

**Primeras mediciones directas de corriente de rayo medidas en Barrancabermeja -
Santander en el periodo 2018-2019**

Genny Esmeralda Burbano Burbano

Wilfred Yesid García Gómez

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director:

Edison Andrés Soto Ríos

PhD. en Ingeniería - Línea Automática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2019

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Metodología	14
2. Resultados	16
2.1 Selección del lugar de instalación	16
2.2 Ajustes a los elementos que conforman el equipo de medición	17
2.2.1 GPS.	17
2.2.2 Configuración de control remoto.	19
2.2.3 Medida de respaldo ante cortes de energía.	20
2.3 Actividades previas a la instalación	21
2.3.1 Cable de alimentación.	21
2.3.2 Estructuras de soporte.	21
2.4 Comparación con la red LINET	25
3. Conclusiones	44
4. Recomendaciones	46
Referencias Bibliográficas	47
Apéndices	50

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Diagrama de bloques de la metodología.....	16
<i>Figura 2.</i> (a) Conexión USB deficiente (b) Conexión serial corregida.....	18
<i>Figura 3.</i> Conexión puerto serial GPS.....	19
<i>Figura 4.</i> Vista de coordenadas desde NMEAtime.	19
<i>Figura 5.</i> Dimensiones [cm] de estructura de soporte para la bobina de Rogowski.	22
<i>Figura 6.</i> Dimensiones [cm] de estructura de soporte de caja del equipo de medición.	23
<i>Figura 7.</i> Vista final de instalación del equipo en la terraza de la sede UIS, Barrancabermeja...	24
<i>Figura 8.</i> Distribución final de elementos dentro del equipo de medida.....	25
<i>Figura 9.</i> Área autorizada por KERAUNOS S.A.S	26
<i>Figura 10.</i> Ubicación sensores red colombiana de detección de rayos.	27
<i>Figura 11.</i> Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 20/02/2019 entre 9:45 y 10:15 UTC.....	28
<i>Figura 12.</i> Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 27/11/2018 entre 8:45 y 9:45 UTC.....	28
<i>Figura 13.</i> Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 22/11/2018 entre 7:15 y 8:00 UTC.....	29
<i>Figura 14.</i> Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 23/11/2018 entre 7:00 y 7:30 UTC.....	29

<i>Figura 15.</i> Eventos registrados en radio de 200 m (a) 20/02/2019 (b) 27/11/2018 (c) 23/11/2018 (d) 22/11/2018.....	30
<i>Figura 16.</i> Intervalo de 10:10 – 10:20 UTC, 20 de febrero de 2019.....	35
<i>Figura 17.</i> Intervalo de 7:00 – 7:10 UTC, 23 de noviembre de 2018	35
<i>Figura 18.</i> Intervalo 7:10 – 7:20 UTC, 23 de noviembre de 2018.	36
<i>Figura 19.</i> Intervalo 7:20 – 7:30 UTC, 23 de noviembre de 2018.	36
<i>Figura 20.</i> Visualización de fuentes detectadas por LMA e impactos detectados por LINET  cerca a la sede UIS Barrancabermeja.....	38
<i>Figura 21.</i> Formas de onda de corriente de rayo obtenidas en (a) Estación Morro do Cachimbo en Belo Horizonte - Brasil (b) Estación experimental Ilyapa en Samaná - Caldas.	41
<i>Figura 22.</i> Señales obtenidas mediante PicoScope (a) 20/02/2019 a las 5:09:31 (b) 23/11/2018 a las 2:25:24 (c) 23/11/2018 a las 2:07:45 (d) 23/11/2018 a las 2:13:25. Fuente: PicoScope (Pico Technology Company).....	42
<i>Figura 23.</i> Formas de onda asociadas a ruido.	43
<i>Figura 24.</i> Procedencia de las señales adquiridas por el equipo.	44

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Información de impactos dentro del radio de 200 m, suministrada por LINET</i>	
<i>20/02/2019 y 23/11/2018</i>	<i>31</i>
Tabla 2. <i>Datos obtenidos mediante el equipo de medición el 20/11/2019 y 23/11/2018</i>	<i>31</i>
Tabla 3. <i>Tabla comparativa de las señales registradas por la red LINET y equipo de medición</i>	
<i>de corriente de rayo.</i>	<i>33</i>
Tabla 4. <i>Datos de fuentes cercanas a la UIS Barrancabermeja extraídas del LMA.</i>	<i>38</i>

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Mediciones obtenidas por el equipo de medida de corriente de rayo.....	50
Apéndice B. Autorización de KERAUNOS S.A.S para el uso de la información de la red	
LINET.....	57

Resumen

TITULO: Primeras mediciones directas de corriente de rayo medidas en Barrancabermeja - Santander en el periodo 2018-2019*

AUTORES: Genny Esmeralda Burbano Burbano
Wilfred Yesid García Gómez**

PALABRAS CLAVE: Análisis, comparación, corriente, equipo, rayo, medición

DESCRIPCIÓN:

Colombia al estar ubicado en la zona tropical, presenta una gran cantidad de tormentas eléctricas que ponen en riesgo la integridad de las personas y demás seres vivos; actualmente en el país las mediciones de los parámetros propios del rayo en zonas tropicales son escasos, lo cual impulsó a desarrollar esta investigación. Este trabajo presenta la comparación y análisis de las mediciones más importantes adquiridas durante un periodo de cuatro meses mediante un equipo de medición de corriente de rayo instalado en la sede UIS Barrancabermeja, con base en la red de localización de rayos, LINET, y la información suministrada por antenas del sistema Lightning Mapping Array, LMA. El objetivo de la investigación es analizar si las mediciones adquiridas a través del equipo instalado se deben a un impacto directo de rayo, esto con el fin de constituir una base de datos que con el tiempo permita conocer parámetros del rayo y de esta forma emprender nuevas investigaciones relacionados con este fenómeno que es uno de los principales responsables de fallas en el sistema eléctrico, sin embargo, dentro de los resultados obtenidos se encontró que las mediciones posiblemente pueden corresponder a corrientes inducidas originadas por eventos nube tierra o eventos ocurridos al interior de la nube.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Director: Edison Andrés Soto Ríos

Abstract

TITLE: First direct measurements of lightning current measured in Barrancabermeja - Santander in the period 2018-2019*

AUTORES: Genny Esmeralda Burbano Burbano
Wilfred Yesid García Gómez**

KEYWORDS: Analysis, comparison, current, equipment, lightning, measurement

DESCRIPTION

This paper presents the comparison and analysis of the most important measurements acquired over a period of four months by means of a lightning current measurement equipment installed at the UIS Barrancabermeja Colombia being located in the tropical zone, presents a large number of thunderstorms that put at risk the integrity of people and other living beings; Currently, measurements of the parameters of the ray in tropical areas are scarce in the country, which led to the development of this research. This paper presents the comparison and analysis of the most important measurements acquired over a period of four months by means of a lightning current measurement equipment installed at the UIS Barrancabermeja headquarters, based on the lightning location network, LINET, and information supplied by Lightning Mapping Array, LMA system antennas. The objective of the investigation is to analyze if the measurements acquired through the installed equipment are due to a direct impact of lightning, this in order to constitute a database that over time allows to know lightning parameters and thus undertake new investigations related to this phenomenon that is one of the main responsible for failures in the electrical system, however, within the results obtained it was found that the measurements may possibly correspond to induced currents caused by cloud events or events occurring within the interior of the cloud.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
Director: Edison Andrés Soto Ríos

Introducción

El origen del rayo proviene del intercambio de carga eléctrica entre nubes o entre nube y tierra; la descarga toma la trayectoria de menor resistencia que por lo general es el camino más corto entre la nube y el suelo, impactando, ya sea en árboles, edificios, personas, etc. Este fenómeno meteorológico a lo largo de la historia ha sido el más temido, estudiado e interpretado por diversas culturas como acadia, griega, china e indígena precolombina quienes lo consideraban como uno de los atributos propios de los dioses, con el fin de justificar su existencia.

Las investigaciones acerca del comportamiento de los fenómenos atmosféricos iniciaron con Benjamin Franklin quien demostró mediante su famoso experimento de la cometa y la botella de Leyden, que las nubes de tormenta están cargadas eléctricamente. Con el pasar de los años, las investigaciones relacionadas a los fenómenos atmosféricos han aumentado debido al gran impacto que generan en la vida cotidiana, siendo estos los responsables de cientos de muertes, así como los principales causantes de fallas en el sistema eléctrico; estas investigaciones incluyen mediciones alrededor del mundo de diferentes parámetros del rayo, especialmente, la corriente de la descarga retorno que permite evaluar la severidad de la descarga.

La corriente del rayo se puede medir de forma indirecta y directa. La forma indirecta se realiza por medio de redes localizadores de rayos que permiten estimar la corriente pico con base en el campo electromagnético medido a través de fórmulas conocidas (Izadi, Ab Kadir, Cooray, & Hajikhani, 2014) (Rachidia, Bermudeza, Rubinsteinb, & Rakov, 2004). La forma directa permite la medición en el punto donde ocurre el impacto, a través de dispositivos instalados en su gran

mayoría en torres instrumentadas de gran altura, obteniendo resultados más precisos de la forma de onda de la descarga atmosférica. La primera persona en experimentar con la medición directa de corriente de rayos fue McEachron en 1939, quien obtuvo una señal de corriente en el edificio Empire State en New York, Estados Unidos (Eachron, 1939), así mismo, Berger realizó mediciones en una torre de aproximadamente 60 m en el monte San Salvatore, Suiza, entre los años 1950 y 1970. Este trabajo fue de gran importancia debido a que se logró caracterizar por primera vez de forma intensiva los parámetros del rayo (K. Berger, Anderson, & H. Kroninger, 1975). Posteriormente, en 1978 se realizaron otras mediciones en torres instrumentadas ubicadas en zonas templadas, Canadá “CN Tower” de 553 m (A. M. Hussein, y otros, 1995) y Alemania “Peissenberg Tower” de 160 m, proporcionando datos complementarios a los adquiridos hasta ese momento (F. Heidler, M. Manhardt , & K. Stimper, 2013).

La mayoría de los estudios publicados sobre datos de parámetros de descargas atmosféricas tuvieron lugar en regiones templadas, sin embargo, en 1985 se creó la primera estación de investigación de rayos en Latinoamérica ubicada en zona tropical, que dispone de un sistema de medición instalado en la base de una torre de 60 m de altura ubicada en la colina Morro do Cachimbo a 1430 m de altura sobre el nivel del mar, a las afueras de Belo Horizonte, Brasil. Esta estación se dedica a registrar la intensidad de la corriente, la forma de onda, la tasa de aumento y otros parámetros relacionados. Durante 13 años de medición se lograron obtener 31 registros de corrientes de rayos (Guimaraes , Ramos , Sobreiro, & Visacro , 2014). En Colombia, para el año 1998, el investigador Horacio Torres inició un proyecto con la estación experimental Ilyapa ubicada en Samaná, Caldas, usando una torre instrumentada de 30 m de altura, la cual, en el 2001 fue trasladada a la población de puerto Olaya aumentando su altura a 60 m, donde obtuvo como

resultado una única medición directa de corriente de rayo en un periodo aproximado de 9 años (Torres Sanchez, 2002)

Colombia al estar ubicado en la zona tropical, presenta una gran cantidad de tormentas eléctricas que ponen en riesgo la integridad de las personas y demás seres vivos; actualmente en el país las mediciones de los parámetros propios del rayo en zonas tropicales son escasos, lo cual impulsó a desarrollar esta investigación. En el presente trabajo se llevó a cabo la primera etapa de un proceso de medición de corriente de rayo, en la Sede de la Universidad Industrial de Santander, ubicada en la ciudad de Barrancabermeja, mediante la instalación de un equipo en la terraza del edificio de esta institución, cuyo propósito fue adquirir las señales provenientes de descargas atmosféricas. En este trabajo se analizarán los datos medidos en un periodo de cuatro meses, tomando como referencia un Sistema de Localización de Rayos, el sistema LMA (Lightning Mapping Array) ubicado en la ciudad de Barrancabermeja y la literatura correspondiente de la temática a tratar.

Este trabajo está dividido así: en la sección 2 se presenta la metodología para la medición de corrientes de rayos, en la sección 3 se presentan los resultados de las mediciones, en la sección 4 se presentan las conclusiones y en la sección 5 algunas recomendaciones.

1. Metodología

Para dar inicio a esta investigación fue necesario conocer los puntos con mayor actividad de rayos que se presentan en los alrededores de la ciudad de Barrancabermeja Santander, seleccionando de

esta forma el posible lugar de instalación del equipo de medición de corriente de rayo, diseñado y construido en dos trabajos de grado realizados con anterioridad (Caballero & Moncada, 2018) (Calderon & Cely Quesada, 2018). Establecido este lugar, se estudiaron el funcionamiento de los elementos que componen el equipo de medición, con el fin de realizar su adecuado ajuste y adaptación, garantizando que funcionara de manera apropiada; de igual forma, se identificaron las actividades que debían realizarse antes y durante la instalación en la Sede regional UIS Barrancabermeja, lugar que finalmente fue seleccionado para este propósito.

Concluida la instalación, se dio inicio al periodo de medición que comprendió un tiempo de cuatro meses entre noviembre de 2018 y febrero de 2019, en el cual se obtuvieron una serie de mediciones que fueron extraídas directamente del equipo en visitas de campo y mediante acceso remoto para posteriormente ser comparadas con el sistema localizador total de rayos propiedad de Keraunos S.A.S (SAS, 2015), buscando relación de tiempo y espacio entre ellas. Finalmente, las señales que tuvieron cierta correspondencia se analizaron basadas en información suministrada por la red DABEIBA LMA (A. Weiss, Rust, R. MacGorman, Bruning, & R. Krehbiel, 2008), concluyendo así sobre el origen de las señales adquiridas mediante el equipo de medición. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la metodología descrita anteriormente.

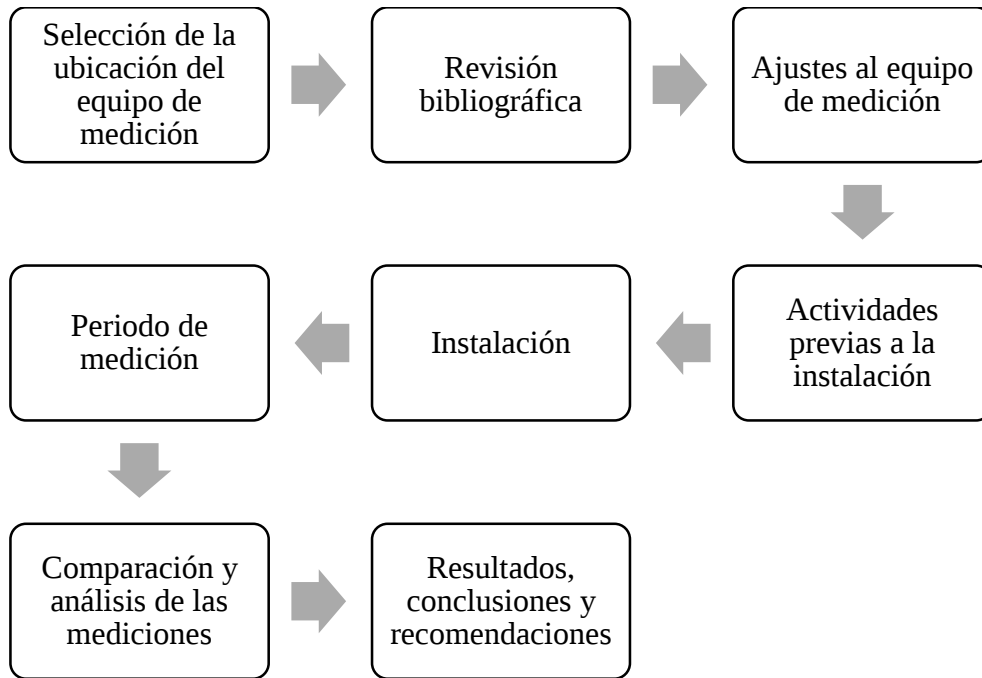


Figura 1. Diagrama de bloques de la metodología.

2. Resultados

2.1 Selección del lugar de instalación

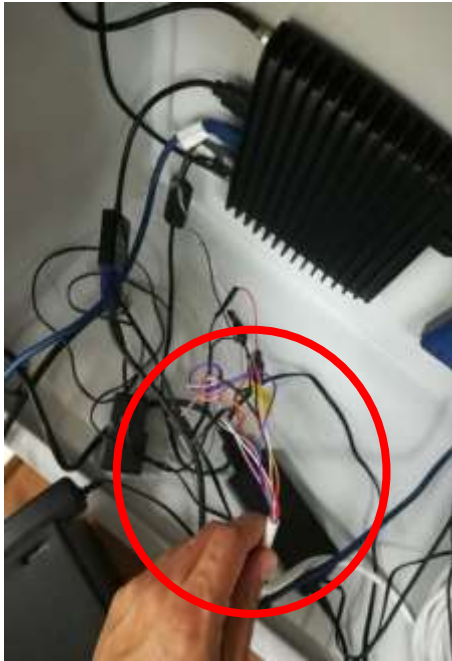
Los puntos donde se evidenciaba mayor actividad de rayos se encontraban en la zona rural de Barrancabermeja, sin embargo, se estableció la terraza del edificio de la Sede regional UIS ubicada en esta ciudad como lugar de instalación del equipo de medición, debido a que, si bien, allí se presenta una menor actividad de rayos, su ubicación al encontrarse en el casco urbano brindaba mayor seguridad y fácil acceso, lo cual, no implicaba costos adicionales en el desplazamiento en el momento de realizar seguimiento, verificación y/o mantenimiento al equipo de medición;

adicionalmente, se contaba con servicios de energía eléctrica e internet, indispensables para su funcionamiento.

2.2 Ajustes a los elementos que conforman el equipo de medición

En primera instancia, se revisó de manera general el equipo de medida para verificar el estado actual en que se encontraban, tanto el software como cada uno de los elementos que lo conforman, corrigiendo o ajustando oportunamente las falencias encontradas.

2.2.1 GPS. El GPS Garmin 19x no era reconocido por el minicomputador fitPC-4, por ello, se verificó el tipo de conexión existente, encontrando una conexión USB deficiente (figura 2a) por lo cual se revisó el manual de uso, observando que no es posible conectar el GPS mediante USB y que la conexión apropiada se da por medio de puerto serial, como se muestra en la figura 3.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Conexión USB deficiente (b) Conexión serial corregida.

Modificada la conexión (figura 2b) se comprobó el reconocimiento por parte del computador y mediante el software NMEAtime se observaron los datos de tiempo y de ubicación geográfica proporcionadas por este dispositivo como se muestra en la figura 4.

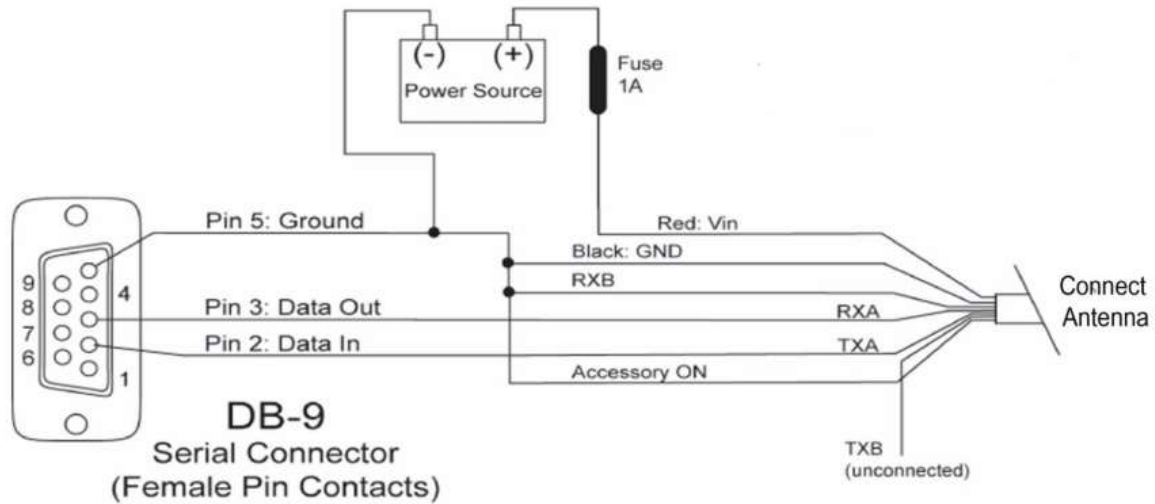


Figura 3. Conexión puerto serial GPS. Fuente: Manual de instalación GPS GARMIN 19x NMEA 0183 (Garmin, 2012)

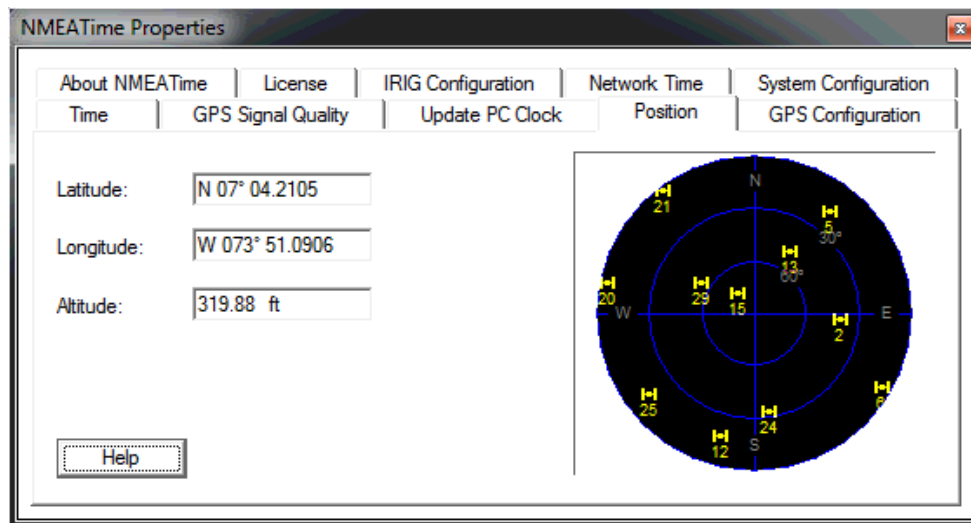


Figura 4. Vista de coordenadas desde NMEAtime. Fuente: NMEAtime (National Marine Electronics Association, .)

2.2.2 Configuración de control remoto. El seguimiento del equipo a distancia se llevó a cabo mediante el acceso remoto proporcionado por la aplicación TEAMviewer, la cual tiene la opción de ‘ordenadores y contactos’ y se obtiene acceso al computador, siempre y cuando, este se

encuentre encendido y cuente con internet. El ingreso puede realizarse desde cualquier dispositivo asociado mediante una contraseña y un correo electrónico, por tanto, se realizó la siguiente configuración para el acceso remoto al equipo.

1. Registrarse

Iniciar la versión completa de TeamViewer. Hacer click en el botón “ordenadores y contactos” si se requiere este listado. Si aún no se tiene una cuenta, dar click en el botón “registrarse”.

2. Crear una cuenta

En el primer paso, se introduce un nombre de usuario individual, dirección de correo electrónico y contraseña. En el segundo paso, se puede agregar el equipo directamente a una nueva lista de ordenadores y contactos.

3. Conectar

Pulsar el botón derecho del ratón sobre el ordenador o contacto que se desee y seleccionar una de las diferentes opciones de conexión, como control remoto, presentación, transferencia de archivos o VPN.

2.2.3 Medida de respaldo ante cortes de energía. Para garantizar que el equipo registrara constantemente las señales, se debía asegurar que el computador se encendiera automáticamente después de un corte de energía eléctrica, por esta razón, el equipo contaba con una configuración que realizaba dicha función, sin embargo, ante cortes de energía eléctrica menores a diez minutos, se tuvo como medida de respaldo una UPS interactiva liviana y de tamaño compacto modelo power back, con una potencia de 750 VA con 4 salidas, evitando durante este lapso que la falta del suministro de electricidad interfiriera con la obtención de mediciones.

2.3 Actividades previas a la instalación

Se realizaron visitas a la sede regional UIS Barrancabermeja, en las cuales se inspeccionó visualmente la terraza del edificio, donde se ejecutaría la instalación el equipo de medición, identificando así los materiales requeridos para este fin y las actividades necesarias que debían cumplirse previamente al montaje. A continuación, se presentan las actividades.

2.3.1 Cable de alimentación. La terraza no contaba con un punto de conexión a electricidad, el tomacorriente más cercano se encontraba en el cuarto de equipos, por tanto, fue necesario cambiar la longitud del cable de alimentación. Teniendo en cuenta que la nueva distancia era aproximadamente de 15 m y el equipo consume como máximo 360 W, y considerando que todos los dispositivos que conforman el mismo están conectados a un regulador de voltaje, el cual cuenta con una protección de sobre corriente de 3 A con tensión nominal de 120 V, se realiza el cambio del conductor por un cable 7 hilos, 3 x 12 AWG. Asumiendo este tramo como un circuito ramal, la norma para cálculo de diseño de sistemas de distribución, ESSA, en el apartado 2.1.4.2 ‘Circuitos en baja tensión’ señala que la regulación de tensión no debe superar el 2% (Electrificadora de Santander SA ESP, 2014).

2.3.2 Estructuras de soporte. Se construyó una estructura de soporte para la bobina de Rogowski con las dimensiones y forma mostradas en la figura 5, la cual se ubicó concéntricamente en el pararrayos que se encontraba en la terraza. Se escogió acrílico de 3 mm como material de construcción de la estructura, de tal forma que se evitaran perturbaciones de tipo magnético

causados por objetos metálicos que afectara la medición y que, a su vez, fuera resistente a condiciones climáticas adversas, como altas temperaturas.

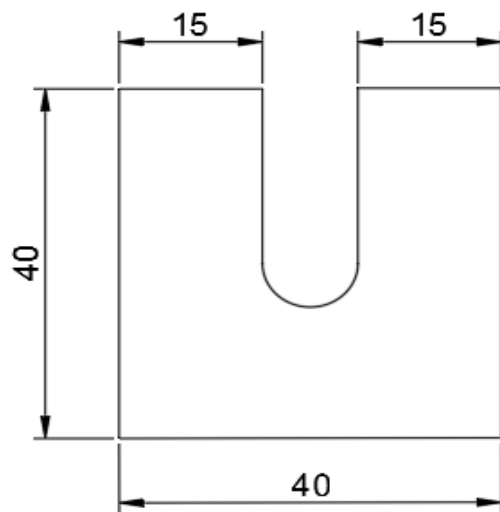


Figura 5. Dimensiones [cm] de estructura de soporte para la bobina de Rogowski.

Además, se construyó una estructura metálica anclada a la pared como soporte de la caja del equipo de medición, con ángulo de hierro calibre 1" 3/16, y cuyas mediciones se muestran en la figura 6.

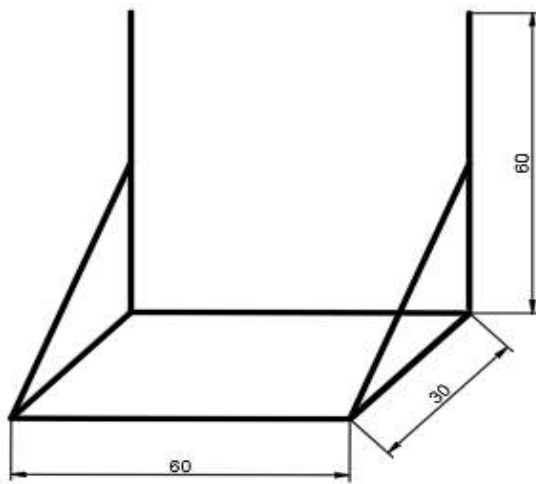


Figura 6. Dimensiones [cm] de estructura de soporte de caja del equipo de medición.

Culminadas las actividades anteriores, se llevó a cabo satisfactoriamente la instalación del equipo de medición de corriente de rayo en noviembre de 2018 (figura 7). Se verificó el funcionamiento del equipo mediante el acceso remoto notando que la señal recibida mediante la conexión inalámbrica a internet era débil e inestable y en ocasiones no permitía el ingreso, por esta razón se modificó la posición del Access Point ya que no era muy favorable. Al no percibir un cambio significativo en la velocidad de internet, se conectó el equipo mediante una red ethernet garantizando así una conexión estable y permanente.

Por otra parte, se observó que el equipo al estar a la intemperie estaba expuesto a los rayos del sol, por consiguiente, la temperatura propia de los elementos que lo conforman era elevada, motivo por el cual, se instaló como medida correctiva un techo para evitar el impacto directo de los rayos del sol a la caja, y un ventilador de 120 mm con cinco aspas a 110 V para tratar de reducir la temperatura en el interior del equipo.



Figura 7. Vista final de instalación del equipo en la terraza de la sede UIS, Barrancabermeja.

Así mismo, en la figura 8, se presenta una vista final de la distribución de los elementos del equipo al interior de la caja y un esquema de cómo se encuentran interconectados.

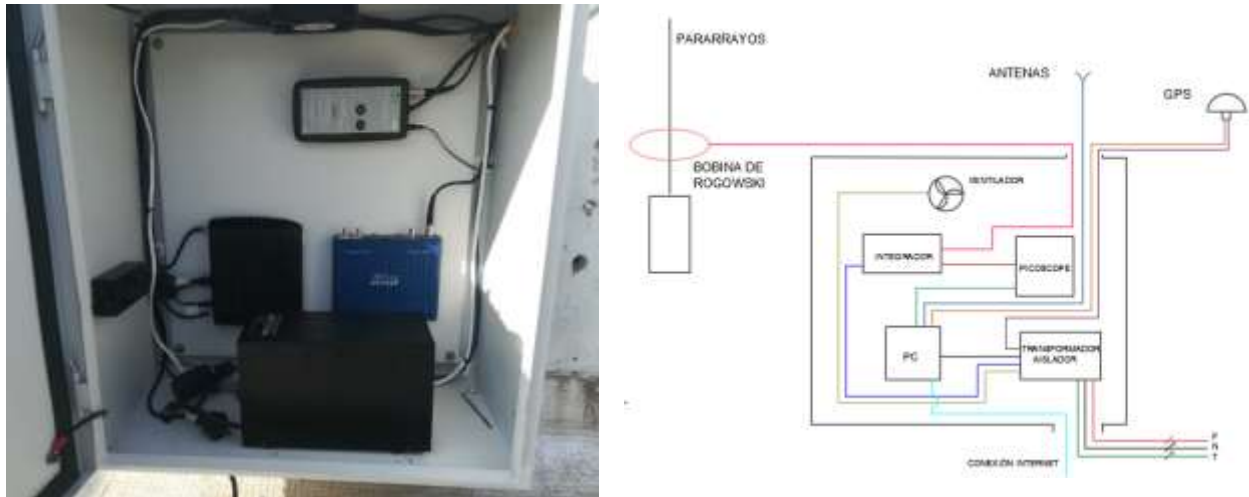


Figura 8. Distribución final de elementos dentro del equipo de medida.

2.4 Comparación con la red LINET

Las señales adquiridas mediante el equipo de medición de corriente de rayos fueron comparadas con la red LINET propiedad KERAUNOS S.A.S, la cual permitió tener una referencia confiable que facilitó el proceso de análisis de la información. Esta red permite adquirir datos de tiempo, longitud, latitud, altura, polaridad, corriente y tipo de rayos localizados dentro del área habilitada para el estudio desarrollado (figura 9). La información puede ser visualizada mediante la plataforma web LINETview, la cual tiene acceso restringido debido a que contiene información confidencial, por tal motivo, la Universidad Industrial de Santander cuenta con la autorización presentada en el ANEXO 2 por parte de KERAUNOS S.A.S para el uso de la información con fines académicos. El funcionamiento de la red se basa en herramientas y algoritmos que permiten la localización de rayos y detección de tormentas, para esto, cuenta con una serie de antenas de campo magnético ubicadas en diferentes estaciones del país, como se muestra en la figura 10. La

plataforma permite acceder a registros históricos, y visualizar descargas atmosféricas que se presentan en tiempo real (SAS, 2015).

Durante el periodo de adquisición, el equipo registró 68 mediciones mostradas en el ANEXO 1, debidas a posibles rayos ocurridos durante este tiempo, de las cuales, se conocen características como la forma de onda, valor pico de corriente, polaridad, fecha y hora UTC en que han tenido lugar o han sido detectadas. Conocida la fecha y hora específica de cada medición, comprendida entre las 0 y 24 horas y teniendo presente que la hora UTC corresponde a 5 horas más que la hora local, se procede a comparar con la información proporcionada por LINET. Para tal fin, se recurre al registro histórico que es la opción que más información brinda, de manera que, al realizar una inspección se encuentren registros de eventos de descargas atmosféricas relacionadas en espacio y tiempo.



Figura 9. Área autorizada por KERAUNOS S.A.S . Fuente: Plataforma LINETVIEW KERAUNOS S.A.S (Plataforma LINETview KERAUNOS S.A.S, 2019)



Figura 10. Ubicación sensores red colombiana de detección de rayos. Fuente: Petroeléctrica de los llanos LTDA, 2017 (Petroeléctrica de los llanos LTDA, 2017).

Al comparar las mediciones del ANEXO 1, se encontró en la red LINET, que en los días 22, 23, 27 de noviembre de 2018 y 20 de febrero de 2019 se presentan múltiples descargas en la ciudad de Barrancabermeja, comprobando la existencia de impactos cercanos a la sede UIS. Estos se presentan en el mismo rango de tiempo en que el equipo de medición de corriente de rayo obtuvo señales en los días anteriormente mencionados. En las figuras 11, 12, 13 y 14, se visualiza en Google Earth la información exportada desde LINET de estos días, donde los puntos naranjas indican los impactos registrados en un rango de tiempo específico para cada día. En dichas figuras, el círculo azul demarca una distancia máxima de 4 km respecto al lugar de instalación del equipo,

ya que, esta es la longitud media alcanzada por las perturbaciones ocasionadas por rayos (COPIMERA, 2019).



Figura 11. Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 20/02/2019 entre 9:45 y 10:15 UTC. Fuente: Google Earth (Google, 2017).



Figura 12. Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 27/11/2018 entre 8:45 y 9:45 UTC. Fuente: Google Earth (Google, 2017).



Figura 13. Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 22/11/2018 entre 7:15 y 8:00 UTC.

Fuente: Google Earth (Google, 2017).



Figura 14. Eventos registrados dentro del radio de 4 km el día 23/11/2018 entre 7:00 y 7:30 UTC.

Fuente: Google Earth (Google, 2017).

Inicialmente, para considerar las mediciones del equipo como impactos directos, estas se debían encontrar dentro de un radio aproximado de 200 metros, demarcado por el círculo verde, asumiendo como centro la ubicación del equipo, teniendo en cuenta que esta distancia corresponde al error de localización medio proporcionado por la red LINET. A partir de este criterio se trazó

una circunferencia de dicho radio en Google Earth (figura 15) observando que en los días 27 de noviembre (figura 15b) y 22 de noviembre (figura 15d) de 2018, no se encuentran impactos dentro del círculo, pues el impacto más cercano ocurrió a 460 m y 1500 m respectivamente, sin embargo, para los dos días restantes (figura 15a y 15c) si se encuentran impactos dentro del radio demarcado.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 15. Eventos registrados en radio de 200 m (a) 20/02/2019 (b) 27/11/2018 (c) 23/11/2018 (d) 22/11/2018. Fuente: Google Earth (Google, 2017).

En la tabla 1, se muestra la información de los cuatro impactos obtenidos por la red de localización de rayos que se sitúan en las proximidades de la sede UIS Barrancabermeja, tres de ellos presentados el día 23 de noviembre de 2018 y uno el 20 de febrero de 2019, de igual manera, en la tabla 2, se presenta la información extraída de las mediciones adquiridas mediante el equipo de medición de corriente de rayo durante el lapso de tiempo mencionado anteriormente

Tabla 1.

Información de impactos dentro del radio de 200 m, suministrada por LINET 20/02/2019 y 23/11/2018

COORDENADAS						
<i>Fecha</i>	<i>Hora utc</i>	<i>Polaridad</i>	<i>Corriente [ka]</i>	<i>Tipo</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>
20/02/2019	10:14:44,772	-	14,6	Nube-tierra	-73,8523	7,0718
23/11/2018	7:23:50,791	+	10,5	Intra-nube	-73,8505	7,0717
23/11/2018	7:13:31,508	+	9	Nube-tierra	-73,8500	7,0695
23/11/2018	7:08:44,237	-	8,8	Nube-tierra	-73,8505	7,0712

Tabla 2.

Datos obtenidos mediante el equipo de medición el 20/11/2019 y 23/11/2018

<i>Fecha</i>	<i>Hora UTC</i>	<i>Picos</i>	<i>Polaridad</i>	<i>Corriente [ka]</i>
20/02/2019	10:09:31	1	+	14,192
		2	+	1,9222
		3	+	3,266
20/02/2019	9:26:16	1	+	12,77
		2	+	1,3716

<i>Fecha</i>	<i>Hora UTC</i>	<i>Picos</i>	<i>Polaridad</i>	<i>Corriente [ka]</i>
		3	+	7,716
		4	+	19,076
		1	-	11,738
		1	-	22,24
23/11/2018	7:30:50	1	-	11,824
23/11/2018	7:25:24	1	-	21,76
23/11/2018	7:19:23	1	-	31,8
		2	-	42,46
		3	-	25,8
		4	-	41,18
		1	-	13,718
23/11/2018	7:13:25	1	+	13,692
23/11/2018	7:11:45	1	+	34,22
		2	+	15,904
		3	+	14,94
		4	+	51,38
		5	+	26,32
		6	+	33,34
		1	+	12,048
		2	-	13,976
		1	-	40,96
		2	-	39,34
		3	-	21,4
		4	+	15,67
		5	-	18,01
23/11/2018	7:05:12	1	-	17,832
		2	-	32,28
		3	-	24,58
		4	-	13,96

Al comparar los datos de la tabla 1 y tabla 2, se observa la existencia de eventos cercanos en tiempo que pueden estar asociadas a descargas atmosféricas, sin embargo, la hora en que se registraron dichas mediciones por parte del equipo de medición no es exactamente igual, esto puede ser atribuido a errores debidos a la sincronización de tiempo del equipo, las mediciones que presentan relación en tiempo se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.

Tabla comparativa de las señales registradas por la red LINET y equipo de medición de corriente de rayo.

Fecha	Hora UTC	P	LINET			EQUIPO DE MEDIDA			
			Corriente [ka]	Tipo	Distancia [m]	Hora UTC	Picos	P	Corriente [ka]
20/02/2019	10:14:44,772	-	14,6	Nube- tierra	194,754	10:09:31	1	+	14,192
							2	+	1,9222
							3	+	3,266
23/11/2018	7:23:50,791	+	10,5	Intra- nube	198,973	7:25:24	1	-	22,24
23/11/2018	7:08:44,237	-	8,8	Nube- tierra	156,465	7:07:45	1	+	34,22
							2	+	15,904
							3	+	14,94
							4	+	51,38
							5	+	26,32
							6	+	33,34
23/11/2018	7:13:31,508	+	9	Nube- tierra	186,66	7:13:25	1	-	13,718

En la tabla 3 se observa una discrepancia en la magnitud de los picos presentados en cada señal registrada por el equipo respecto a las indicadas por la red LINET, todas con polaridades opuestas, de las cuales, tres de ellas se muestran como nube tierra y uno intra nube.

Para conocer si las mediciones obtenidas, comparadas previamente con la red LINET (tabla 3), corresponden a impactos directos, se analizó la información suministrada por el sistema LMA, el cual utiliza una técnica de tiempo de llegada para localizar fuentes de pulso de radiación producidos por la ruptura eléctrica de los canales de rayos a medida que se propagan (A. Weiss, Rust, R. MacGorman, Bruning, & R. Krehbiel, 2008), esto permite identificar la posible trayectoria y puntos de impacto del rayo, aclarando que en las condiciones actuales de funcionamiento el sistema no detecta con precisión fuentes que se encuentren por debajo de 1 km.

La información analizada mediante el LMA corresponde al 20 de febrero de 2019 entre las 5:10 -5:20, hora local, o entre 10:10 - 10:20, UTC, y 23 de noviembre de 2018 entre las 2:00 - 2:30, hora local, o entre 7:00 - 7:30, UTC, tipo de hora con que trabaja este sistema. Los datos registrados pueden ser visualizados en intervalos de tiempo de 10 minutos, por lo cual, se tuvieron en cuenta cuatro intervalos, los datos correspondientes a estos periodos se muestran en la figura 16, 17, 18 y 19 respectivamente.

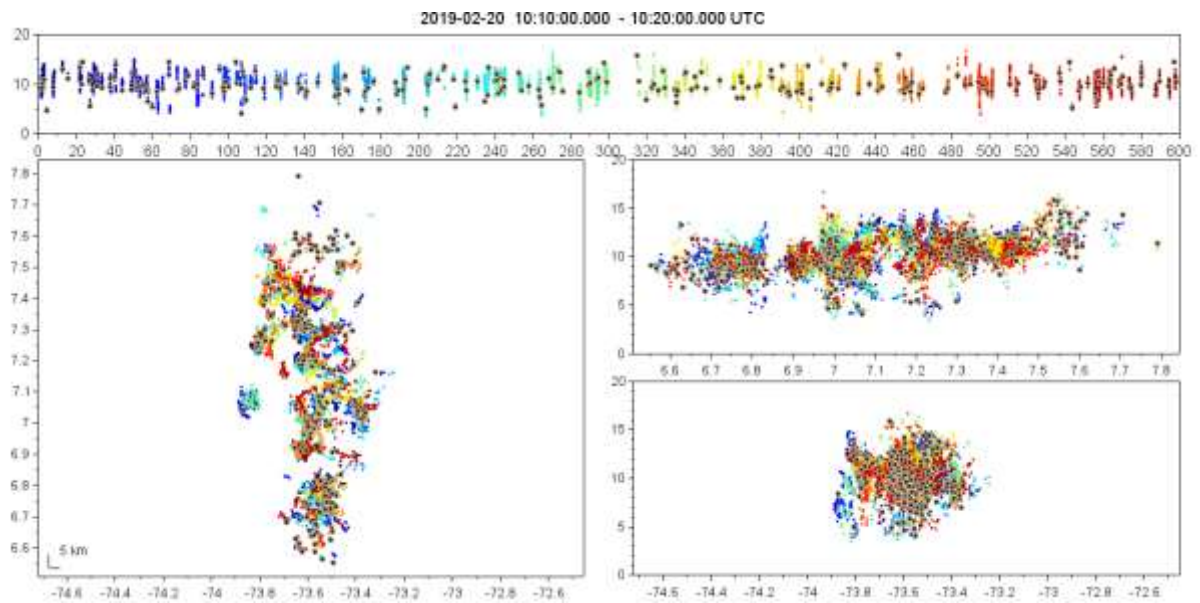


Figura 16. Intervalo de 10:10 – 10:20 UTC, 20 de febrero de 2019. Fuente: LMA zoomviewer (Lightning Mapping Array, 2019)

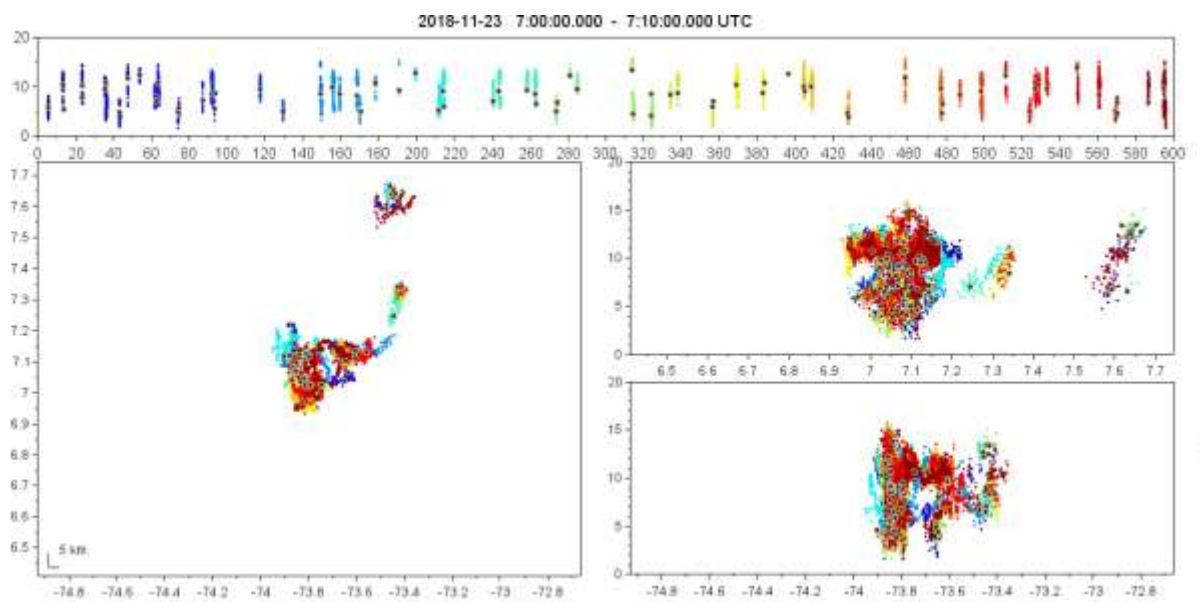


Figura 17. Intervalo de 7:00 – 7:10 UTC, 23 de noviembre de 2018. Fuente: LMA zoomviewer (Lightning Mapping Array, 2019)

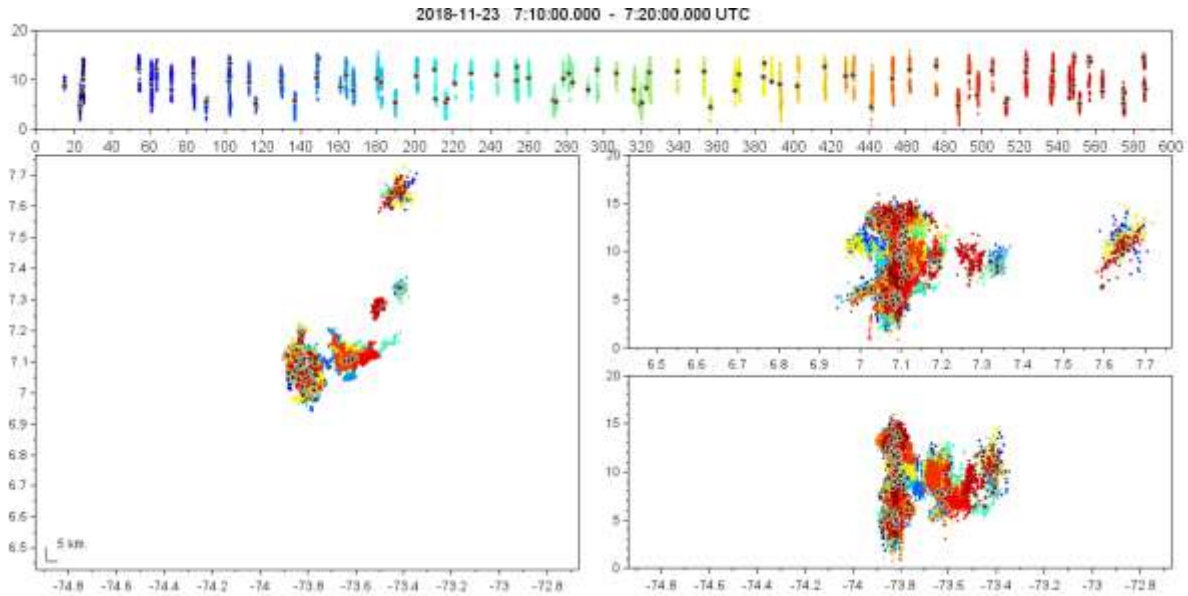


Figura 18. Intervalo 7:10 – 7:20 UTC, 23 de noviembre de 2018. Fuente: LMA zoomviewer (Lightning Mapping Array, 2019)

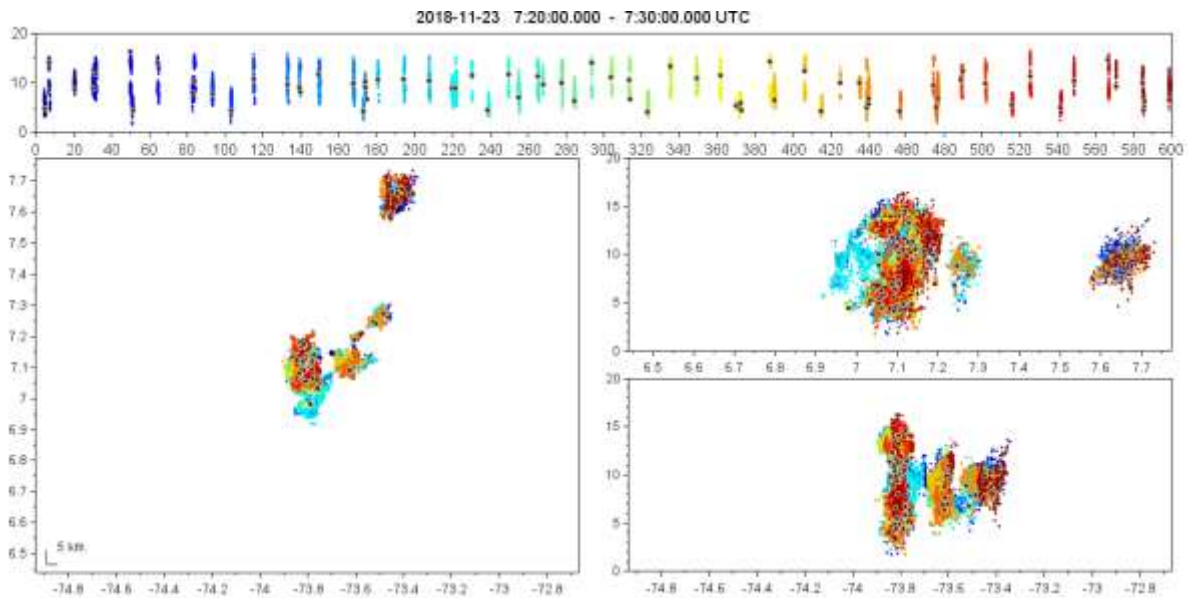


Figura 19. Intervalo 7:20 – 7:30 UTC, 23 de noviembre de 2018. Fuente: LMA zoomviewer (Lightning Mapping Array, 2019)

Las figuras mostradas anteriormente permiten visualizar características de la trayectoria de la tormenta, tales como, latitud, longitud, y altura a nivel del mar respecto al tiempo. Para conocer

esta información, se exportaron los datos a Google Earth donde se identificaron aquellas fuentes de la descarga atmosférica presentes dentro del radio máximo de 200 metros. Una vez seleccionadas dichas fuentes, se determinó la altura y hora en que tuvieron lugar, de igual manera, se calculó la distancia hasta la ubicación del equipo de medición permitiendo conocer si los datos obtenidos corresponden a medición de impactos directos o a inducciones de campo magnético. En la figura 20 se visualizan únicamente dieciocho fuentes presentadas el 23 de noviembre de 2018, diferenciadas por su color según el intervalo de tiempo en que se presentaron, de esta forma, los puntos amarillos corresponden al intervalo de 7:00 – 7:10, los puntos azules de 7:10 – 7:20 y finalmente los puntos rojos de 7:20 – 7:30, ya que, el 20 de febrero de 2019 no se encuentran fuentes dentro del radio establecido. Adicionalmente, se observan sobrepuestos los cuatro rayos vistos en la red LINET. Relacionando la hora de ocurrencia de los eventos registrados por el equipo de medición de corriente de rayo con la información del LMA y red LINET, se encuentra una diferencia de tiempo en minutos bastante significativa, ya que se esperaría que esta diferencia fuera de milisegundos o en el peor de los casos, de segundos.



Figura 20. Visualización de fuentes detectadas por LMA e impactos detectados por LINET cerca a la sede UIS Barrancabermeja. Fuente: Google Earth (Google, 2017)

En la tabla 4 se observan las coordenadas, altura respecto al nivel del mar, la distancia entre la sede UIS Barrancabermeja y el punto de localización en el suelo (distancia horizontal) y hora local de las fuentes registradas por el LMA dentro del área.

Tabla 4.

Datos de fuentes cercanas a la UIS Barrancabermeja extraídas del LMA.

Intervalo	Fuentes	Hora utc	Latitud	Longitud	Altura [km]	Distancia [km]
7:00-7:10 UTC	1	7:05:24	7° 4'11.64"N	73°51'10.44"O	4,953	0,172
	2	7:08:31	7° 4'9.84"N	73°51'7.56"O	13,642	0,126
	3	7:04:18	7° 4'8.40"N	73°51'4.32"O	10,104	0,143

Intervalo	Fuentes	Hora utc	Latitud	Longitud	Altura [km]	Distancia [km]
	4	7:04:18	7° 4'14.16"N	73°51'7.56"O	10,373	0,087
	5	7:07:38	7° 4'12.00"N	73°51'5.40"O	13,640	0,033
	6	7:06:09	7° 4'13.80"N	73°51'1.80"O	12,745	0,101
	7	7:05:24	7° 4'12.36"N	73°51'0.72"O	8,397	0,132
	8	7:06:09	7° 4'9.48"N	73°50'59.64"O	12,956	0,196
	9	7:01:03	7° 4'11.64"N	73°51'9.72"O	12,179	0,152
7:10-7:20 UTC	1	7:17:21	7° 4'18.84"N	73°51'6.12"O	4,254	0,182
	2	7:12:44	7° 4'18.12"N	73°51'1.44"O	12,858	0,190
	3	7:15:19	7° 4'14.88"N	73°50'60.00"O	4,417	0,163
	4	7:18:13	7° 4'12.72"N	73°51'7.20"O	13,083	0,068
	5	7:18:13	7° 4'10.56"N	73°51'5.04"O	12,160	0,074
	6	7:15:19	7° 4'11.28"N	73°51'7.20"O	4,242	0,087
	7	7:18:13	7° 4'8.04"N	73°51'8.64"O	12,247	0,189
7:20-7:30 UTC	1	7:26:55	7° 4'8.40"N	73°51'5.76"O	6,825	0,143
	2	7:25:14	7° 4'11.64"N	73°51'10.80"O	13,654	0,184

De la tabla 4 se observa que existen fuentes que a pesar de estar próximas en distancia horizontal al punto de incidencia, presentan alturas que superan los cuatro kilómetros de longitud, por lo cual, se asume que las mediciones adquiridas por el equipo de medida de corriente de rayo no corresponden a señales de impactos directos, pues considerando que Barrancabermeja se encuentra a 75,94 msnm y sumando la altura de la terraza se estima que la altura para este tipo de impacto estaría a 90 metros, aproximadamente. Además, las formas de onda registradas por el equipo de medición mostradas en la figura 22 a, b, c, d, con tiempos de frente de 1,67 μ s, 2,68 μ s, 1,35 μ s y 0,55 μ s respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango de 0,5 μ s a 5 μ s, aproximadamente, para este tipo de señales inducidas, en la cual, 0,05 V en el eje de las ordenadas equivale a 1 kA (Calderon & Cely Quesada, 2018), por ejemplo, 0,71 V corresponde a 14,2 kA operando de la siguiente manera:

$$I = \frac{0,71 [V] * 1 [kA]}{0,05 [V]}$$

Se observa también que la tendencia de la forma de las señales difiere de la presentada en las formas de onda de corriente de retorno debidas a impactos directos nube-tierra encontradas en el estudio realizado en la estación Morro do Cachimbo en Brasil (figura 21 a) y en el ámbito nacional, en el estudio realizado por Horacio Torres en la estación experimental Ilyapa en Samaná - Caldas (figura 21 b)

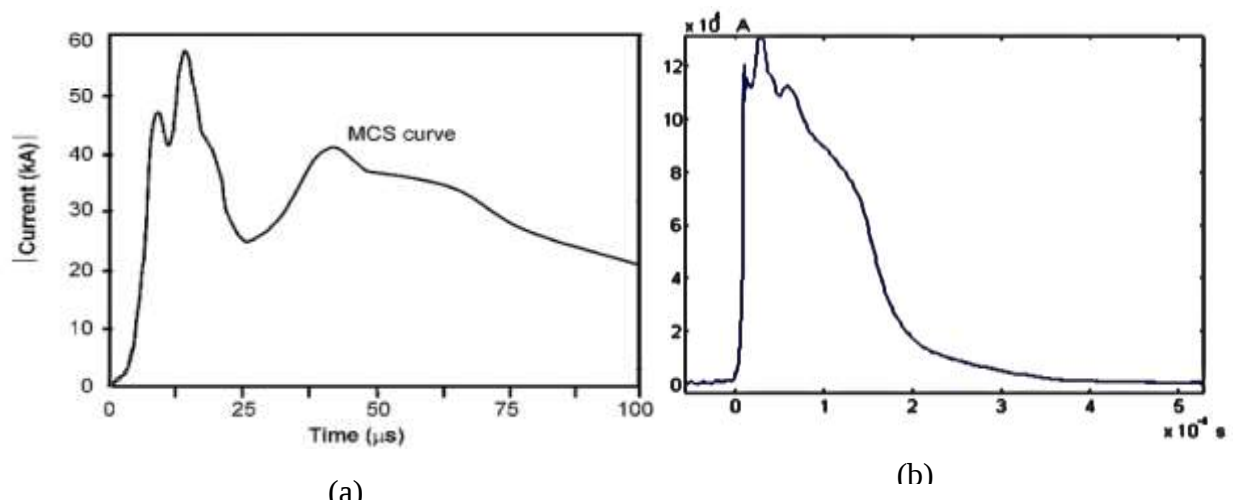


Figura 21. Formas de onda de corriente de rayo obtenidas en (a) Estación Morro do Cachimbo en Belo Horizonte - Brasil (b) Estación experimental Ilyapa en Samaná - Caldas. Fuente: (a) (Visacro, 2004) (b) (Caballero & Moncada, 2018)

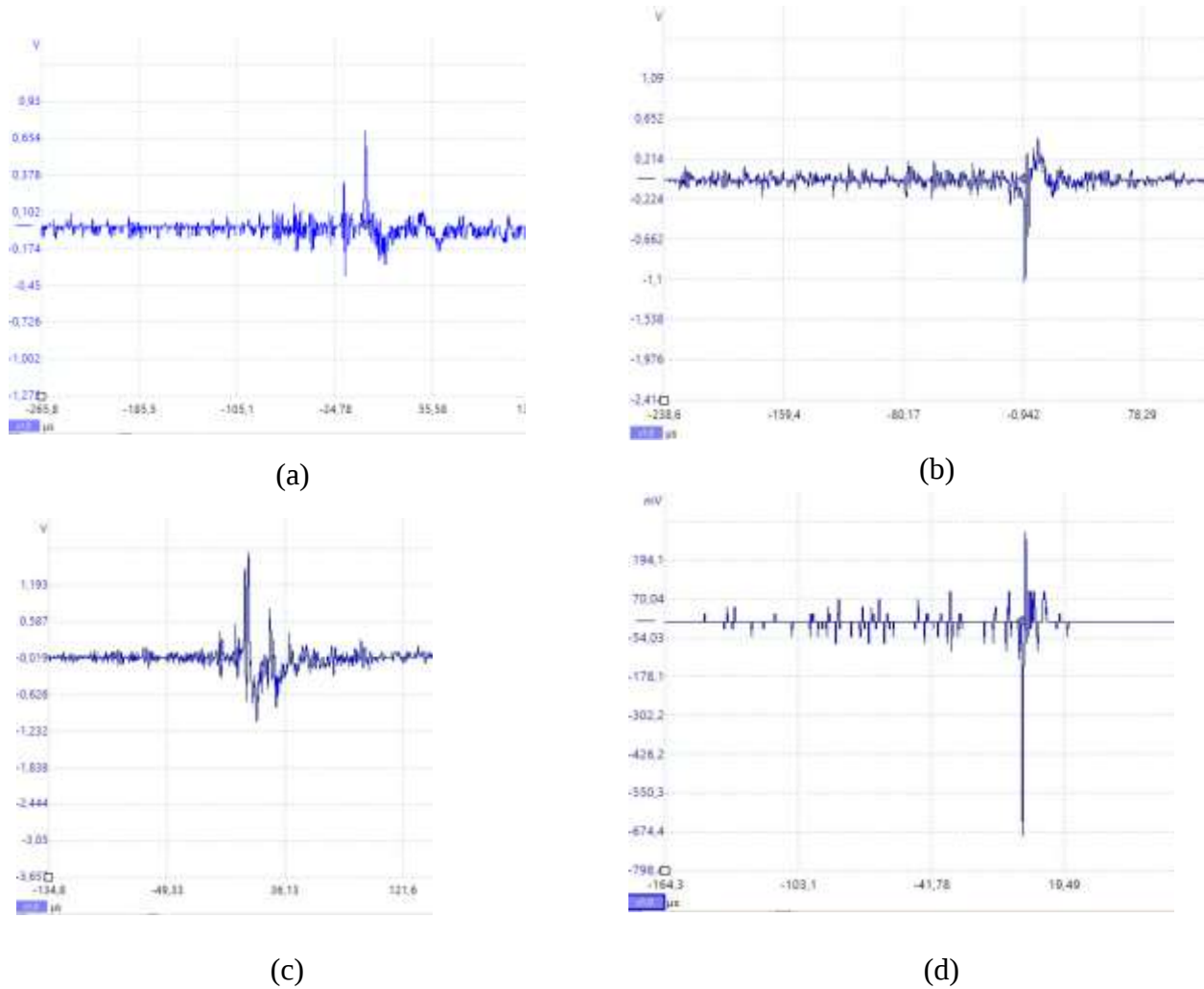


Figura 22. Señales obtenidas mediante PicoScope (a) 20/02/2019 a las 5:09:31 (b) 23/11/2018 a las 2:25:24 (c) 23/11/2018 a las 2:07:45 (d) 23/11/2018 a las 2:13:25. Fuente: PicoScope (Pico Technology Company)

Entre las señales obtenidas también se encuentran mediciones como las visualizadas en las figura 23, que pertenecen a días en los que tanto la red LINET y el sistema LMA no presentan registros, por esta razón, estas se pueden asociar a ruidos causados por micro interrupciones en la conexión, interferencias procedentes del propio sistema de medición, entorno ambiental o

provenientes de dispositivos externos instalados en la misma terraza donde está ubicado el equipo de medición. Estas mediciones corresponden a las clasificadas como tipo “R” (Ruido) mostradas en el ANEXO 1.

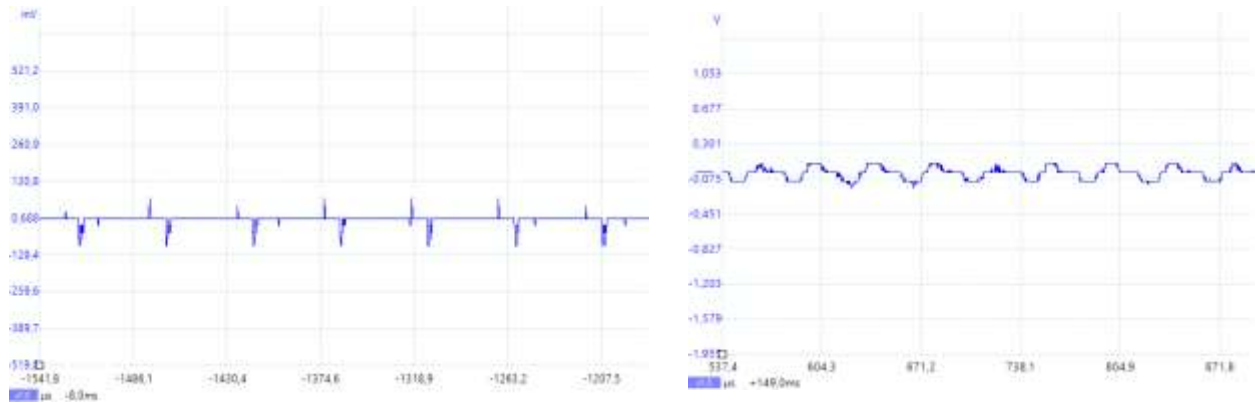


Figura 23. Formas de onda asociadas a ruido. Fuente: PicoScope (Pico Technology Company)

Del total de las mediciones obtenidas durante el periodo de medición se puede decir que alrededor del 20% de las señales corresponden a corrientes de rayo inducidas en un radio inferior a 200 m, un 12% a señales de corriente inducidas originadas por eventos atmosféricos en una región definida entre un radio mayor a los 200 m y un radio menor a 4 km, mientras que el 68% restante se debe a ruidos o interferencias captadas por el equipo de medición como se muestra en la figura 24.

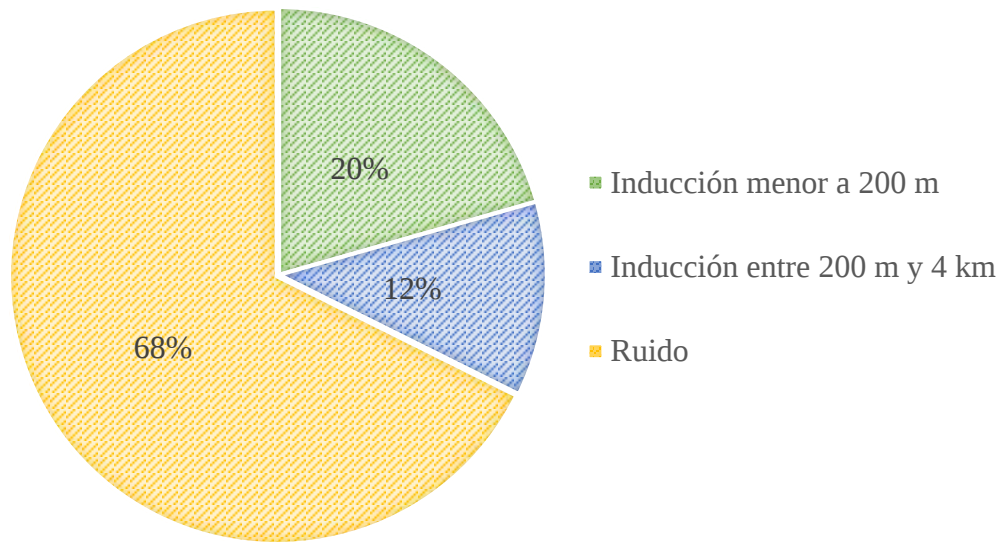


Figura 24. Procedencia de las señales adquiridas por el equipo.

3. Conclusiones

Se identificaron las actividades que se debían efectuar previamente a la instalación, como estructuras de soporte, ajustes al GPS, control remoto, adaptación cable de alimentación, conexión a internet y compra de diferentes elementos necesarios para tal fin, así mismo, se llevó a cabo la gestión para el traslado del equipo, garantizando así, la correcta adecuación, montaje y puesta en funcionamiento del equipo de medición de corriente de rayo en el lugar dispuesto en la terraza del edificio de la sede UIS Barrancabermeja.

A partir de la comparación de datos con la red de localización de rayos, se puede atribuir el origen de diferentes señales adquiridas por el equipo de medición de corriente de rayo a posibles

interferencias provenientes de dispositivos eléctricos ubicados en el mismo lugar, ya que, existen días en que se tiene mediciones por parte del equipo instalado, las cuales, no son vistas en la red LINET.

Dado que al comparar las mediciones con la red LINET para los días 22 y 27 de noviembre no se encontraron registros de rayos dentro del radio de 200 metros y para el 20 de febrero no se localizan fuentes en el LMA en este mismo radio, se considera que posiblemente las mediciones registradas por el equipo en estos días se deben a inducciones de campo magnético provenientes de eventos atmosféricos presentados en la ciudad de Barrancabermeja.

Conociendo el resultado del análisis realizado a la información suministrada por la red DABEIBA-LMA se puede inferir que las mediciones registradas el 23 de noviembre de 2018 no corresponden a corrientes debidas a un impacto directo, ya que las alturas encontradas de las fuentes próximas a la sede UIS Barrancabermeja superan los 4 km, por tanto, estas mediciones probablemente se deben a inducciones de corrientes originadas por rayos tipo intra nube.

No se logró obtener la corriente de rayo asociada a un impacto directo, puesto que el rayo es un fenómeno atmosférico que tiene un marcado carácter aleatorio, por lo que requiere de un amplio tiempo de medición, así mismo, sólo se contó con un equipo de medida lo cual limitaba la posible obtención de señales de este tipo.

Se evidencia una diferencia significativa en la magnitud de la amplitud de la señal de corriente registrada por el equipo de medición y la indicada por la red de localización de rayos, esto puede deberse a que el tipo de medición de ambos sistemas es distinto, pues la red LINET la realiza de forma indirecta, mientras que, el equipo de medición de corriente de rayo instalado la realiza de forma directa. Es importante tener presente que los sistemas de medición, en general, insertan

cierto error en el proceso de adquisición y almacenamiento de las señales, lo que puede llegar a modificar parámetros de las mediciones.

4. Recomendaciones

Trasladar el equipo de medición a una torre o un lugar de mayor altura cuya ubicación cuente con alta actividad de descargas atmosféricas, todo esto con el fin de tener una mayor probabilidad de mediciones directas de la corriente de rayo.

Las señales registradas en este periodo de estudio se obtuvieron mediante un único equipo de medición, por lo cual, la adquisición de datos fue limitada, debido a esto, es aconsejable la implementación de más dispositivos de medida directa de corriente de rayo ubicados en diferentes lugares para tener una mayor cobertura, teniendo presente que llevar a cabo la ejecución de este tipo de proyectos implica un costo elevado.

Dado que el periodo de medición tuvo una duración de cuatro meses, se sugiere continuar con el estudio para ampliar la información y constituir con el tiempo una base de datos acerca de la corriente de rayo que posteriormente sirva para emprender nuevas investigaciones.

Referencias Bibliográficas

- A. M. Hussein, W. Janischewskyj, J-S Chang, V. Shostak, W. A. Chisolm, P. Dzurevych, & Z-I Kawasaki. (1995). *Simultaneous measurement of lightning parameters for Strokes to the Toronto Canadian National Tower*. J. Geophys .
- A. Weiss, S., Rust, W. D., R. MacGorman, D., Bruning, E. C., & R. Krehbiel, P. (2008). Envolving Complex Electrical Structures of the Steps 25 June 2000 Multicell Storm. *American Meteorological Society*, 136(1), 16.
- Bermudez Arboleda, J. (2000). Medida de corriente de descargas atmosféricas mediante torres instrumentadas. *Energía y computación*, IX(2), 9.
- Caballero, A. M., & Moncada, O. M. (2018). *Selección de equipos para conformar un dispositivo de medición de corriente de rayos en una estructura elevada en el departamento de Santander* . Universidad Industrial de Santander .
- Calderon, D. Y., & Cely Quesada, F. (2018). *Construcción de un dispositivo para la medición de corrientes de rayo*. Universidad Industrial de Santander.
- Cooray, V. (2003). *The Lightning Flash*. London, UK: Institution of Electrical Engineers.
- COPIMERA. (2019). Qué rayos sabemos sobre innovación tecnológica. *Innovación y desarrollo tecnológico en la Ingeniería*.
- Cruz Bernal, A. S., Torres Sánchez, H., Aranguren Fino, H., & Inampúes Borda, J. (2018). Tasa de mortalidad por rayos en Colombia para el periodo 1997 - 2014. *Revista UIS ingenierías*, 10.
- Eachron, K. M. (1939). *Lightning to the Empire State Building*. J. Franklin Inst.

Electrificadora de Santander SA ESP. (2014). Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Bucaramanga, Santander: .

Encyclopedia Británica, Inc. (30 de Abril de 2014). *Tiempo Hoy*. Obtenido de http://www.tiempohoy.es/es/home/tiempo/noticias-del-tiempo/noticias-del-tiempo/ch/3d48f6ac7fef3764fc24b2402326851b/article/anatomia_de_un_rayo.html

F. Heidler, M. Manhardt , & K. Stimper. (2013). The electric field of negative upward lightning strikes at the Peissenberg tower, Germany. *International Conference on Lightning Protection*. Germany.

Garmin. (2012). *GPS 19x HVS TECHNICAL SPECIFICATIONS*. Garmin international, Inc.

Google. (23 de julio de 2017). *Google Earth*. (Google) Recuperado el 5 de Julio de 2019, de <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Guimaraes , M., Ramos , P., Sobreiro, R., & Visacro , S. (2014). Lightning Measurements at Morro do Cachimbo Station: new results. *International Conference on Lightning Protection*. Shanghai, China.

Izadi, M., Ab Kadir, M., Cooray, V., & Hajikhani, M. (2014). Estimation of Lightning Current and Return Stroke Velocity Profile Using Measured Electromagnetic Fields. En *Electric Power Components and Sistem* (págs. 103-111).

K. Berger, Anderson, & H. Kroninger. (1975). *Parameters of lightning flashes*. Electra.

Lightning Mapping Array. (2019). LMA Viewer. España.

Molina, F. G. (2001). Evaluación estadística del comportamiento de líneas aéreas de distribución frente a sobretensiones de origen externo. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

National Marine Electronics Association. (.). NMEAtime. Estados Unidos: NMEAtime.

- NTC 4552. (1 de Diciembre de 2004). Norma técnica Colombiana. *Protección contra rayos. Principios generales*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC.
- Orville, R., & Songster, H. (1987). *The East Coast Lightning Detection Network*. The United States: IEEE Transactions on Power Delivery.
- Petroeléctrica de los llanos LTDA. (2017). *Experiencias y acciones ante descargas atmosféricas en líneas de transmisión a partir de un sistema de información*. Bogotá: Comisión de Integración Energética Regional.
- Pico Technology Company. (s.f.). PicoScope 3000.
- Plataforma LINETview KERAUNOS S.A.S. (05 de 21 de 2019). *Plataforma LINETview*. Obtenido de LINETview: <https://linetview.nowcast.de/linetview/pages/index.html>
- Rachidia, F., Bermudeza, J., Rubinsteinb, M., & Rakov, V. (2004). On the estimation of lightning peak currents from measured fields using lightning location system.
- Rakov, V. A., & Uman, M. A. (2003). *Lightning Physics and effects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SAS, K. (2015). *Red Colombiana de detección de rayos - LINET*. KERAUNOS SAS.
- Torres Sanchez, H. (2002). Aplicación de la protección contra rayos a la falla de transformadores de distribución. En *Normas técnicas contra rayos y sus aplicaciones* (pág. 143). Bogotá: UNIBIBLOS.
- Torres Sánchez, H. (2017). La interdisciplinariedad en la ciencia del rayo. (*Artículo de posesión*). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá.
- Uman, M. A. (1984). *Lightning*. New York: McGraw-Hill.
- Visacro, S. (2004). A representative curve for lightning current waveshape of first negative stroke. *Advancing earth and space science*, 31, 3.

Apéndices

Apéndice A. Mediciones obtenidas por el equipo de medida de corriente de rayo.

En el presente anexo se muestra la fecha y hora UTC en que el equipo registró señales durante el periodo de medición, de igual forma se muestra la polaridad y magnitud de los picos presentes en cada señal y el origen de las mismas el cual se clasificó según su tipo de la siguiente manera:

Tipo IC: Inducción menor a 200 metros

Tipo IL: Inducción mayor a 200 metros y menor a 4 kilómetros

Tipo R: Ruido

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
28/02/2019	17:06:20	1	-	15,69	R
28/02/2019	16:59:57	1	+	4,724	
		2	-	6,144	
28/02/2019	10:39:57	1	-	12,77	
25/02/2019	13:00:21	1	+	10,386	R
		2	+	12,296	
		3	-	2,382	
		4	-	3,754	
		5	+	5,182	
24/02/2019	13:25:10	1	+	13,718	R
		2	-	5,706	
		3	+	9,458	
		4	+	3,728	
22/02/2019	14:28:14	1	+	14,666	R

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
20/02/2019	10:09:31	2	-	5,68	IL
		3	+	9,444	
		4	+	3,32	
		1	+	14,192	
		2	+	1,9222	
		3	+	3,266	
20/02/2019	9:26:16	1	+	12,77	
		2	+	1,3716	
		3	+	7,716	
		4	+	19,076	
01/02/2019	21:43:21	1	-	17,502	R
01/02/2019	15:42:18	1	+	20,34	
01/02/2019	03:15:26	2	-	17,028	R
		1	+	15,132	
		2	-	3,902	
30/01/2019	00:16:54	3	+	6,97	
		1	-	12,77	
29/01/2019	15:10:57	2	-	7,724	
		1	+	13,244	
		2	+	11,74	
29/01/2019	13:30:19	3	+	4,3	
		1	+	12,77	
		2	+	12,234	
29/01/2019	02:53:58	1	+	16,08	R
26/01/2019	15:11:23	1	+	13,244	R
		2	+	11,672	
24/01/2019	23:43:12	1	+	16,08	R
		2	-	4,056	
		3	+	12,192	
		4	+	5,066	

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
22/01/2019	02:28:03	1	-	16,554	R
16/01/2019	16:50:47	1	+	15,154	R
		2	+	15,606	
		3	-	3,87	
		4	+	5,588	
10/01/2019	13:20:12	1	+	14,666	R
		2	+	13,672	
		3	+	5,698	
		4	-	3,336	
09/01/2019	02:32:22	1	+	7,562	R
		2	+	18,448	
		3	-	5,888	
		4	+	10,924	
30/12/2018	18:41:00	1	+	16,5	R
		2	+	17,502	
		3	-	6,292	
		4	-	5,714	
20/12/2018	03:02:02	1	-	11,35	R
19/12/2018	16:03:27	1	-	30,76	
19/12/2018	12:46:43	1	+	23,8	
		2	+	26,96	
		3	-	21,48	R
		4	-	31,22	
18/12/2018	00:59:42	1	+	24,6	
18/12/2018	00:54:04	1	-	11,824	R
		2	+	11,35	
18/12/2018	00:52:45	1	+	32,64	
		2	-	45,9	
		3	-	25,56	
18/12/2018	00:50:55	1	+	32,64	

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
		2	-	28,4	
		3	+	23,6	
		4	-	26,5	
		5	+	25,4	
		6	+	18,796	
		7	-	25,4	
		8	+	24,6	
		9	+	17,846	
18/12/2018	00:49:36	1	+	11,824	
18/12/2018	00:48:17	2	-	23,66	
		1	+	17,106	
		2	+	7,498	
		3	+	11,932	
		4	+	5,772	
18/12/2018	00:47:03	5	-	15,372	
		6	-	13,694	
		1	+	12,558	
		2	-	15,376	
		3	+	7,66	
18/12/2018	00:45:43	4	-	12,462	
		5	+	18,516	
		1	-	27,46	
		2	+	15,638	
		3	-	44,12	
18/12/2018	00:44:13	4	+	26,24	
		1	+	14,052	
		2	-	14,854	
		3	+	14,736	
		4	-	9,618	
		5	+	10,41	

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
		6	-	11,44	
		7	+	13,37	
		8	-	11,952	
		9	+	8,818	
		10	+	10,41	
		11	-	9,164	
		12	+	12,46	
		13	+	16,784	
		1	-	20,2	
		2	+	12,206	
		3	-	16,2	
		4	+	14,544	
		5	-	17,584	
18/12/2018	00:42:58	1	-	20,2	
		2	+	12,206	
		3	-	16,2	
		4	+	14,544	
		5	-	17,584	
18/12/2018	00:41:40	1	+	52,54	
		2	-	84,68	
		3	+	87,06	
		4	+	44,02	
18/12/2018	00:40:23	1	+	32,64	
		2	-	51,1	
18/12/2018	00:34:52	1	-	24,12	
		2	+	26,48	
18/12/2018	00:33:30	1	-	51,56	
		2	+	71,44	
		3	-	83,74	
		4	+	45,68	
18/12/2018	00:26:28	1	+	25,54	
		2	-	32,28	
		3	+	19,76	
		4	+	29,4	
		5	+	12,048	

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
17/12/2018	22:23:09	6	-	11,944	
		7	+	16,868	
		8	-	66,8	
		1	-	36,42	
14/12/2018	6:08:27	1	+	12,296	R
		2	+	7,562	
		3	+	4,276	
29/11/2018	19:11:52	1	-	14,054	R
		2	+	57,72	
		3	+	29,06	
28/11/2018	23:06:42	1	-	12,296	R
28/11/2018	22:40:52	1	+	12,352	
		2	+	11,796	
		3	+	5,686	
27/11/2018	09:38:35	1	-	16,08	
27/11/2018	09:33:43	1	+	17,028	
27/11/2018	09:30:14	1	+	15,132	
23/11/2018	09:35:23	1	-	12,77	IC
23/11/2018	09:30:50	1	-	11,738	
23/11/2018	09:25:24	1	-	22,24	IL
23/11/2018	09:19:23	1	-	11,824	
23/11/2018	09:17:10	1	-	21,76	
23/11/2018	09:15:08	1	-	31,8	
		2	-	42,46	
		3	-	25,8	
		4	-	41,18	
23/11/2018	07:13:25	1	-	13,718	
23/11/2018	07:11:45	1	+	13,692	
23/11/2018	07:07:45	1	+	34,22	
		2	+	15,904	

Fecha	Hora UTC	Picos	Polaridad	Corriente [ka]	Tipo
23/11/2018	07:05:12	3	+	14,94	IL
		4	+	51,38	
		5	+	26,32	
		6	+	33,34	
		1	+	12,048	
23/11/2018	07:03:20	2	-	13,976	
		1	-	40,96	
		2	-	39,34	
		3	-	21,4	
		4	+	15,67	
23/11/2018	07:01:22	5	-	18,01	
		1	-	17,832	
		2	-	32,28	
		3	-	24,58	
		4	-	13,96	
23/11/2018	06:59:15	1	-	14,94	IL
		2	-	8,192	
		3	-	12,048	
23/11/2018	06:57:25	1	-	17,028	
22/11/2018	07:55:17	1	+	15,132	
		2	+	8,482	
22/11/2018	07:48:28	1	+	15,606	
22/11/2018	07:17:40	1	+	13,726	
		2	-	14,88	
22/11/2018	00:35:27	1	-	15,938	R
		2	-	10,312	
		3	+	6,58	
21/11/2018	17:03:21	1	-	11,36	
21/11/2018	16:58:11	1	+	12,77	

Apéndice B. Autorización de KERAUNOS S.A.S para el uso de la información de la red LINET.



KER-017/2018

Bogotá, 24 de agosto de 2018

Señores

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS

Mediante la presente comunicación autorizamos el uso de la información histórica de la actividad de rayos suministrada por Keraunos S.A.S., la cual es generada por la Red Colombiana de Detección Total de Rayos –CTLDN sobre el territorio colombiano, al profesor EDISON ANDRÉS SOTO RÍOS, adscrito a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, con fines únicamente de investigación para los diferentes trabajos de pregrado, maestría o doctorado y proyectos que se desarrollen en la Universidad.

Los términos de uso de la información se especifican en el documento anexo.

Agradecemos la oportunidad de trabajar activamente en este tipo de proyectos de alto reconocimiento nacional e internacional y que cuentan con un aporte de conocimiento muy importante para diversos sectores económicos del país.

Cordialmente,



DANIEL ARANGUREN
Gerente

ANEXO: Condiciones de uso de información de rayos para propósitos de investigación



CONDICIONES DE USO DE INFORMACIÓN DE RAYOS PARA PROPÓSITOS DE INVESTIGACIÓN

RED COLOMBIANA DE DETECCIÓN TOTAL DE RAYOS – CTLDN

La Red Colombiana de Detección y Localización Total de Rayos – CTLDN fue implementada en Colombia para dar soporte a investigaciones enfocadas en ampliar el conocimiento del fenómeno del rayo y a desarrollar nuevos usos prácticos de la información.

Con el propósito de garantizar el uso apropiado de los datos de rayos suministrados por la red CTLDN en Colombia, se deben acatar las siguientes condiciones para las solicitudes de información de uso exclusivo en trabajos de investigación científica.

Condiciones de uso:

1. El investigador debe presentar un *Abstract* en el que se describa el uso que se dará a la información de rayos, las herramientas de procesamiento a ser usadas y la aplicabilidad de los resultados.
2. Keraunos realizará una evaluación que estará sujeta a la pertinencia de los objetivos y a la claridad con que el investigador presente la metodología a ser usada para el procesamiento de la información. Adicionalmente, Keraunos puede proporcionar asesoría al investigador en relación al uso de herramientas y la interpretación de la información.
3. Los datos suministrados pueden ser usados para realizar comparaciones con otros sistemas de localización de rayos, siempre y cuando Keraunos haya dado previa autorización escrita. De igual forma los datos no pueden ser modificados, manipulados, procesados o distribuidos para terceras partes, bajo ninguna situación.
4. Previo al envío de cualquier publicación en la que se use información de rayos suministrada por la red CTLDN en Colombia, se debe dar a conocer a Keraunos el material a ser publicado con el ánimo de verificar el uso adecuado de los datos y su correcta interpretación. De igual forma, toda publicación debe dar los créditos correspondientes a la Red Colombiana de Detección y Localización Total de Rayos – CTLDN como la fuente de la información.

He leído y acepto los términos y condiciones estipuladas para el uso de la información de la red CTLDN en Colombia para fines científicos.

Fecha:

Investigador

Tutor (si aplica)

Firma: _____
 Nombre: _____
 Documento de identidad: _____
 Organización: _____
 Correo electrónico: _____
 Dirección: _____
 Teléfono: _____

Firma: _____
 Nombre: _____
 Documento de identidad: _____
 Organización: _____
 Correo electrónico: _____
 Dirección: _____
 Teléfono: _____

Keraunos S.A.S
 Calle 57B No. 37A- 15
 Nicolás de Federman
 Bogotá, Distrito Capital
 Colombia

Tel +571.7557493
 info@keraunos.co
 www.keraunos.co

Página 1 de 1