios para su correcta instalación (FIGURA 13).

- Ordenador FIT-PC4 (FIGURA 12).
- Fuente de alimentación: entrada 100-240 VAC 50 / 60Hz, 36W salida 12VDC 3A, bloqueo de CC.
- Cable de CA para enchufes estándar norteamericanos.
- Adaptador HDMI a DVI.
- Cable de audio de 3.5 mm a RCA.
- 2 antenas Wifi.
- Mini-serial al cable del adaptador DB9-hembra.

FIGURA 13: Accesorios fit pc4 pro



3.4 GPS 19X HVS (NMEA 0183)

Para obtener los datos de ubicación (latitud y longitud) y hora (horas, minutos y segundos), se definió el uso de un dispositivo GPS. Se utiliza un dispositivo que sea capaz de entregar en tiempo real la información exacta de su ubicación ya que gracias a esta información podemos obtener hora y lugar del evento de descarga atmosférica. Por lo tanto, se hace la adquisición de la antena de alta precisión GPS 19x HVS la cual proporciona una velocidad de actualización de datos de posición 10 veces por segundo a través de una velocidad de comunicación en serie de 38400 bps. Ofrece una recepción de alta sensibilidad y adquisición de la posición. (Figura 14)

FIGURA 14: Gps 19x hvs (nmea 0183)



FUENTE: AUTORES

El dispositivo GPS 19x HVS NMEA 0183 cuenta con las siguientes especificaciones técnicas (Tabla 5)

TABLA 5: Especificaciones gps 19x hvs nmea 0183

Elemento	Especificaciones
Dimensiones (diámetro x altura)	91.6 mm x 49.5 mm
Longitud del cable	9.14 metros
Peso	201 gr
Rango de temperatura	-30°C a 80°C
Material de la carcasa	Aleación de plástico totalmente sellada y de alta resistencia a los impactos, resistente al agua conforme a las normas IEC 60529 IPX7
Distancia de seguridad de la brújula	150 mm
Fuente de alimentación	8 – 33 de CC, irregular
Toma de corriente	40 mA a 12 V de CC

3.5 TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

Con el fin de proteger los dispositivos electrónicos que lo conforman de posibles perturbaciones eléctricas en la red, aislar transitorios y evitar la interferencia causada por los bucles de tierra el equipo se dotó con un transformador de aislamiento. Este también cumple con la función de regular el nivel de tensión entregado, pues tiene un circuito electrónico que controla el cambio de tap's. El transformador de aislamiento es un transformador uno a uno diseñado para aislar los dos devanados y proteger los equipos conectados en el secundario. Las perturbaciones en su mayoría se originan por descargas atmosféricas y conmutación de las redes de energía eléctrica.

Por tal motivo se hace la adquisición del dispositivo POWER 1000 ISOLADO Figura 15) capaz de aislar los equipos de la red de alimentación provocando un aislamiento total y cuenta con un supresor de sobretensiones siendo capaz de mantener una tensión de salida, este equipo cuenta con las siguientes características:

- Cuatro salidas reguladas con polo a tierra.
- Filtro de línea: elimina el ruido eléctrico.
- Supresor de picos de voltajes: elimina transitorios de voltajes.
- Transformador de aislamiento entre fase y neutro de entrada y fase y neutro de salida.
- Corrige diferencia de tensión entre neutro y tierra.
- Circuito eléctrico con microcontrolador.

FIGURA 15: Transformador de aislamiento y especificaciones técnicas



**ESPECIFICACIONES
POWER 1000 ISOLADO**

Codigo:	31011024
Tipo de conexión:	1 fase AC + Neutro + Tierra
Voltaje de entrada:	95 - 140 VAC ~ 60 Hz
Corriente de entrada:	3A~ Máximo
Voltaje de salida:	115 VAC +8% - 6% - 60 Hz
Corriente de salida:	3A~ Nominal
Potencia:	350VA
Protección:	Fusible 3A
Temperatura ambiente	5°C Mínima, 50°C Máxima
Espectativa de vida	tw10 50, 10 años a 50°C
Uso interior únicamente	

MONITOR DE VOLTAJE DE ENTRADA

Alto (Rojo): Voltaje de entrada muy alto (fuera del rango).
 Normal (Verde): Voltaje de entrada dentro del rango del regulador.
 Bajo (Amarillo): Voltaje de entrada muy bajo (fuera del rango).

3.6 COFRE INTEMPERIE

Se diseña un contenedor hermético con la capacidad de salvaguardar los equipos descritos previamente, teniendo en cuenta que se pueden presentar interferencias electromagnéticas en los dispositivos electrónicos, se define como parámetro de construcción su elaboración en aluminio y con grado de protección IP66 (protección fuerte contra polvo y protección fuerte contra chorros potentes de agua). Teniendo en cuenta las medidas de cada uno de los equipos que van a instalar dentro del cofre, se establecen las siguientes medidas superficiales (alto= 60 cm, ancho= 60 cm y fondo= 30 cm) **(ANEXO C)**. Siendo de esta manera elaborado por la empresa SOLUCIONES MDS S.A.S, para la cual entrega un certificado de conformidad del producto **(ANEXO B)**, donde certifica los requerimientos de la resolución 90708 del 2013 del MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA- RETIE (numeral 20.23.1.1 y numeral 20.5).

TABLA 6: Especificaciones técnicas del certificado de conformidad

<i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL COFRE INTEMPERIE</i>
➤ Recubrimiento en pintura electrostática texturizada con gris RAL 7035.
➤ Planta de pintura certificada a 600 horas de cámara salina.
➤ Placa doble fondo removible.
➤ Puntos para tierra.
➤ Una gama de accesorios que permite sus usos en distintas aplicaciones.
➤ Con grado de protección IP 66 que cumpla con IEC EN 62208 Y EN 60529.
➤ Cumple con normativa RoHs, EMC, RFI y EMI
➤ Certificado UL Nema 4x, 12, 3r y 1 bajo petición. No File E342220

4. CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO

4.1 COMPRA DE LOS EQUIPOS

Los equipos descritos en el capítulo 4 fueron adquiridos con los fondos destinados por la VICERRECTORÍA de investigación y extensión (VIE) de la Universidad Industrial de Santander los cuales se encuentran descritos a continuación. (TABLA 7)

TABLA 7: Costos de los equipos

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	Bobina Rogowski	\$ 5.204.553	\$ 5.204.553
1	Fit PC 4	\$ 3.963.989	\$ 3.963.989
1	Picoscope	\$ 5.613.886	\$ 5.613.886
1	Cofre de aluminio intemperie	\$ 680.000	\$ 680.000
1	Transformador de aislamiento	\$ 173.000	\$ 173.000
1	GPS	\$ 839.900	\$ 839.900
1	Otros	\$ 143.050	\$ 143.050
	TOTAL	\$ 16.618.378	\$ 16.618.378

4.2 ENSAMBLAJE DEL EQUIPO

Luego de tener los elementos necesarios para la construcción del equipo se procedió a realizar la conexión de estos equipos. Dentro del cofre de intemperie fueron fijados los dispositivos electrónicos que conforman el equipo de medición (ordenador, transformador de aislamiento, osciloscopio e integrador), fuera de este se ubicaron la bobina de Rogowski, el GPS y las antenas de recepción WIFI.

4.2.1 Fijado De Los Equipos. Teniendo en cuenta la necesidad de transportar el dispositivo, los equipos se fijaron en el cofre utilizando cinta doble faz de alta resistencia y con temperatura máxima de 80°C, esto con el fin de evitar perforaciones adicionales en el cofre que puedan afectar el apantallamiento que este ofrece a los dispositivos electrónicos FIGURA 16.

FIGURA 16: Fijado de equipos en el cofre de intemperie



4.2.2 Cofre De Intemperie. Para el uso del dispositivo en zonas de difícil acceso, en estructuras altas o torres de comunicaciones o y considerando la ausencia de infraestructura de tipo casetas de máquinas o cuartos de control, los elementos electrónicos fueron ubicados dentro de un cofre de intemperie, FIGURA 17, que en este caso los protege de las condiciones climáticas y de posibles interferencias de tipo electromagnético presentes en la zona.

FIGURA 17: Cofre intemperie



Para la alimentación de los dispositivos y la transmisión de los datos recolectados por la bobina y el GPS, fue necesario realizar perforaciones al cofre. Con el fin de mantener la compatibilidad electromagnética se ubicaron codos de aluminio en las perforaciones y se canalizó el cableado con ductos de aluminio.

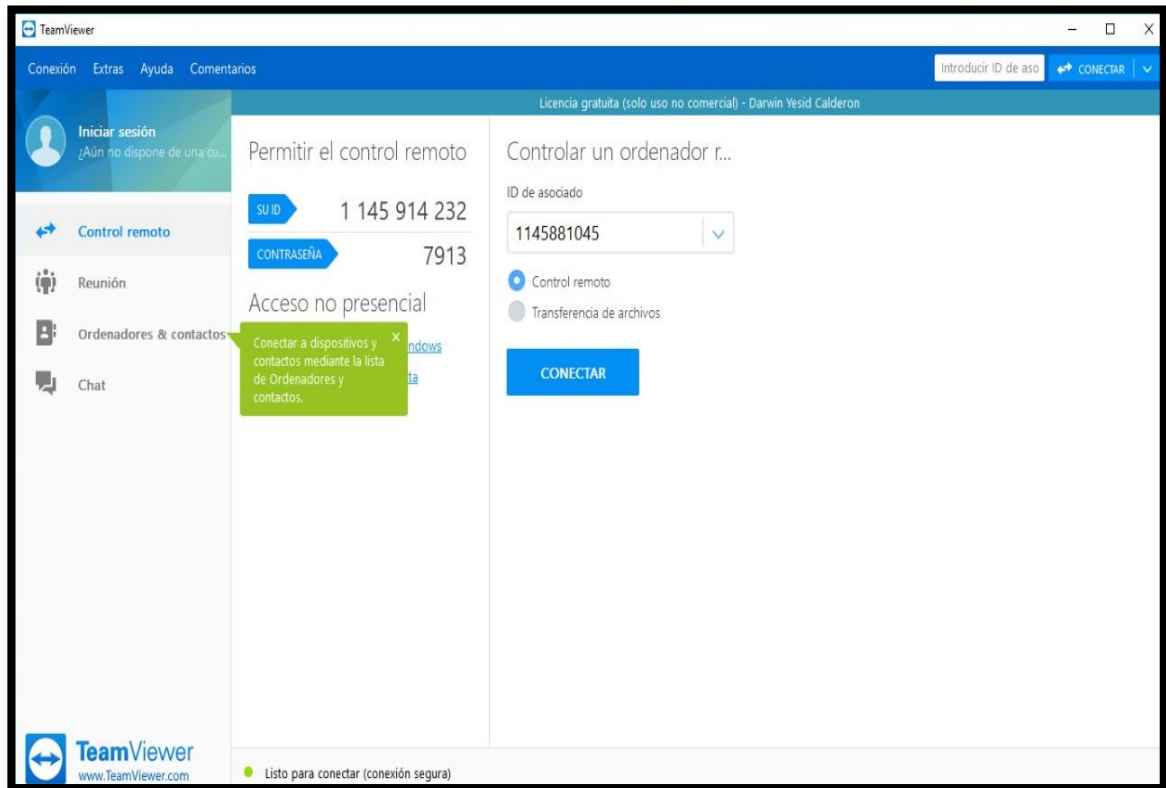
4.2.3 Conexión De Los Equipos. Se ubicó el transformador de aislamiento en el cofre, este es el único elemento que se alimentó directamente desde la red. En los puertos de salida se conectaron el computador, el GPS y el integrador de la bobina de Rogowski para ser alimentados por el devanado secundario; esto con el fin de proteger los dispositivos contra sobretensiones repentinas que se puedan presentar en la red.

La función que cumple el ordenador es la ejecución de los software que serán descritos en la sección 0 y el almacenamiento de los datos producto de las mediciones. Los dos equipos conectados directamente fueron el PicoScope y el GPS para el cual se adaptó un cable con conexión USB, por medio de puertos USB 3.0 y 2.0 respectivamente; estos dispositivos entregan al computador la forma de onda de la corriente y las coordenadas que describen la ubicación del dispositivo.

El integrador se comunica con el PicoScope por medio de un cable coaxial, para enviar a este la señal de la bobina luego de ser integrada.

4.2.4.3 Teamviewer. Con el fin de tener acceso remoto al ordenador se instaló el software TeamViewer con licencia de uso no comercial, pues la aplicación del software fue netamente académica; este nos permite controlar el dispositivo desde cualquier equipo con acceso a internet para configurar datos y administrar archivos.

FIGURA 19: Interfaz del software



4.3 AJUSTE DE PARÁMETROS

En el desarrollo fueron pre-establecidos parámetros de funcionamiento tanto en el ordenador como en el programa PicoScope con el fin de evitar problemas por cambio de parámetros asociados a cortes de energía eléctrica teniendo en cuenta posibles ubicaciones con difícil acceso.

4.3.1 Parámetros Del Ordenador. Con el fin de reestablecer el funcionamiento del equipo en casos de contingencia, se configuró un encendido automático. Esta función se activa cuando el equipo es energizado después de sufrir una desconexión repentina del suministro energético.

- Se accedió al BIOS (basic input/output system) pulsando F2 al iniciar el ordenador
- En el menú “Advanced” fue seleccionado ACPI configuration (Advanced Configuration and Power Interface)
- En la opción “Restore on AC/power loss” se configuró Power On
- Para salir del menú del BIOS y guardar los cambios efectuados se eligió la opción “F10 save and exit”

Para iniciar automáticamente los programas PicoScope6, TeamViewer y el ejecutor del GPS, estos se enlazaron con el proceso de inicio del computador

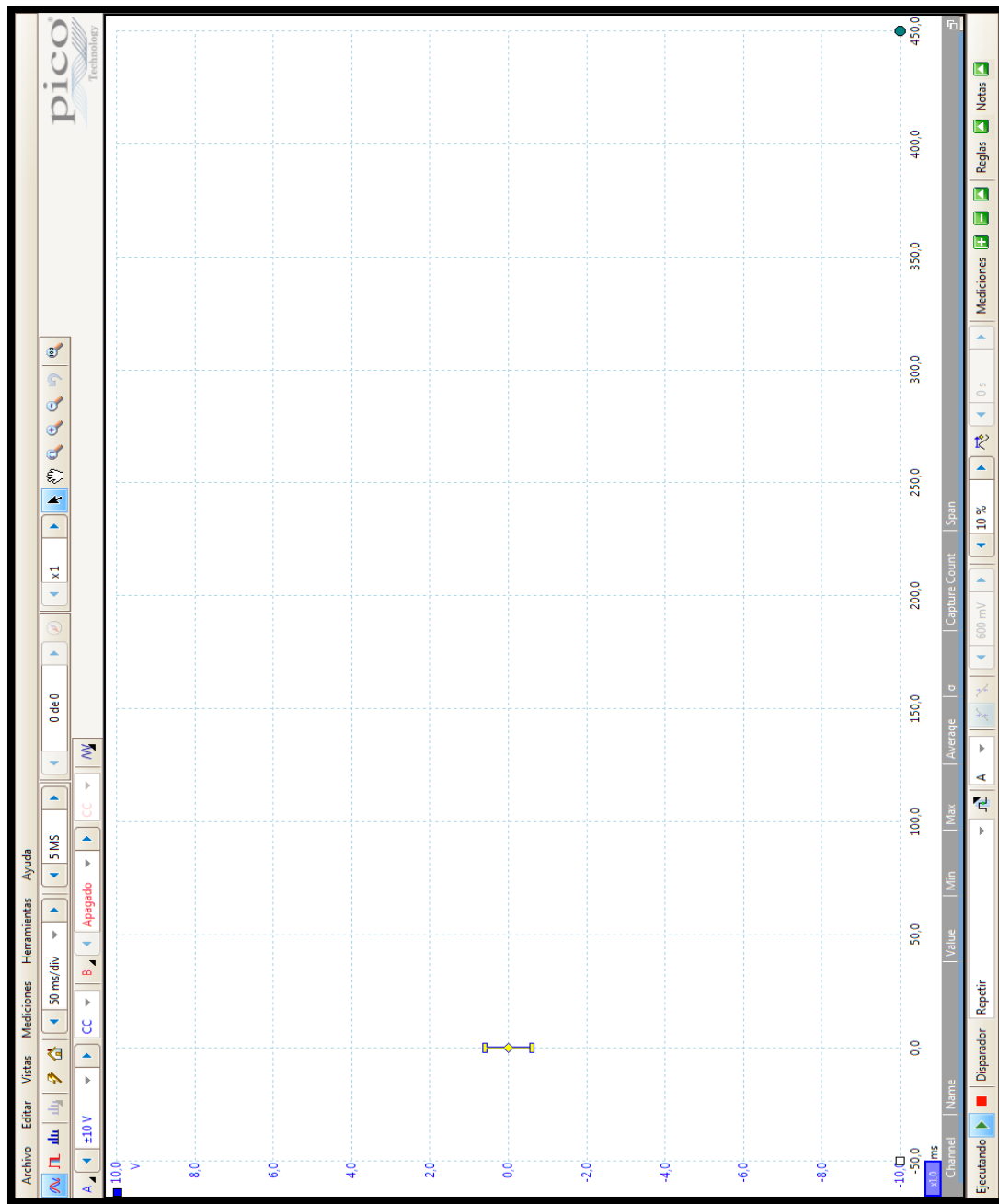
4.3.2 Parámetros Del Picoscope. Los parámetros establecidos por el fabricante del programa PicoScope6 fueron modificados teniendo en cuenta las necesidades impuestas por las características del rayo. Por otra parte, se deben almacenar automáticamente los datos registrados al superar el nivel de trigger, función que proporciona el software y se puede preestablecer en el funcionamiento del mismo.

FIGURA 20: Barra de herramientas picoscope6



Para definir la escala del eje de las ordenadas (que representa el valor de tensión que entrega el integrador) se tuvieron en cuenta las características de la bobina de Rogowski, que induce 0,05 [V] por cada kA que circula, como la capacidad de la bobina es de 120 [kA], su tensión máxima de salida es de 6 [V], entonces se tomó una escala entre -10 y 10 V.

FIGURA 201: Interfaz del software picoscope6



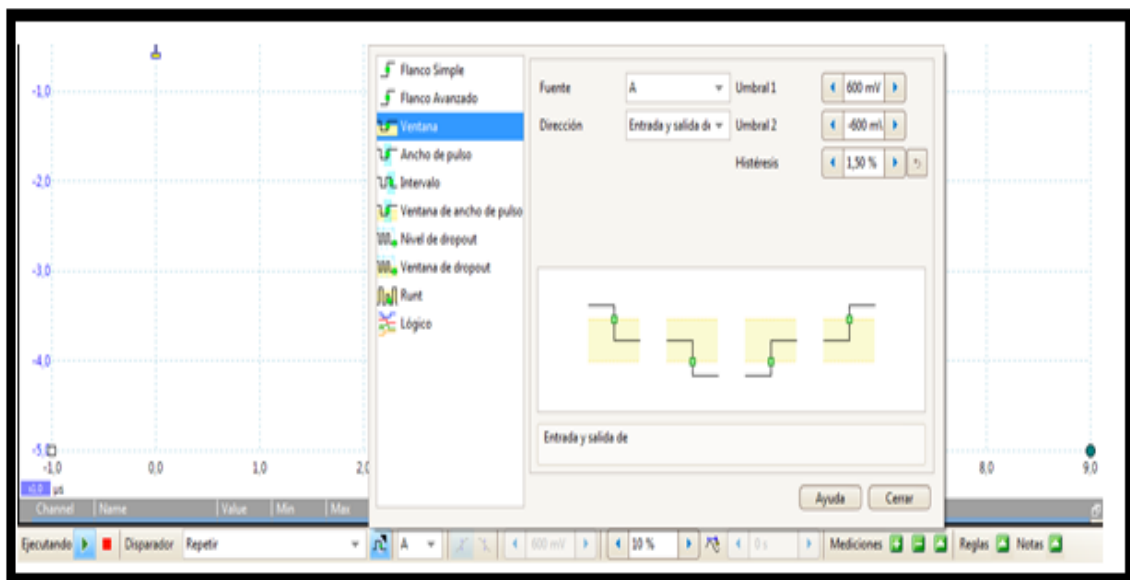
Con el fin de evitar disparos innecesarios debido al ruido que se puede introducir en la medición de la bobina o por fuentes de señales externas, el valor de trigger definido fue de 0,6 V (12 kA).

Teniendo en cuenta parámetros característicos de la señal, se definió un tiempo de pre-trigger que equivale al 10% del tiempo de la señal medida de 50 [ms] y pos-trigger de 450 [ms], esta ventana de tiempo fue establecida con el fin de capturar las descargas subsecuentes que se pueden generar por el intercambio de cargas entre la nube y tierra por medio del canal ionizado generado por el rayo y una resolución de 9 bits, teniendo en cuenta que, de esta manera la escala para la medición será aproximadamente de 0,47 [kA] por subdivisión.

$$resolución = \frac{Corriente\ máxima}{2^{número\ de\ bits}} = \frac{120\ kA}{2^9} = 0,46875\ [kA]$$

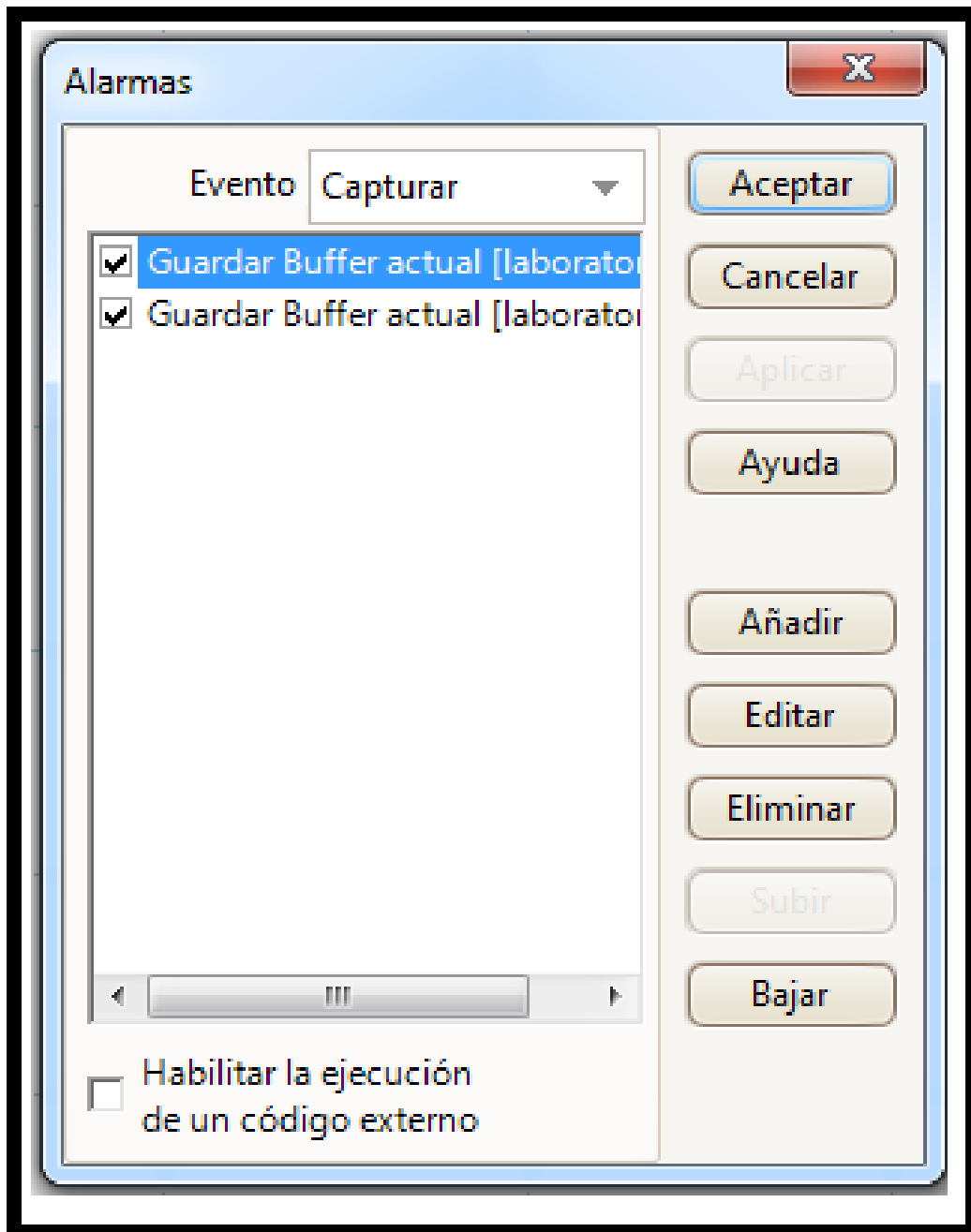
se definió el modo ventana para el trigger, el cual activa el disparo en caso de sobrepasar el valor definido en polaridad positiva o negativa.

FIGURA 21: Configuración del trigger



Para el almacenamiento de los datos en la memoria del ordenador se activó la función de alarma, una de tipo guardar imagen en formato “.psdata” y otra guardar datos en formato “.csv”; dichas alarmas transmiten los buffer de almacenamiento disponibles en el PicoScope, de esta manera se evitan interferencias por la transmisión de los datos entre dispositivos pues estos se envían como un archivo completo y se mejora la respuesta de la medición, pues el equipo tiene 32 buffer disponibles.

FIGURA 22: Almacenamiento de los buffer



La disposición final del equipo se muestra en la FIGURA 23.

FIGURA 23: Dispositivo de medición de corriente de rayo



5. PRUEBAS

Se realizaron pruebas independientes para verificar el correcto funcionamiento del ordenador y el PicoScope, por otra parte, fueron realizadas las pruebas al equipo totalmente ensamblado.

5.1 PRUEBAS AL ORDENADOR (FIT PC4).

Con el ordenador encendido se realizaron conmutaciones a la alimentación, para verificar que se realizara el reinicio posterior a un corte repentino de energía y ejecutara los programas que se fijaron predeterminados al encendido del mismo. Los programas predeterminados son los siguientes PicoScope 6, garmin GPS y teamviewer los cuales es necesario que estén activos desde el inicio para su correcto funcionamiento y garantizar una excelente toma de muestras.

5.2 PRUEBAS AL PICOSCOPE

Con la ayuda de un generador de señales (FIGURA 24), se verificó que el trigger cumpliera con los parámetros establecidos, de pre-trigger, pos-trigger, magnitud y almacenamiento, obteniendo capturas con diferentes tipos de señales y con diferentes frecuencias. En este caso se fijó un valor de trigger comprendido en el siguiente rango $[-0.1 \text{ V} \leq \text{trigger} \leq 0.1 \text{ V}]$. (**Ver FIGURA 25 y anexo E.**). De esta forma se logró verificar el correcto funcionamiento del osciloscopio en el momento de registrar una señal a alta y bajas frecuencia con una capacidad de más 50000 muestras por microsegundo.

FIGURA 24: Medición de ondas provenientes del generador de señales

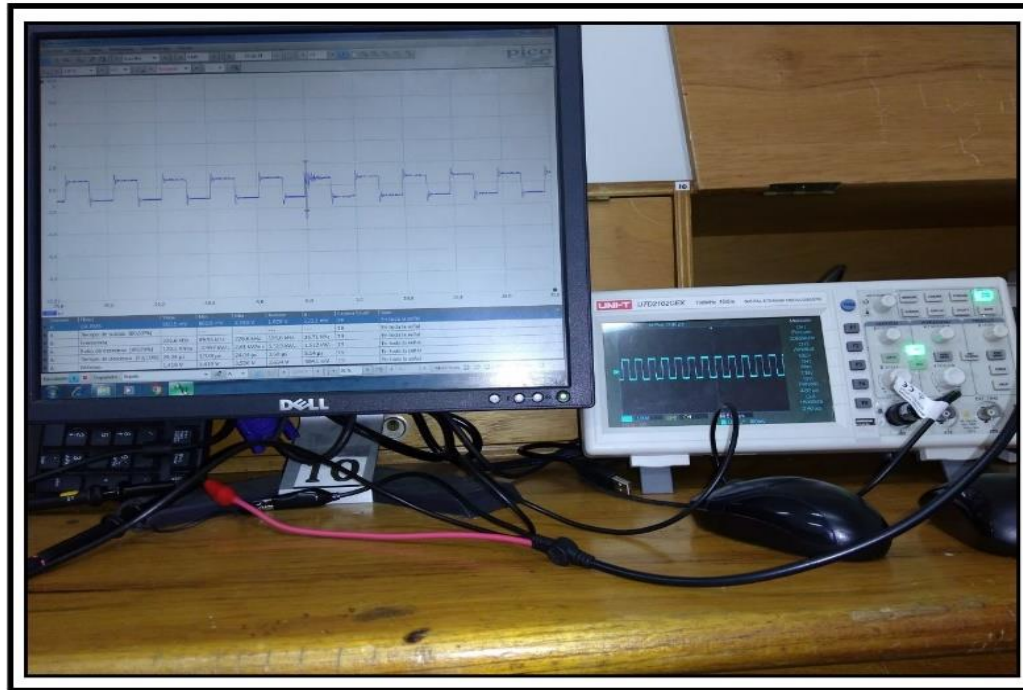


FIGURA 25: Señal con magnitud aleatoria de tipo senoidal registrada en la pantalla del picoscopio.

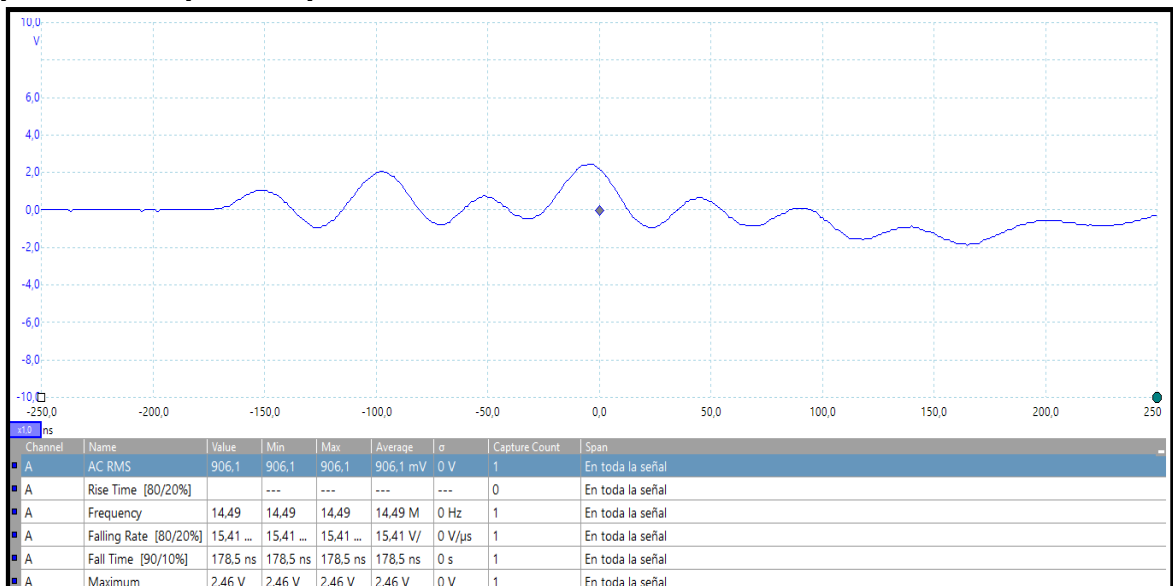
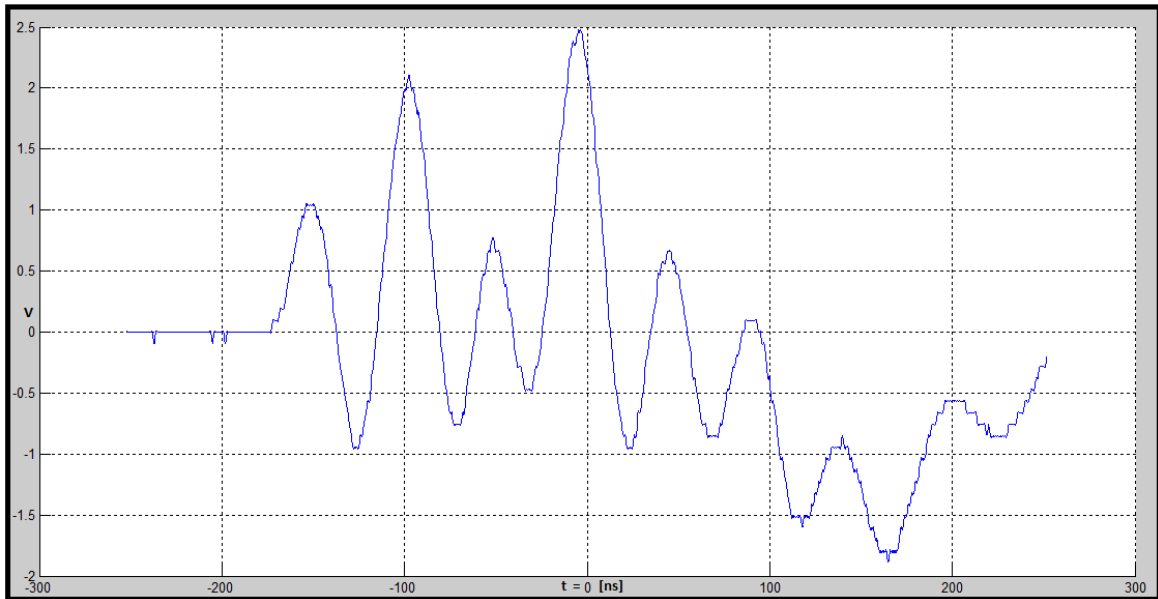


FIGURA 26: Señal de tipo senoidal con magnitud aleatoria



5.3 PRUEBAS AL DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE DE RAYO

Las pruebas al dispositivo fueron realizadas por medio del generador de impulsos de tensión ubicado en el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Industrial De Santander; se utilizó un arreglo punta-punta conectado al generador de impulsos tipo rayo cuya tensión se midió a través de una resistencia shunt, la cual está conectado a un osciloscopio industrial FLUKE 99b de dos canales (FIGURA 27).

Para implementar el montaje descrito en la FIGURA 27 fueron utilizados los equipos disponibles en el Laboratorio de Alta Tensión. Se conectaron 4 etapas del generador de impulsos de tensión Haefely tipo S-serie SGS800/20, las resistencias utilizadas fueron de 138Ω (R_t) para la cola, de 20Ω (R_f) para el frente y de 610Ω en la esterilla, las cuales permiten obtener la forma de onda de tipo impulso atmosférico. La salida se conectó Al divisor capacitivo tipo CS 1000 de HAEFELY con relación $720.5 : 1$, el lado de alta tensión se puso en contacto con el arreglo punta-punta con 10 cm de separación, este espacio actúa como entrehierro en el cual se indujo la descarga. La resistencia shunt se utilizó como divisor de tensión para conectar el osciloscopio por medio de un cable coaxial al lado de baja tensión. El sensor del objeto en prueba se ubicó en la base de la punta que recibe la descarga (

FIGURA 28)²⁰²¹.

²⁰ (RUGELES JONES, 1991)

²¹ (CHACÓN VELASCO, y otros, 2017)

El procedimiento experimental utilizado fue el de pruebas up & down, cada etapa se cargó inicialmente con 15 kV, el nivel de tensión se aumentó en 5 kV (1.25 kV por etapa) hasta llegar a un valor de 75 kV (17.5 kV por etapa); valor en el cual se presentó una descarga, los valores sin descarga generaron una corriente de desplazamiento. Las formas de onda de corriente de desplazamiento y corriente de descarga fueron registradas y almacenadas por los dos equipos

FIGURA 27: Diagrama del circuito del dispositivo de impulsos tipo rayo del laboratorio de alta tensión.

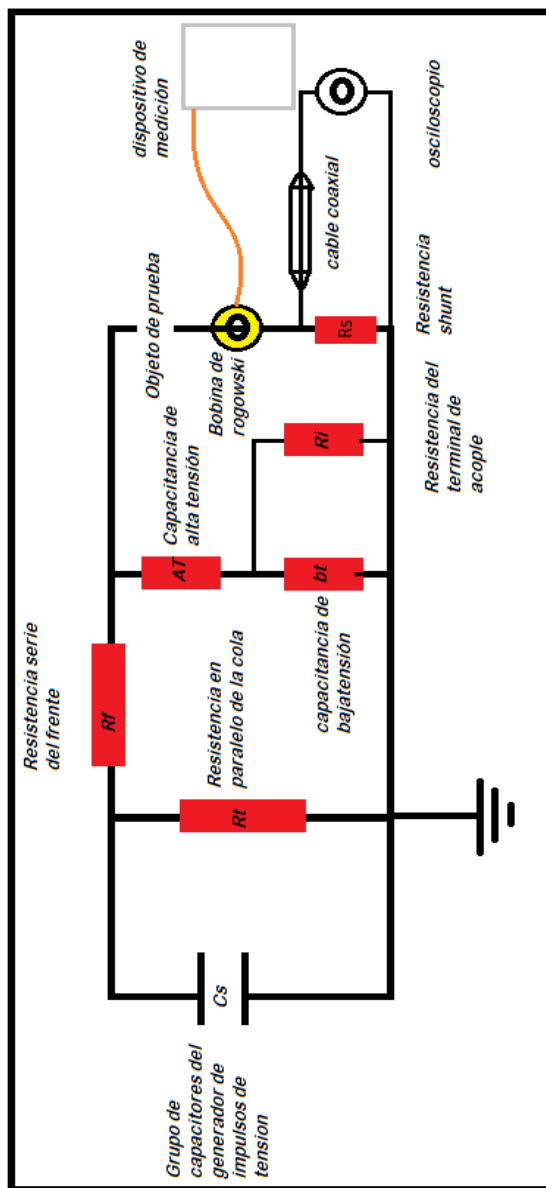


FIGURA 28: Arreglo punta-punta laboratorio alta tensión Universidad Industrial De Santander



FIGURA 29: Ubicación de la bobina de rogowski en la base de la punta metálica



En las imágenes de las FIGURA 30 y FIGURA 31 se muestran las mediciones realizadas con el dispositivo para la medición de corrientes de rayo (señal verde) y el osciloscopio FLUKE (señal azul). Se pudo notar un comportamiento similar en las formas de onda sin embargo el PicoScope presenta gran detalle en el muestreo de la onda: más de 1000 muestras por μs y el osciloscopio FLUKE nos muestra un menor detalle de la onda con un número de 26 muestra en los 5 μs . La diferencia en magnitudes se asocia al comportamiento del integrador ante parámetros del di/dt mayores a los estipulados en sus características técnicas. De esta forma se logró obtener una similitud en la forma de onda registrada por los dos equipos. En el anexo F se presentan más señales registradas por el equipo.

FIGURA 30: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga espaciamiento, también denominada corriente de desplazamiento

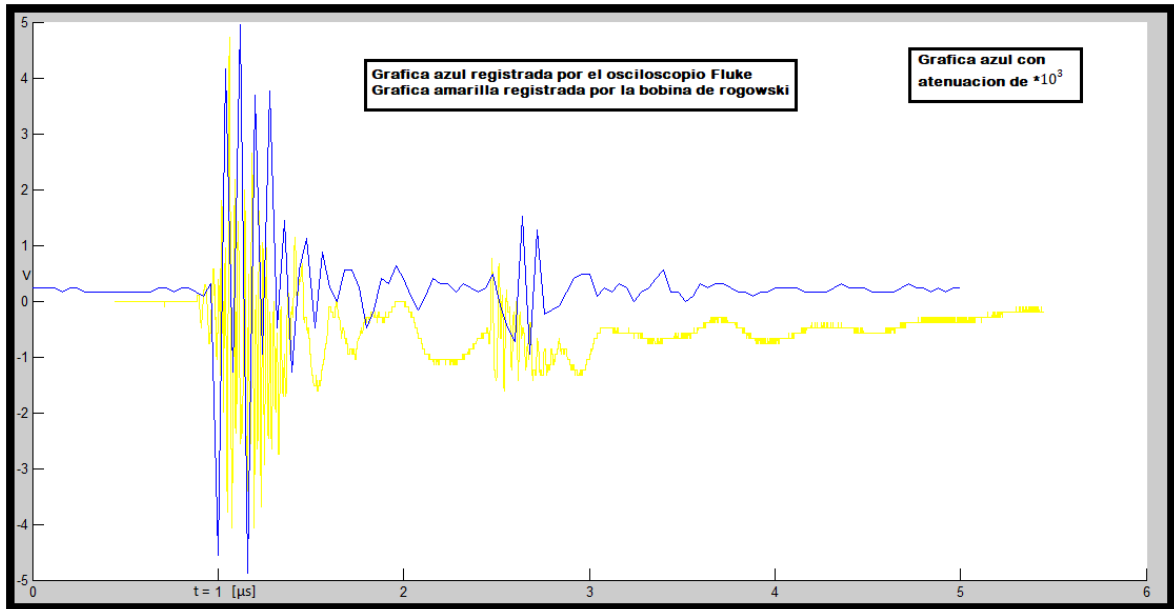
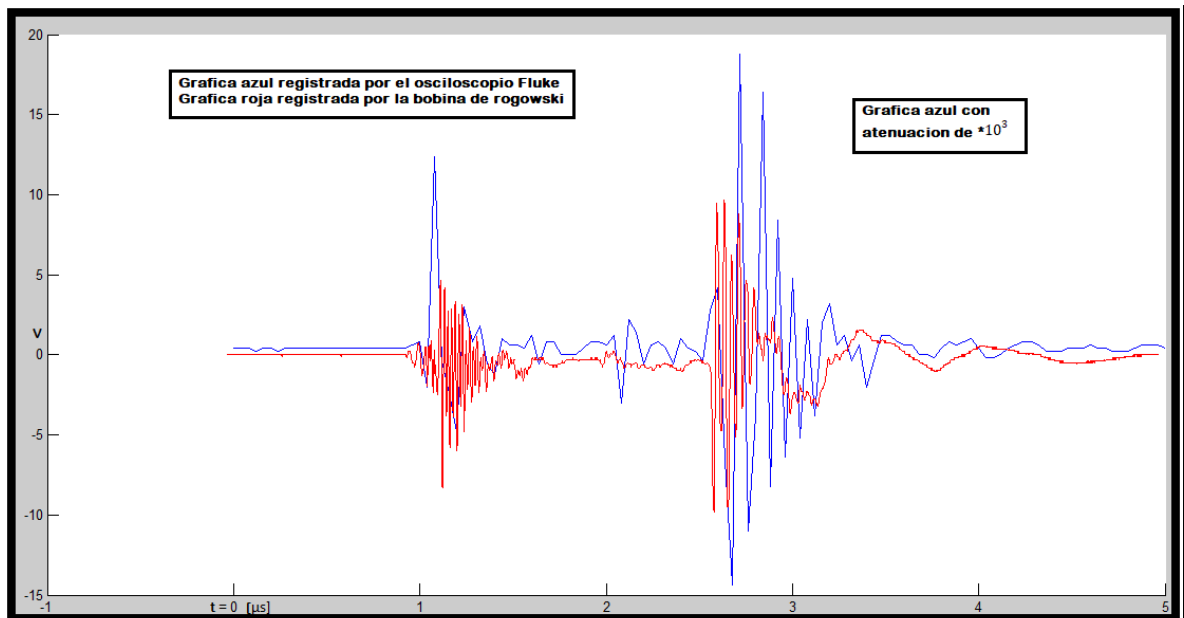


FIGURA 31: Corriente cuando se presenta descarga en el espacio del arreglo punta-punta



6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El comportamiento del dispositivo durante las pruebas realizadas muestra una reacción rápida y efectiva de los equipos ante los parámetros definidos cumpliendo con lo esperado. El gradiente máximo di/dt y la corriente pico la imponen las características del integrador, las características del integrador utilizado permiten caracterizar un rango equivalente al 85% de las mediciones reportadas en zonas del trópico²².

Se pudo observar que los valores que registra el osciloscopio sobrepasan los parámetros del integrador, esto establece que las ondas de corrientes generadas en el arreglo punta–punta superan el di/dt máximo especificado por el fabricante del integrador para su correcto funcionamiento. Los recursos disponibles en el Laboratorio de Alta Tensión para la generación de ondas imponen un di/dt alto; para modificar este parámetro es necesario adquirir accesorios adicionales del fabricante (HAEFELI) que tienen un alto costo y su aplicación es muy restringida, por tal motivo el di/dt no se pudo reducir; sin embargo, se logró realizar la prueba descrita generando impulsos que superaron el nivel de trigger definido. Por lo tanto, se define como objetivo de las pruebas que las señales registradas por los dos equipos (equipo construido y osciloscopio FLUKE) tengan un comportamiento similar en su forma de onda. De esta manera se pudo establecer que el instrumento para la medición de corrientes de rayos detecta, censa, acondiciona, almacena, mide y muestra las señales de interés con gran similitud en las formas de onda que presenta el instrumento de referencia.

²² (Updated statistics of lightning currents measured at Morro Do Cachimbo station, 2012)

7 CONCLUSIONES

- El equipo construido, debido a su disposición física es de fácil transporte e instalación, permitiendo llegar a lugares remotos y de difícil acceso, esto junto a la posibilidad de tener acceso en tiempo real a los datos y comportamiento del equipo facilita el estudio de las características de rayos planteadas en el presente estudio teniendo en cuenta las particularidades geográficas del territorio departamental.
- Debido a la disponibilidad de memoria en el osciloscopio y su capacidad de almacenamiento circular, este puede procesar y capturar 32 señales que serán almacenadas en los búfers (memoria temporal de almacenamiento del osciloscopio), estas señales se exportan al ordenador con un tiempo de transferencia de 5 segundos (para los dos formatos definidos).
- El parámetro di/dt no es un factor limitante en la aplicación objetiva del dispositivo ya que este no será superado por la señal medida en la bobina, puesto que los parámetros documentados de rayos no superan el valor máximo del di/dt estipulado para el integrador.
- El dispositivo permite medir y caracterizar los parámetros de corriente de rayo como: corriente pico, strokes, frente de onda, tiempo de cola, gradiente máximo y polaridad, abriendo la posibilidad de fortalecer y profundizar la investigación en temas asociados a las descargas atmosféricas.
- La caracterización de los rayos que se presentan en la zona de estudio permitirá desarrollar nuevos modelos para la protección de los sistemas afectados por las descargas y de la vida humana y animal.

8 RECOMENDACIONES.

- Para profundizar en la investigación sobre rayos se recomienda a la Universidad Industrial de Santander dotar el laboratorio de alta tensión con equipos e implementos para generar corrientes altas.
- Es indispensable el seguimiento constante a las mediciones realizadas por el equipo con el fin de obtener bases de datos que permitan conocer más a fondo los parámetros de las corrientes de rayo en Colombia.
- Seguir con la investigación y ubicación de más equipos en diferentes zonas del departamento para la obtención de más señales tipo rayo.

BIBLIOGRAFÍA

[ASSOCIATION, IEEE STANDARDS. 1991. STANDARDS.IEEE.ORG. *IEEE*. [Online] 1991. [Cited: Marzo 6, 2018.] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/C62.41-1991.html>.

C4.CIGRE.ORG. 2006. International council on large electric systems. [Online] 2006. [Cited: Agosto 23, 2018.] <http://c4.cigre.org/WG-Area/WG-C4.410-Lightning-Striking-Characteristics-to-Very-High-Structures>.

CABALLERO, Ana Milena and MONCADA, Oscar Mauricio. 2018. *Selección de equipos para conformar un dispositivo de medición de corriente de rayos en una estructura elevada en el departamento de Santander*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 2018.

CHACÓN VELASCO, Julio César and RUGELES JONES, Julio. 2017. *Laboratorio de alta tensión, manual de prácticas*. Bucaramanga : Editorial UIS, 2017.

Determination of reflection coefficients at the top and bottom. **BERMÚDEZ, José Luís, et al. 2003.** I, Chicago : Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, Vol. 108, pp. 13-16. ISSN: 0148-0227.

FIT-PC. 2018. [Online] 06 3, 2018. <http://www.fit-pc.com/web/products/specifications/fit-pc4-models-specifications/?model%5B%5D=fit-PC4-CG420-WACB-FM4U&model%5B%5D=fit-PC4-CA125-WB-FM4U>.

GARMIN. garmin. [Online] www.garmin.com.

Garmin international inc. 2018. GARMIN. [Online] 2018. [Cited: Junio 4, 2018.] <https://buy.garmin.com/es-AR/AR/p/100686>.

Hipótesis de investigaciones sobre variación espacial y temporal en los parámetros del rayo. **TORRES SÁNCHEZ, Horacio. 2000.** II, Bogotá : Meteorología colombiana, 2000, METROLOGÍA COLOMBIANA, Vol. XXII, pp. 1-6. ISSN: 0124-6984.

IEC. 2010. Webstore IEC. *IEC 60060-2:2010* . [Online] 11 29, 2010. <https://webstore.iec.ch/publication/301>.

—. **1990.** WEBSTORE IEC. *WEBSTORE IEC*. [Online] 04 15, 1990. [Cited: Abril 9, 2018.] <https://webstore.iec.ch/publication/18902>.

—. **1995.** WEBSTORE IEC. *WEBSTORE IEC*. [Online] 3 13, 1995. [Cited: Junio 23, 2018.] <https://webstore.iec.ch/publication/19609>.

IEEE. 2011. IEEE Standards Association. *IEEE 1410*. [Online] junio 21, 2011. standards.ieee.org/findstds/standard/1410-2010.html.

Los rayos: una vision mitológica, científica y tecnológica. **TORRES SÁNCHEZ, Horacio. 1991.** 24, Bogotá : Ingeniería en Investigación, 1991, Ingeniería e investigacion, Vol. I, pp. 29-34. ISSN 0120-5609.

Medida de corriente de descargas atmosfericas mediante torres instrumentadas. **BERMUDEZ, José Luis. 2000.** 2, Cali : Energía y computación, 2000, Energia y computacion, volumen IX, N°2, Vol. IX, pp. 53-61. ISSN: 0121-5299.

PEM. 2010. Pemuk. [Online] Noviembre 2010. [Cited: Junio 4, 2018.] http://www.pemuk.com/userfiles/cwt/cwt_1110.pdf.

Pico technology. 2016. PICO. [Online] 2016. [Cited: Junio 3, 2018.] <https://www.picotech.com/download/manuals/PicoScope3000SeriesUsersGuideES.pdf>.

Pico Technology. 2014. PICO. [Online] 2014. [Cited: Marzo 3, 2018.] <https://www.picotech.com/download/datasheets/PicoScope3000SeriesDataSheetES.pdf>.

RUGELES JONES, Julio. 1991. *Conferencias. Conceptos básicos en técnicas de la alta tensión.* Bucaramanga : Publicaciones UIS, 1991.

SOTO RIOS, Edison Andres. 2016. *Medicion de corrientes de rayos en una estructura elevada en santander.* Bucaramanga : propuesta de semillero de investigación, 2016.

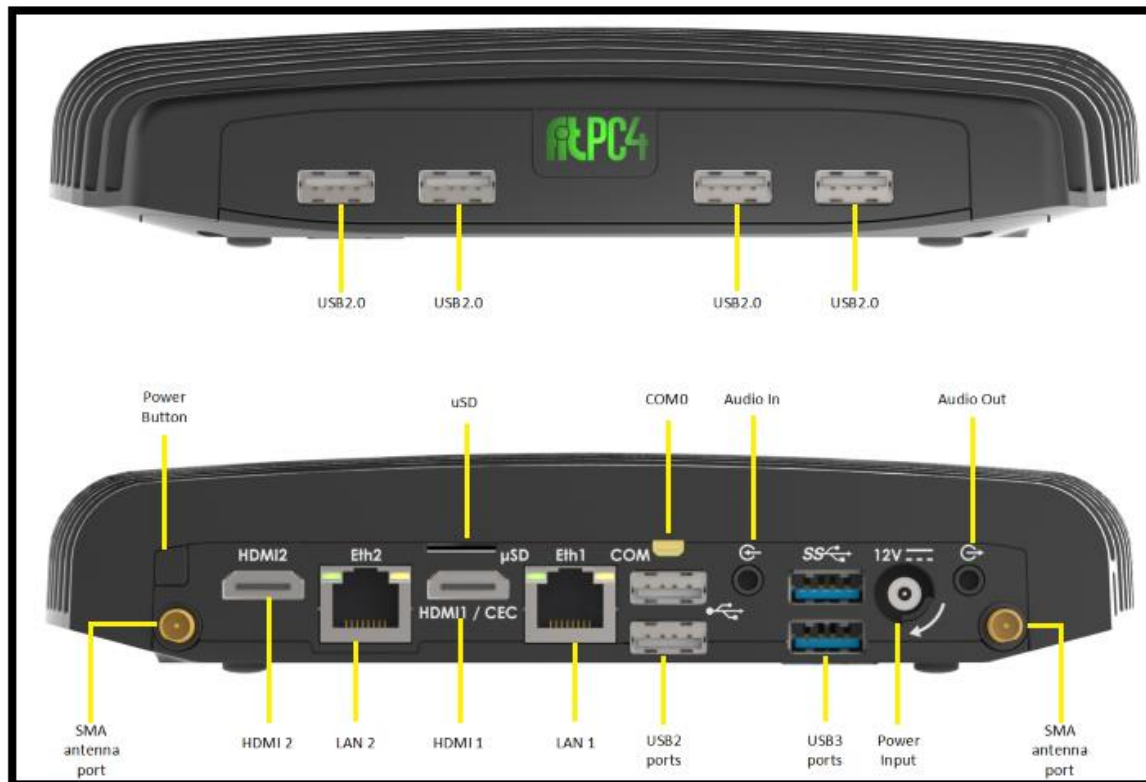
Tasa de mortalidad por rayos en colombia para el periodo 1997 - 2014. **TORRES SÁNCHEZ, Horacio, et al. 2018.** 2, Bucaramanga : UIS ingenierías, JUNIO 19, 2018, UIS INGENIERÍAS, Vol. XVII, pp. 65-74. ISSN: 1657-4583.

TORRES SÁNCHEZ, Horacio. 2002. *El Rayo MITOS, LEYENDAS, CIENCIA Y TEGNOLOGIA.* BOGOTA : UNIBIBLOS, 2002. ISBN: 9789587012132.

Updated statistics of lightning currents measured at Morro Do Cachimbo station. **SILVÉRIO VISACRO, Clauda Mesquita and ALBERTO DE CONTI, Fernando Silveira. 2012.** I, s.l. : ELSEIVER, JULIO 20, 2012, ATMOSPHERIC RESEARCH, Vol. 117, pp. 55-63. ISSN: 0169-8095.

ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones técnicas del computador fit-pc4 pro



Modelo	
Nombre	fit-PC4 Pro Barebone
Numero de parte	fit-PC4-CG420-WACB-FM4U
Diagrama de bloques	fit-PC4 Diagrama de bloques
Revisión actual de HW	1.2
Disponibilidad a largo plazo	2020
Procesador	
Tipo	SoC AMD GX-420CA
Núcleos	Núcleo cuádruple de 64 bits

Velocidad de reloj	2GHz
TDP	25W
Chipset	SoC (CPU y Chipset en el mismo dado)
Memoria	
Soportado	2x SO-DIMM ranuras de memoria DDR3 SDRAM de 204 pines Hasta 16 GB (2x 8 GB) no ECC DDR3-1600
Instalado	No instalado
Almacenamiento	
Soportado	1x SATA hasta 6 Gbps (SATA 3.0) para HDD / SSD interno de 2.5 " 1x ranura mSATA de hasta 6 Gbps (SATA 3.0)
Instalado	No instalado
Gráficos	
GPU	AMD Radeon HD 8400E Modo de pantalla dual compatible
Interfaz de pantalla 1	HDMI 1.4a hasta 1920 x 1200 @ 60Hz
Interfaz de pantalla 2	HDMI 1.4a hasta 1920 x 1200 @ 60Hz
Interfaz de pantalla 3	N / A
Gráficos discretos	N / A
Audio	
Códec	Códec de audio Realtek ALC888-VC2 HD
Salida de audio	Salida estéreo analógica Salida digital 7.1 + 2 canales S / PDIF Toma de 3,5 mm
Entrada de audio	Entrada de micrófono estéreo analógico Entrada digital S / PDIF Toma de 3,5 mm
Redes	
LAN	2 puertos GbE LAN LAN1: Controlador Intel I211 GbE (RJ-45) LAN2: Controlador Intel I211 GbE (RJ-45) LAN3-6: N / A
Inalámbrico	WLAN 802.11ac (banda dual de 2.4 / 5GHz Intel 7260HMW) Bluetooth 4.0
Conectividad	
USB	2x USB 3.0 6x USB 2.0

De serie	1 puerto de comunicación serie COM1: RS232 a través de un conector serie mini
Dakota del Sur	Soporte para ranura micro-SD Tarjetas SD / SDHC / SDXC Tasas de transferencia de hasta 25 MB / s
E / S especial	1x ranura para tarjeta micro SIM (6 pines) 4
Expansión	Medio / tamaño completo mini-PCIe socket Half / Full-size mini-PCIe / mSATA socket 2 Módulos FACE
Tecnologías avanzadas	
vPRO	No
AMT	No
Virtualización de CPU	Sí
AES	Sí
(FIT-PC, 2018) Funcionalidad especial	Encendido automático Activación de la LAN Wake-on-Timer PXE Boot Perro guardián
Gestor de arranque	
Vendedor	Fénix
Características	Modo legado de BIOS Modo UEFI 2.2 Arranque seguro
Sistema operativo	
Soportado	Windows 7/8, 32 bits y 64 bits Linux de 32 bits y 64 bits Sistema operativo integrado
Oficial Linux	Linux Mint 18 Cinnamon (64-bit)
Instalado	No instalado
Condiciones de operación	
Voltaje de entrada	Entrada no regulada de 10 a 15 V CC 1
El consumo de energía	6W - 24W
Temperatura de funcionamiento	1. Comercial Modelos de HDD: 0 ° C a 50 ° C

	<p>Modelos de SSD: 0 ° C a 70 ° C 2. Extendido (TE) Modelos SSD solamente: -20 ° C a 70 ° C 3. Industrial (TI) Modelos SSD solamente: -40 ° C a 70 ° C</p>
Humedad relativa	<p>10% a 90% (operación) 5% a 95% (almacenamiento)</p>
MTTF	> 100,000 horas
Recinto	
Material	Die Cast Aluminum
Enfriamiento	Diseño sin ventilador de refrigeración pasiva
Dimensiones	19cm x 16cm x 4cm
Peso	1100gr
Paquete	
En el cuadro	<p>1. computadora fit-PC4 2. Fuente de alimentación: entrada 100-240VAC 50 / 60Hz, 60W salida 12VDC 5A, Bloqueo de enchufe DC; Cable de corriente alterna de América del Norte 3. Adaptador de video HDMI a DVI 4. Cable de Audio 3.5mm a RCA 5. Antena WiFi 2.4GHz banda 2 (en algunos modelos) 6. Mini-serial al cable adaptador DB9-macho</p>
Garantía	5 años
Notas	<p>1. Voltaje de entrada nominal: 12V 2. Compartido con mSATA 3. Para productos comprados desde el 1 de enero de 2013 4. Para usar con el kit de módem celular</p>

ANEXO B: Certificado de conformidad del producto



CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DE PRODUCTO PRODUCT CONFORMITY CERTIFICATE

Modelo de Certificación
Certification Modality
Marca de Conformidad
Esquema 5

No. 04703

La Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico - CIDET certifica que el producto:

CIDET certifies that the product:

DENOMINACIÓN	TIPO	REFERENCIA
ENCERRAMIENTO METÁLICO PARA ALOJAR EQUIPO ELÉCTRICO	CON PUERTA ABISAGRADA	DESDE 28 x 28 x 16 cm HASTA 220 x 160 x 45 cm

Las características e identificación de este producto se describen en el documento anexo, que hace parte integral del presente CERTIFICADO y contiene una página.

The characteristics and identification of this product are described in the attached document, which is an integral part of this CERTIFICATE

Fabricado por:
Manufactured by:

SOLUCIONES MDS S.A.S.

Calle 12 A 21 21, Bogotá D.C., Colombia

Satisface los requerimientos de
Satisfies the requirements of

RESOLUCIÓN 60706 DE 2013 DEL MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA – RETIE (Numeral 20.23.1.1. y Numeral 20.5.a. y d.)

Fecha de Certificación: 13 / 03 / 2012
Última Actualización: 07 / 02 / 2018
Fecha de Venimiento: 08 / 02 / 2021

Fecha máxima para la finalización de las próximas auditorías de seguimiento: 08 / 02 / 2019 y 08 / 02 / 2020

Juan Pablo Rojas Duque
Gerente CIDET-Certificación
Certification CIDET Manager

JUAN
PABLO
ROJAS
DUQUE

Firmado digitalmente por
JUAN PABLO
ROJAS DUQUE
Fecha: 2018.02.08
1655:43 -0500'

CIDET realiza la verificación y el seguimiento a las características del producto que dieron origen a esta certificación. Las novedades y vigencia de este certificado, pueden ser consultadas en la página www.cidet.org.co

CIDET makes the verification and follow up the characteristics of the product that gave rise to this certification. On page www.cidet.org.co, you can find news and validity of this certificate.

Medellín Carretera 46 No. 58-11 (Av. Oriente), Piso 13 Tel: (+574) 444 12 11 Fax: (+574) 444 0460



ANEXO C: DISEÑO GABINETE INTEMPERIE

SOLUCIONES M.D.S.		FICHA TÉCNICA CAJAS ESPECIALES										Vigente desde: 01-07-2013 R-DIS-09 Version: 4	
FECHA: 23/ABRIL/2018		N° O.C. 61		Tiempo de entrega: 8 DIAS HABILDES		O.P. _____							
CLIENTE: PUNTO ELECTRO 61		N° PEDIDO: N/A		Unidades									
						ESPECIFICACIONES							
						GABINETE FMT BMT TS BB CAL 18 LAMINA							
						CR							
						ESPACIO PARA DISEÑO							
ITEM	ALTO	ANCHO	FONDO	COMP.1	COMP.2	COMP.3	CANT TAPA	CIERRE	CALIBRE	COLOR			
1	60	60	30	N/A	N/A	N/A	1	S	BB	18	RALL 7035		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Aprobación cliente:</div>													
Fecha de entrega: _____		ADVERTENCIA: Después de aprobado el plano solo tiene 2 horas para la cancelación del pedido.											
Elaboro: Javier dh		Plano aprobado después de las 2 de la tarde, empieza a contar desde el día siguiente como hábil.											
Revisó: C. Limas													
Observaciones:													
		TAPAS		CIERRES									
		Incrustar		Tomillo-Tornillo								TT	
		Sobrepueta		Bisagra-Tornillo								BB	
		Lisa		Bisagra-Chapa Plástica								EP	
		Fondo Madera		Bisagra-Chapa Guantero								BB	
		Fondo Metálico		Bisagra-Chapa Bristol								BB	
		Bandeja Madera		Tipo Coifre								TC	
		Bandeja Metálico		Maneta abalable								MA	
		Fondo Metálico		Chapa Trifásica								TCR	
				Cero								O	

ANEXO D: Certificado de modificación de parámetros bobina CWT600XR



SDS0986 Customer specification 001 - CWT600xR_4_7005.docx

Company: GMW (Uni Columbia)
Contact:
SDS No.: SDS0986
Design Date: 27th March 2018
Issue No. (Revision date): 0001

Description: CWT600xR/4/7005

This design is a modification to PEM Ltd's standard CWT range of Rogowski probes, further details about the standard probe can be found at:

http://www.pemuk.com/Userfiles/CWT/cwt_1110.pdf

The Rogowski coil has been modified to include an electrostatic shield underneath the Rogowski coil insulation.

Type	Sensitivity (mV/A)	Peak current (kA)	Peak di/dt (kA/ μ S)	Noise max ¹ (mV μ s ⁻¹)	Droop typ. (%/ ms)	LF (3dB) bandwidth typ. (Hz) f_L	HF (3dB) bandwidth typ. (MHz) f_H ** Coil length 700mm
------	--------------------	-------------------	--------------------------	--	--------------------	------------------------------------	---

CWT600x	0.05	120.0	120	10.0	0.06	0.05	16.0
---------	------	-------	-----	------	------	------	------

¹. Distributed around the f_L (-3dB) bandwidth.

TYPICAL ACCURACY Calibrated to $\pm 0.3\%$ with conductor central in the loop
 Variation with conductor position in the coil loop typically $\pm 2\%$

TYPICAL LINEARITY $\pm 0.05\%$ (full scale)

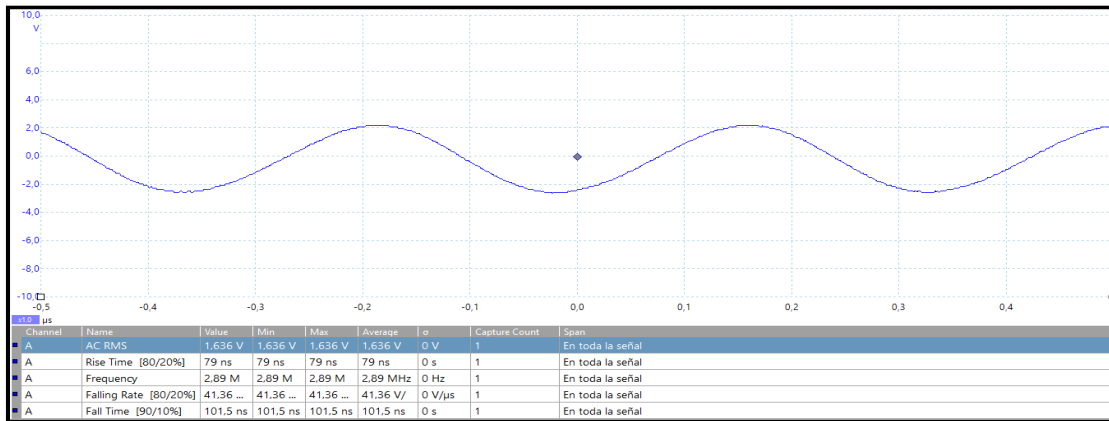
ABSOLUTE MAXIMUM VALUES of di/dt (kA/ μ s) (value must not be exceeded)	PEAK	120.0	RMS	2.0 @ 70°C
--	------	-------	-----	------------

ANEXO E: Pruebas del generador de señales

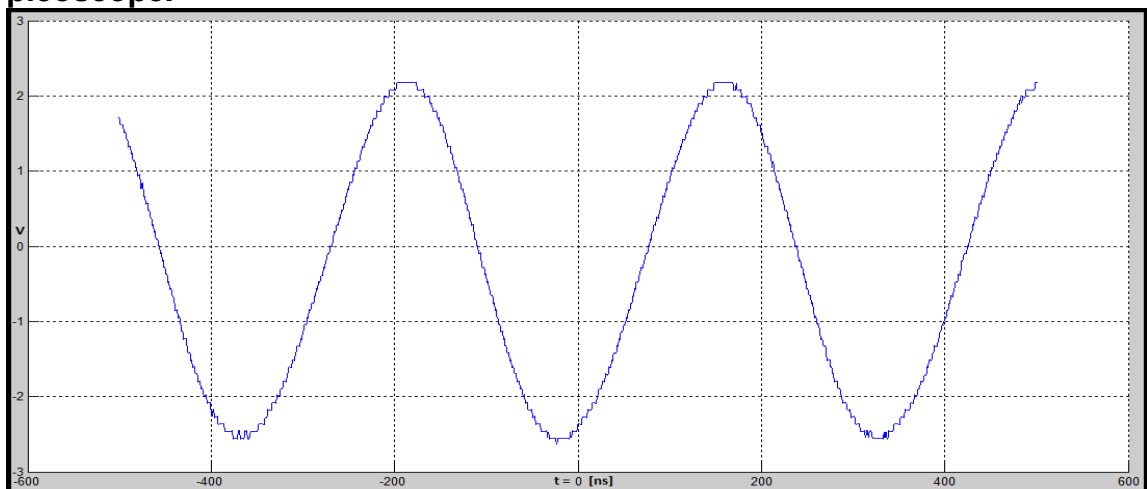
- **SEÑAL SENOIDAL CON FRECUENCIA DE 2 MHZ.**

A continuación, se presentan las gráficas medidas por el osciloscopio PicoScope las cuales fueron creadas por un generador de señales a distintos tipos de frecuencia ya que gracias a esto se puede determinar la capacidad de muestreo.

GRAFICA 1: Señal senoidal registrada en la pantalla del picoscope.

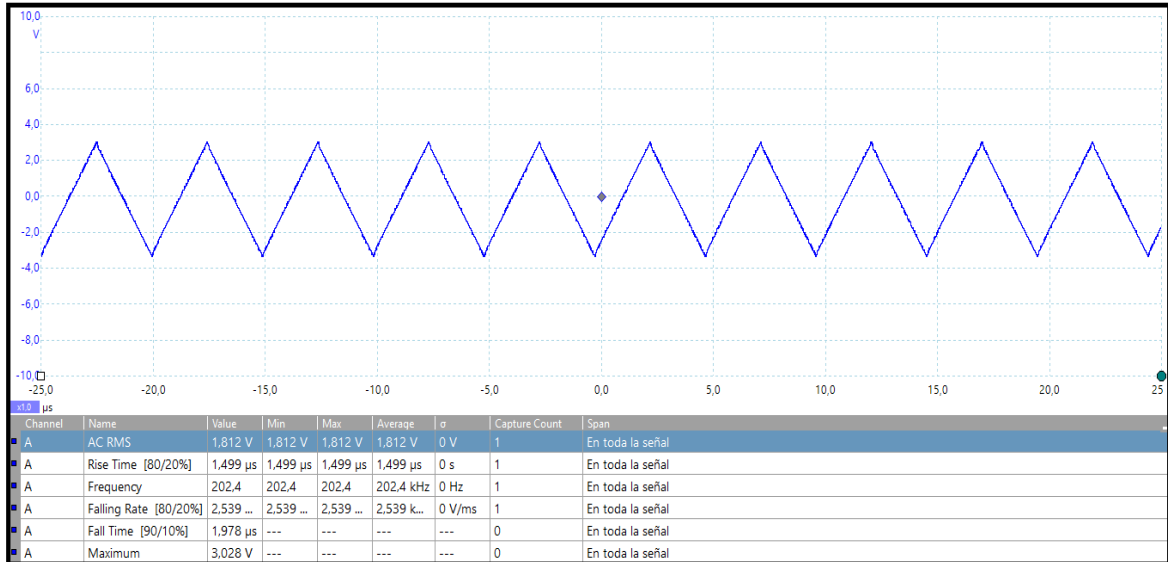


GRAFICA 2: Señal senoidal modelada por las muestras generadas por el picoscope.

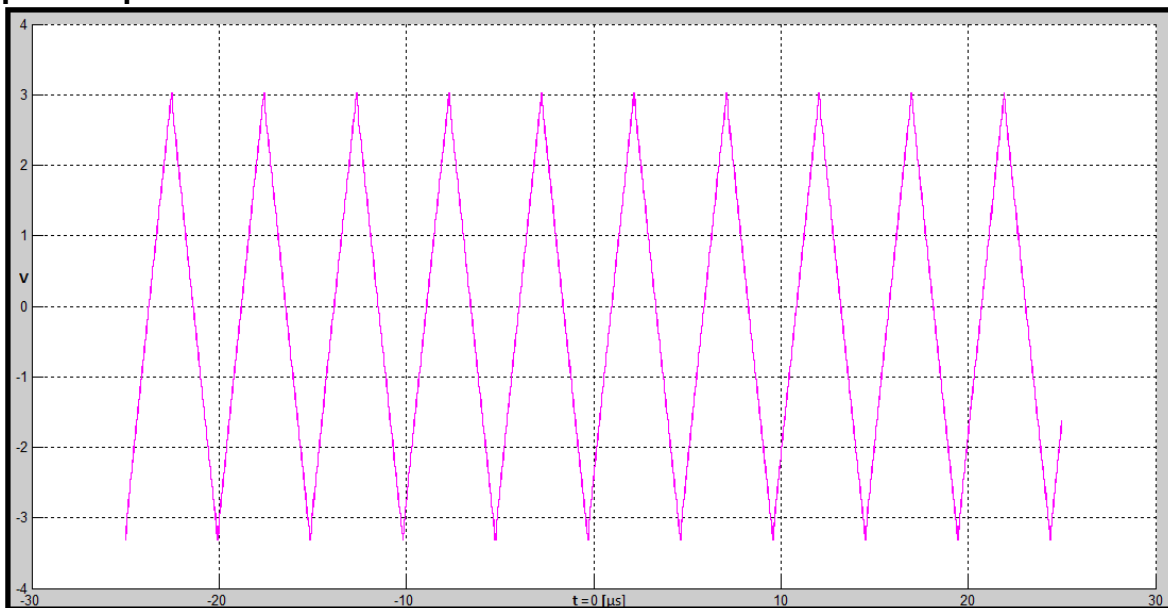


- SEÑAL TRIANGULAR CON FRECUENCIA DE 200 KHZ

GRAFICA 3: Señal triangular registrada en la pantalla del picoscope.

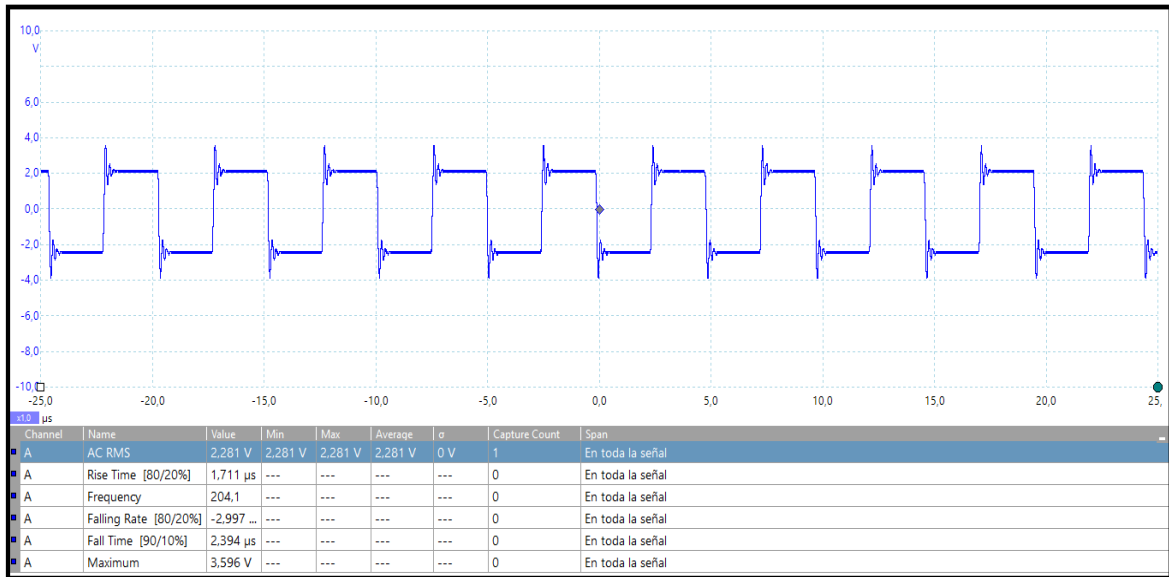


GRAFICA 4: Señal triangular modelada por las muestras generadas por el picoscope.

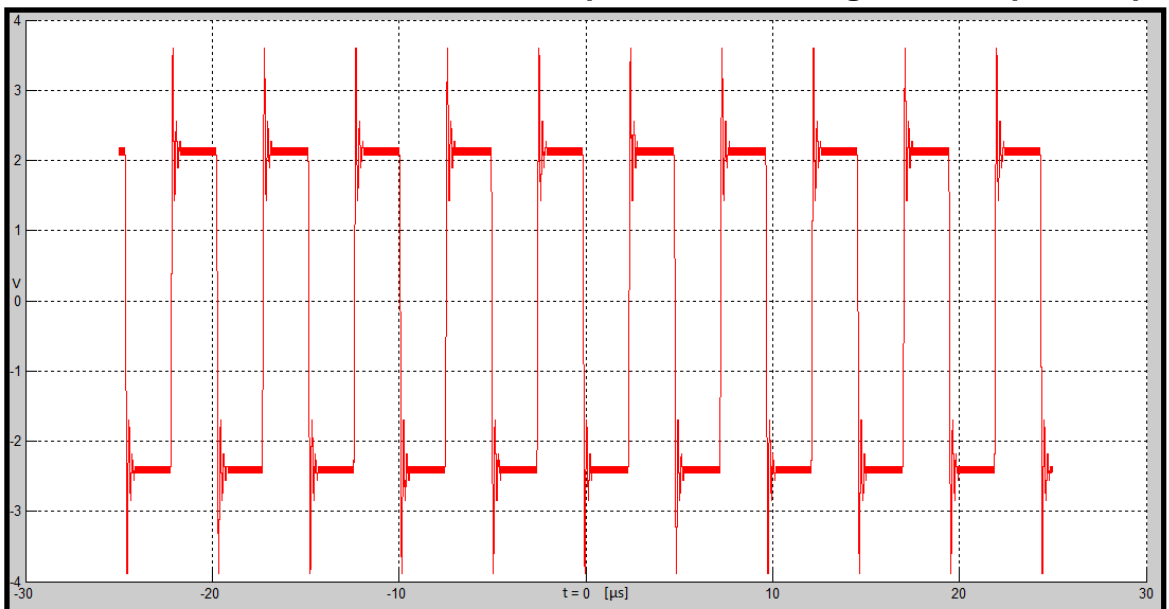


- SEÑAL CUADRADA CON FRECUENCIA DE 200 KHz

GRAFICA 5: Señal cuadrada registrada en la pantalla del picoscope.



GRAFICA 6: Señal cuadrada modelada por las muestras generadas picoscope.

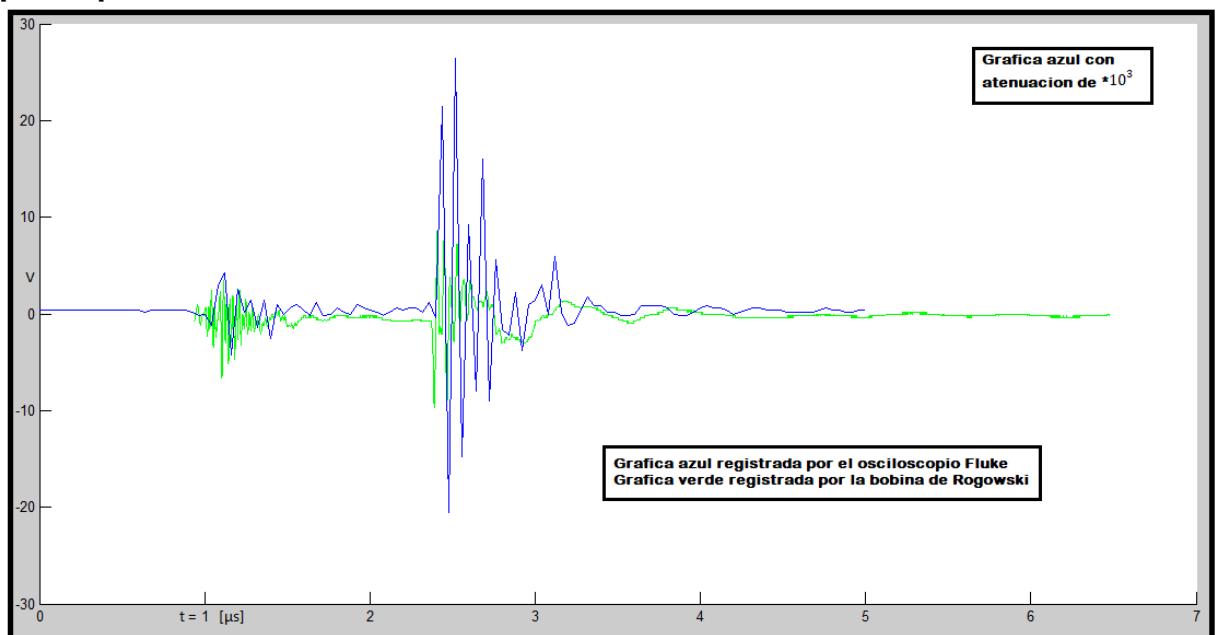


ANEXO F: Señales registradas en el laboratorio de alta tensión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de alta tensión de la Universidad Industrial De Santander, los cuales fueron escalados para su mejor interpretación ya que los valores de las gráficas de corriente obtenidas en el laboratorio fueron del orden de los kA Y los valores obtenidos por la Bobina de Rogowski son de los valores de los V, siendo estos los valores reales de la medición.

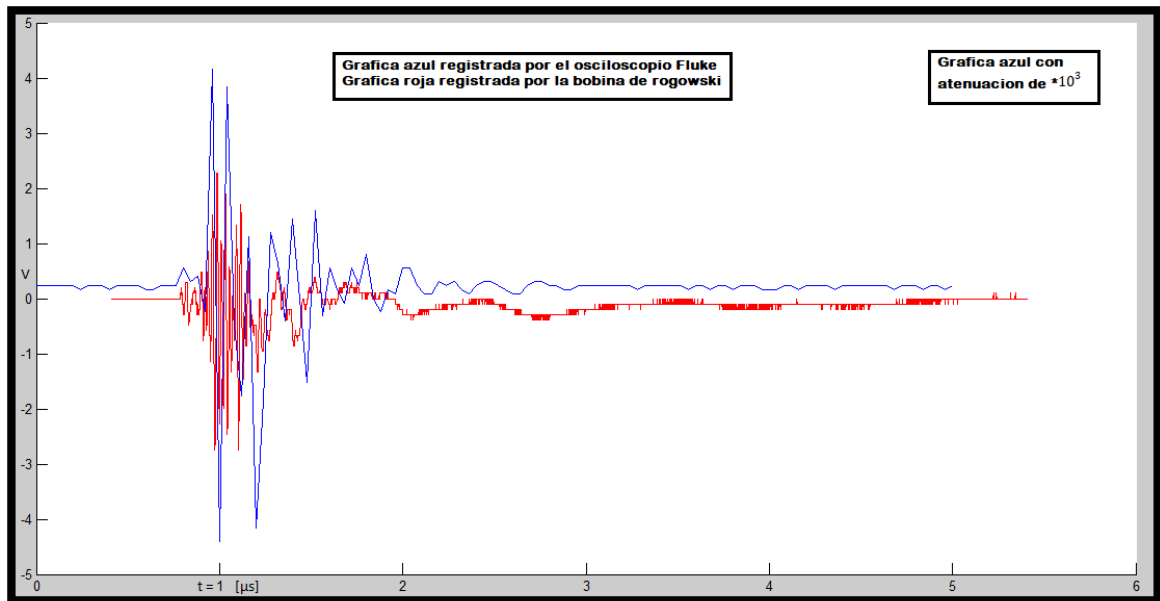
- Grafica obtenida al generar una descarga eléctrica con la configuración punta-punta con el generador de impulsos.

GRAFICA 1: Corriente cuando se presenta descarga en el espacio del arreglo punta-punta

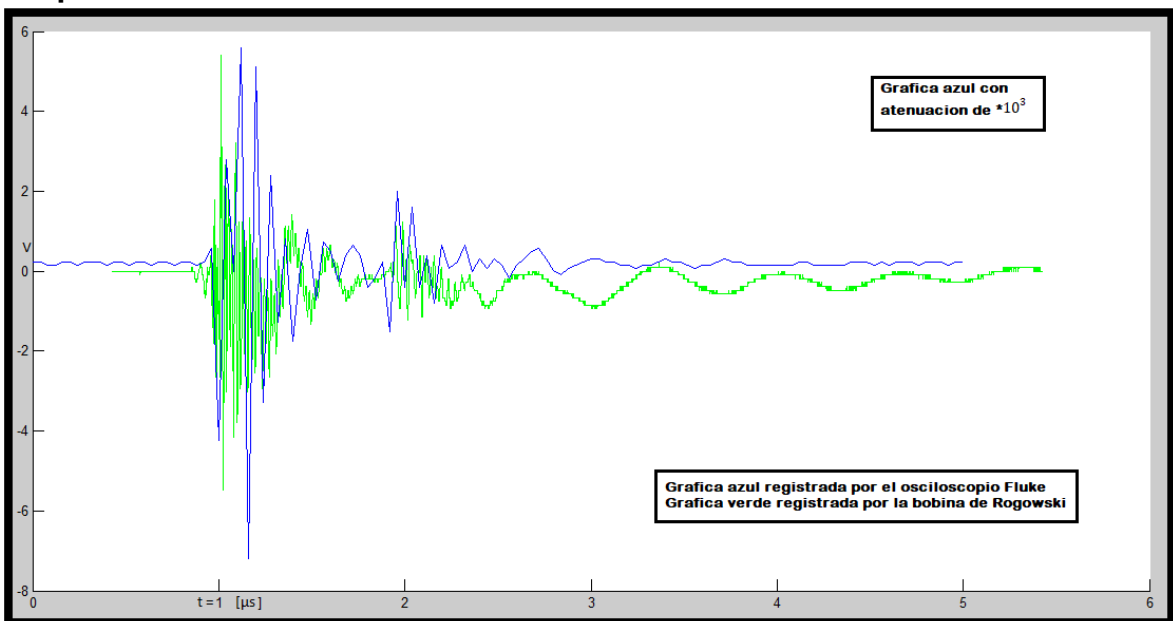


- Graficas obtenidas al genera una corriente de desplazamiento con la configuración punta-punta las cuales fueron medidas por los dos dispositivos de medición (Bobina de rogowski y osciloscopio Fluke)

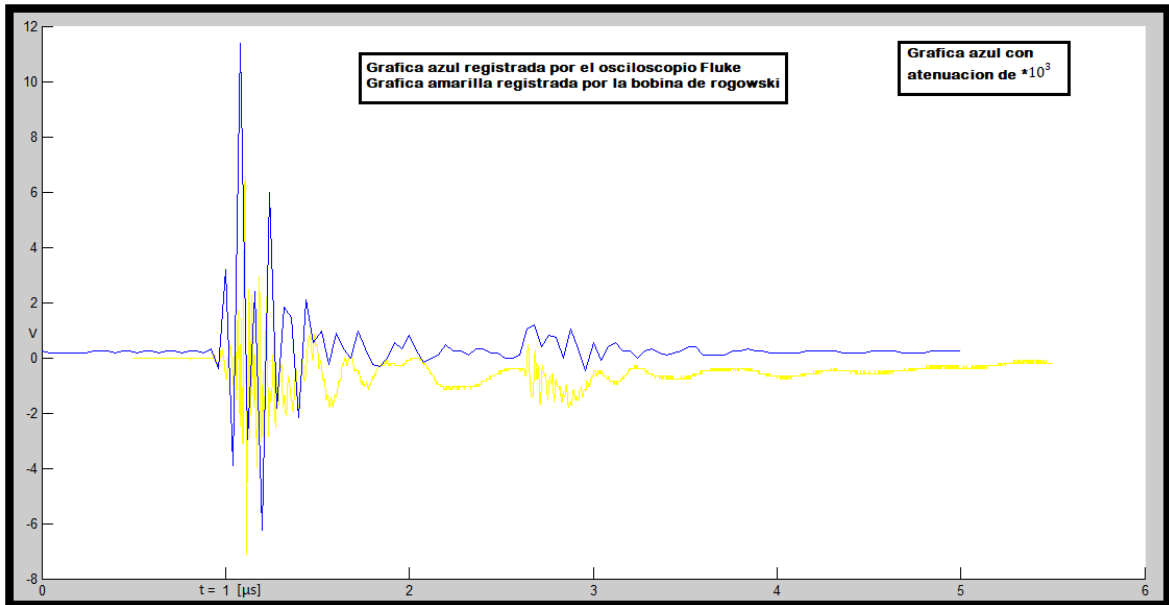
GRAFICA 2: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga de espaciamiento, también denominada corriente de desplazamiento



GRAFICA 3: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga de espaciamiento, también denominada corriente de desplazamiento



GRAFICA 4: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga de espaciamento, también denominada corriente de desplazamiento



GRAFICA 5: Corriente inducida por la configuración punta-punta sin presentarse descarga de espaciamento, también denominada corriente de desplazamiento

