

Contribución para la Implementación de una Red de Detección de Rayos en Ecuador

Verdugo, Karla¹; Aires, Luis¹; Merchán, Hernando²

¹Instituto Politécnico de Leiria, Escuela Superior de Tecnología y Gestión, Leiria, Portugal

²Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Cuenca, Ecuador

Resumen: Debido a la falta de sistemas de información sobre la ocurrencia de descargas atmosféricas en el país, se presenta el punto de partida para una futura implementación de una red de detección de rayos en el Ecuador, mediante un análisis de los diferentes parámetros directos o indirectos que influyen en la generación de las descargas atmosféricas. Se ha tomado como referencia, los indicadores para la ocurrencia de rayos en Ecuador así como la demografía e zonas sensibles a proteger, con el fin de identificar los lugares adecuados para la colocación de los sensores y así detectar de manera eficiente el campo electrostático generado por una nube de tormenta. Para ello se utilizó información técnica de sensores existentes en el mercado para determinar los más idóneos al momento de estructurar la red. Finalmente se presenta dos propuestas de red (caso óptimo, menor costo) para luego hacer un análisis técnico-económico y presentar la mejor opción.

Palabras clave: Rayos, Campo eléctrico, Campo electromagnético, Sensor de rayos.

Contribución para la Implementación de una Red de Detección de Rayos en Ecuador

Abstract: Due to the lack of information systems on the occurrence of atmospheric discharges in the country, the starting point for a future implementation of a lightning detection network in Ecuador is presented, through an analysis of the different direct or indirect parameters that they influence the generation of atmospheric discharges. The indicators for the occurrence of lightning in Ecuador as well as the demography and sensitive areas to be protected have been taken as a reference, in order to identify the adequate places for the placement of the sensors and thus efficiently detect the electrostatic field generated by a storm cloud. To this end, technical information from existing sensors in the market was used to determine the most suitable when structuring the network. Finally, two network proposals are presented (optimal case, lower cost) to then make a technical-economic analysis and present the best option.

Keywords: Rays, Electric field, Electromagnetic field, Lightning sensor.

1. INTRODUCCIÓN

Las descargas atmosféricas también conocidas como rayos, siempre estuvieron presentes en la historia de la humanidad. Es por ello que una de las manifestaciones más llamativas de las tormentas son las descargas eléctricas, generadas ya sea entre nubes o de nube a tierra.

Benjamín Franklin marcó un hito en la historia de la humanidad, en el año de 1752 y como resultado de uno de sus experimentos llegó a la conclusión, de que los rayos son descargas eléctricas. Posteriormente afirmó que la colocación de una punta metálica (pararrayos) en la parte superior de cualquier estructura atraería a los rayos que luego serían conducidos a tierra y finalmente toda la estructura estaría protegida.

Ahora bien, en el país se tiene un nivel cerámico significativo como es el caso de la Amazonía con un valor de 120 y no cuenta con una red de detección de descargas atmosféricas. Entonces por seguridad y prevención es necesario una red que ayude de manera fidedigna con la detección anticipada de la formación de las tormentas, disponiendo de información fiable y en tiempo real sobre su cercanía pues de esta manera permite tomar medidas de carácter temporal que eviten riesgos y asegurar los servicios de prioridad.

Para este análisis se considera las descargas atmosféricas como un fenómeno natural de características físicas y eléctricas debido a la presencia de una diferencia de potencial de elevada magnitud en la atmósfera. Este fenómeno da origen a problemas en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución de energía, provoca cuantiosas pérdidas de

karla_verdugo17@hotmail.com

Recibido: 15/11/2017

Aceptado: 07/03/2018

Publicado: 30/04/2018

equipos eléctricos y electrónicos, destruye bienes materiales y es el causante de muertes de personas y animales.

En la actualidad se disponen de redes globales, una de ellas es la red denominada World Wide Lightning Location Network (WWLLN) en tiempo real, que permite disponer de información global sobre las descargas atmosféricas. Estas redes de detección consisten en antenas y sensores los cuales pueden ser de campo eléctrico o campo electrostático, los cuales se encuentran ubicados en tierra o en satélites que perciben la presencia de las descargas de manera instantánea.

Partiendo de estas referencias y sabiendo que las descargas atmosféricas son fenómenos de la naturaleza absolutamente imprevisibles y aleatorios, el interés de obtener información útil para la protección de diferentes campos de la actividad se vuelve urgente, con lo que se podría garantizar la seguridad de las personas al momento de una descarga.

El objetivo es aportar mediante, la difusión de información y avisos meteorológicos como mecanismos de acción preventiva antes de que ocurra una descarga. Para ello se propone el establecimiento de una red de detección de rayos en el Ecuador mediante la instalación de sensores en puntos geográficos estratégicos que permitan la medición del campo eléctrico ambiental desde la etapa inicial de la tormenta y la captura de la radiación electromagnética generada por descargas atmosféricas. Buscando así tener la máxima cobertura y permitir la detección anticipada de la presencia de una nube de tormenta electrificada.

Finalmente, se establecerá dos propuestas de una red de sensores distribuidos equilibradamente e interconectados con una red de transmisión de datos que permita enviar la información a los usuarios finales. Teniendo por base el equilibrio entre la eficiencia y el bajo costo. Se indicará su respectivo costo de implementación.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Localización

Ecuador, es un país latinoamericano ubicado al noroccidente de Sudamérica. Limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú. El océano Pacífico rodea la costa y al oeste se encuentran las Islas Galápagos que están ubicadas a aproximadamente 1 000 km de la Costa.

2.2 Geografía

La cordillera de los Andes divide el territorio de norte a sur, dejando a su límite occidental el golfo de Guayaquil (Costa) y una llanura boscosa al oriente (Amazonía). El país tiene un área de 283 561 km², con 16 776 977 habitantes según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (Censos, 1976).

2.3 Clima

Debido a la presencia de la cordillera de los Andes y por la influencia del mar (la Corriente del Niño, la corriente de Humboldt) (Cedeño & Donoso, 2010), el Ecuador es climatológicamente variado. El país cuenta dos estaciones

definidas: la húmeda y la seca, conocidas como invierno y verano respectivamente. A continuación, se detallan características generales en cada región:

- Amazonia: tiene un clima cálido, húmedo y lluvioso constante todo el año. La temperatura promedio varía entre los 23 y los 26 °C. Corresponde a los territorios ubicados por debajo de los 1 300 m.s.n.m. en las derivaciones orientales de los Andes, incluyendo todas las cordilleras y tierras bajas hacia el Este, constituye la parte occidental de la cuenca amazónica (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2005).
- Sierra: En los Andes las temperaturas varían desde los 0 °C hasta los 24 °C en dependencia de la altitud la cual varía desde los 500 msnm hasta sobrepasar los 5 000 msnm y la época del año. Presenta dos cadenas montañosas que corren paralelas de norte a sur y encierran concavidades intermedias, de aproximadamente 40 km de ancho, en las que se forman valles separados por cadenas transversales denominadas nudos.
- Costa: El clima es muy cálido con temperaturas que varían entre 25 y 31 °C durante todo el año. Es una región alargada, de entre 100 y 200 km de ancho, con una superficie relativamente plana. Se encuentra situada bajo los 1 300 m.s.n.m. en las derivaciones occidentales de los Andes y El Océano Pacífico, incluyendo las cordilleras costeras y las tierras bajas.
- Islas Galápagos: El clima está definido por las corrientes oceánicas. Por lo general, de junio a diciembre, la fría Corriente de Humboldt llega del sur que genera una niebla húmeda y fría conocida garúa cerca del océano, lo cual crea un clima frío y seco. Por lo general cuenta con una temperatura promedio de 22 a 25 °C y los meses lluviosos corresponden a febrero, marzo y abril (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2005).

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI) las brisas marinas que nacen del océano Pacífico y nubosidades provenientes del Brasil, han provocado las variaciones climáticas presentes en el país tales como: disminución de temperatura y lluvias intermitentes en la región Litoral. Mientras que en la Amazonía se producen las tormentas eléctricas (Secretaría de Gestión de Riesgos, s.d.). Es por ello que gran parte de la región Amazónica y parte de la provincia de Esmeraldas por tener un clima tropical húmedo tienen mayor probabilidad para la ocurrencia de las descargas atmosféricas. Por consiguiente, son los lugares más favorables para la colocación de los sensores

2.4 Precipitación y temperatura

La precipitación si bien es cierto es un indicador indirecto de la probabilidad de la ocurrencia de los rayos. En las gráficas 1 y 2 se presentan la precipitación mensual y anual respectivamente, datos proporcionados por el INAMHI de donde se puede concluir cuales son los lugares más tendenciosos según este parámetro para la ocurrencia de descargas atmosféricas.

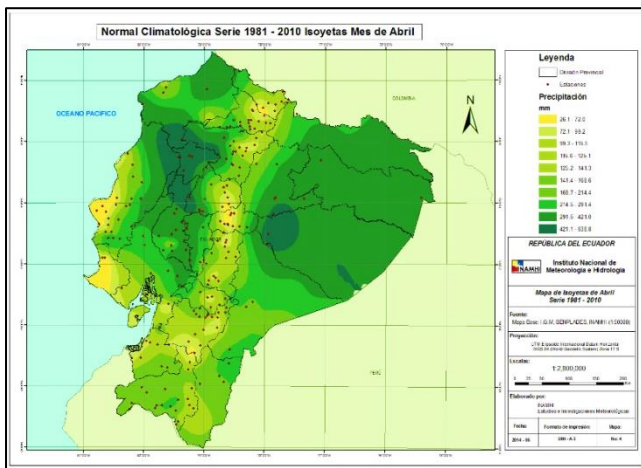


Figura 1. Mapa de Precipitación Mensual en el Ecuador.

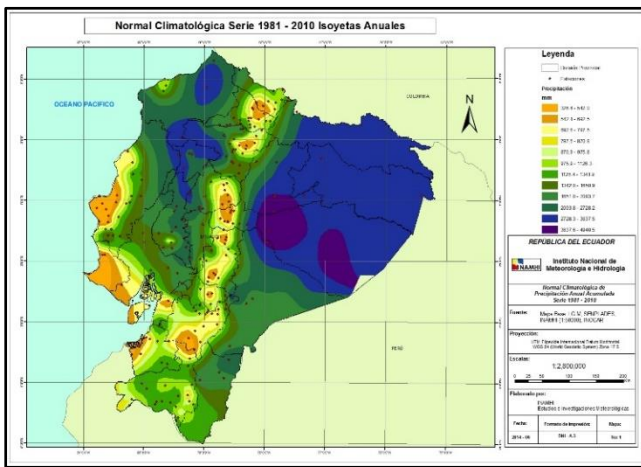


Figura 2. Mapa de Precipitación Anual en el Ecuador.

De los mapas anteriores resulta que, las zonas en donde se tiene una mayor precipitación según las escalas propuestas por el INAMHI, en el gráfico 3 es la Amazonia en su gran mayoría con el valor más alto de precipitación en la provincia de Pastaza. Análogamente, en la gráfica 4 en cuanto a la precipitación anual se tiene una cifra elevada en la parte central y norte de la región Amazónica, además de una parte de la provincia de Esmeraldas al norte del país.

3. INDICADORES DE LA OCURRENCIA DE RAYOS

Existen actualmente algunos indicadores (directos o indirectos) además de parámetros que muestran las zonas de Ecuador donde son registrados o potencialmente los mayores índices de ocurrencia de rayos, entre ellos están los siguientes:

- Datos de Lightning Imaging Sensor (LIS).
- Nivel Cerámico.
- Número de muertes a causa de los rayos.

3.1 Base de datos del satélite LIS (lightning imagine sensor)

En la Figura 3 se presenta un mapa en donde se muestra la información del satélite (LIS) que posee la NASA, en donde mediante una escala de colores se indica el número promedio anual de descargas por km².

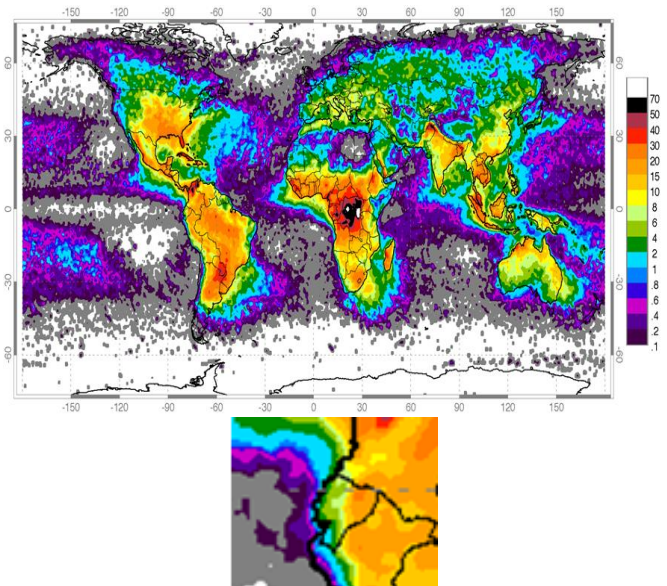


Figura 3. Descargas anuales por km² según el satélite LIS, periodo Abril 1995 - Febrero 2003

Según la escala de colores se puede constatar que en la región amazónica es en donde hay una mayor presencia de descargas, presentándose para esta zona aproximadamente entre 10 a 20 descargas anuales por km².

3.2 Nivel cerámico

El nivel cerámico se puede definir como el número promedio de días al año en los que se presenta una tormenta, es decir se escucha un trueno y cae al menos un rayo. Se suelen expresar por medio de mapas con curvas de nivel isocerámico como se muestra en la Figura 4.

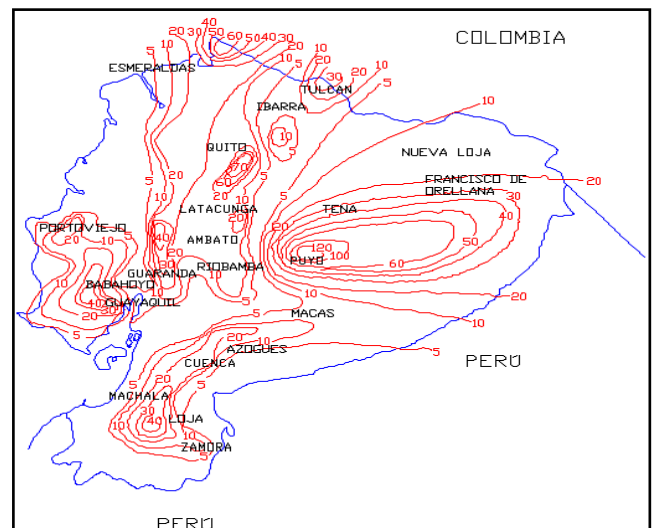


Figura 4. Nivel cerámico en Ecuador.

De acuerdo a la Figura 3, para el Ecuador la densidad de descargas a tierra es cerca de 20 tormentas con descargas anuales (National Weather Service, s.d.). Sin embargo, mediante la gráfica 4 se puede tener una idea más clara de los lugares en donde se tiene un mayor número de descargas.

la tormenta, así como características propias de su desplazamiento, intensidad, entre otras.

En la Tabla 1 se muestran sensores con sus aspectos más relevantes. De ahí que para el establecimiento de la red se debe considerar el sensor que presente las mejores características de todas las especificadas con el fin de presentar un caso óptimo. Al mismo tiempo se planteará una segunda red con el objetivo de tener dos opciones estratégicas. De forma general los componentes que estructuran la Red son:

- Sensor,
- Procesador Central,
- Archivero de Descargas,
- Pantallas,
- Servicios o usuarios finales.

Por lo general, la manera de ubicar los rayos es utilizando un sistema de localización o LLS (lightning Location System) el cual trabaja con un mínimo de 4 a 5 sensores y un procesador central. Este sistema una vez que una descarga es detectada por los sensores se utiliza dos procesos ya sea el Time of Arrival (TOA) o el Magnetic Direction Finding (MDF). TOA para la localización de la descarga utiliza un mínimo de 3 sensores en donde cada par de sensores determinan una hipérbola y la intersección de esas hipérbolas serán las que de una referencia de donde ocurrió la descarga, mientras que el método MDF triangula los resultados de los sensores mediante un procesador central y un algoritmo determina el ángulo con un error mínimo ubicando el origen de la descarga (Atallah, 2016).

Por lo tanto, para el establecimiento de la primera red se proponen los sensores: LS 7002 y BTM 300 de campo electromagnético y de campo eléctrico respectivamente.

Tabla 1. Costo de la primera propuesta de Red.

CARACTERÍSTICAS	EFM 550	ATSTORM v2	EFM 100	BTD - 300	LS 7001	LS 7002	TSS928
TIPO	VAISALA (Campo eléctrico atmosférico)	at3w (sensor electrométrico de campo controlado)	BOLTEK (campo eléctrico)	Biral UK (campo eléctrico)	VAISALA (campo electromagnético)	VAISALA (campo electromagnético)	VAISALA (campo electromagnético)
Radio de cobertura	5km	20 km	38 km	83 km	350 km	350 km	0 - 56 km
Eficiencia rayos CG	x	x	x	95%	> 90%	95%	> 90%
Eficiencia rayos CC		x		x	10 - 30%	50%	x
Calibración	manual	automática	manual	automática	manual y automática	automático y manual	
Peso	0,68 kg	9,10 kg	5,75 kg	25 kg	37,40 kg	37,40 kg	
Altura	61 cm	350mm+ mástil 2m	17 cm	2,46 m	2,20 m	2,20 m	1,57 m
Ancho	22,90 cm	26 cm	13 cm	68 cm	40 cm	40cm	30,50 cm
Componentes	tiene partes mecánicas	electrónicos		sin piezas móviles	sin piezas móviles	sin piezas móviles	
Funcionamiento	(-23 a +46 °C)	(-40 a 85 °C)	(-40 a 60 C / -40 a 140 F)	(-40 a 60 °C)	(-40 °C a +55 °C)	(-40 °C to +55 °C)	-50°C to +50°C (
Consumo de energía	2,3W	15W	4 W	10 W			100W máx.
Mantenimiento	mantenimiento mínimo	no es necesario un mantenimiento continuo	mantenimiento mínimo	mantenimiento mínimo	mantenimiento mínimo	mantenimiento mínimo	mantenimiento mínimo
Observaciones	Servicio de calibración de fábrica una vez cada tres años	táctil (4niveles de alarma de acuerdo a las necesidades del cliente) se puede conectar a una red informática	4 Altos niveles de alarma de campo	Posee un módulo opcional que permite detectar a distancia y la dirección de la caída del rayo.	Compatible con sus predecesores, los sensores Vaisala IMPACT	min 4 para la red 15 a 350km entre los sensores recomendada	El formato de datos admite la interfaz directa con los sistemas de comunicación comunes y autodiagnóstico para comprobar el estado de la función del sensor.

La segunda opción estaría compuesta por los sensores de campo eléctrico BTM 300.

En cuanto a la primera opción el sensor LS 7002 trabaja con una base de datos específica es decir constaría de un software y un procesador de datos concreto para su funcionamiento al

cual se le conectaría los datos del sensor BTM 300, el costo de implementación de esta red en dólares es el presentado en la Tabla 2.

Tabla 2. Costo de la primera propuesta de Red.

PRIMER CASO (USD)				
Ítem	Cant.	Dispositivo	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	4	Sensor LS7002	94.451,00	377.804,00
2	1	Procesador TLP-100	226.533,00	226.533,00
3	1	Software LTS2005	5.800,00	5.800,00
4	1	Registro de salida de datos en formato ASCII para otras aplicaciones de Software	2.175,00	2.175,00
5	1	Sistema de almacenamiento de imágenes	2.899,00	2.899,00
6	2	Sistema de notificación de alerta TWX300	3.683,00	7.366,00
7	2	Pantallas de 24" para el display del Sist. Alerta	920,00	1.840,00
8	4	Sensor BTM 300	11.600,00	46.400,00
9	4	Computadoras	700,00	2.800,00
TOTAL			673.617,00	

Para este caso los sensores de campo electromagnético por tener un mayor radio de cobertura estarían distribuidos en el país de tal forma que se cubra el mayor parte del territorio ecuatoriano, es decir estarían ubicados en las provincias (Pichincha, Guayas, Loja y Pastaza) mientras que los sensores de campo eléctrico estarían ubicados en las provincias (Azuay, Cotopaxi, Pastaza y Manabí) como se observa en la Figura 7.

**Figura 7.** Ubicación de los sensores primera propuesta.

Para la segunda opción el costo se reduce considerablemente (\approx \$575 000) por el hecho de que se utilizaría sólo sensores de campo eléctrico (BTM 300) ubicados en los puntos ya establecidos anteriormente.

Para este caso lo que se propone es que de ser favorable su implementación se considere el conectarse una red existente por ejemplo una red meteorológica para la transmisión de datos, su costo (dólares) de implementación se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Costo de la segunda propuesta de Red.

SEGUNDO CASO (USD)				
Item	Cantidad	Dispositivo	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	8	Sensor BTM 300	11.600,00	92.800,00
2	8	Computadoras	700,00	5.600,00
TOTAL			98.400,00	

Con estas dos propuestas se tiene un punto de partida para la implementación de una red de detección de rayos en el país, la cual sería de ayuda para los siguientes usuarios finales:

- Meteorología,
- Aviación,
- Minería,
- Sector Marítimo,
- Seguros,
- Incendios Forestales,
- Eventos Deportivos,
- Playas,
- Operaciones al Aire libre,
- Energía (Generación, Transmisión, Distribución).

Finalmente, la entidad dentro del país que gestionaría esta red sería la Secretaría Nacional de Riesgos la cual se encarga de garantizar la protección de personas y colectividades de los efectos negativos de desastres de origen natural o antrópico, mediante la generación de políticas, estrategias y normas que promuevan capacidades orientadas a identificar, analizar, prevenir y mitigar riesgos para enfrentar y manejar eventos de desastre; así como para recuperar y reconstruir las condiciones sociales, económicas y ambientales afectadas por eventuales emergencias o desastres (Secretaría de Gestión de Riesgos, s.d.).

5. CONCLUSIONES

Entre los fenómenos naturales que se producen cotidianamente está el rayo, el que según su intensidad puede ser más o menos peligroso. Existen medidas de prevención objetivo de este estudio que pueden evitar accidentes e incluso la muerte por exposición al mismo. Es por ello que para concluir este estudio a continuación se exponen las conclusiones obtenidas.

Debido a que el radio de cobertura de los sensores LS 7002 a utilizarse es hasta 350 km, disminuye el número necesario para la implementación de la red y por ende el costo de implementación.

Se debería considerar que una red híbrida (Primera Propuesta) permitiría obtener información relevante sobre el fenómeno de las descargas atmosféricas (localización, tiempo, amplitud, etc.). Además esta red cuenta con su propio software para el procesamiento de datos y utiliza dos métodos para la ubicación de la descarga (TOA y MDF), procesos que no todos los sensores poseen.

En cuanto a la segunda opción de red indicada en la sección 4.6, no debería ser desmerecida por el hecho de que su costo es relativamente menor comparado con la primera red o por el radio de cobertura que presentan. Hay que considerar que para una protección preventiva eficaz, es necesario detectar la

tormenta antes de que se produzca este incremento brusco del campo eléctrico en la zona a proteger. Consecuentemente estos sensores presentan un nivel de eficiencia alta además de ayudar a identificar una tormenta desde su etapa inicial.

Con las dos propuestas de red, lo que se pretendió es utilizar detectores de tormentas con tecnologías actuales que proporcionen información de la actividad eléctrica atmosférica fiable en tiempo real y monitorizada. Además que permitan tomar medidas de carácter temporal que eviten riesgos y aseguren los servicios más importantes.

Para la implementación de una red de detección de rayos se recomienda utilizar sensores con un rendimiento superior al 90% como se especifica en la norma internacional IEC 62793. Pues la localización de la actividad nube-tierra es importante para las acciones preventivas.

Pues dicha red al estar ubicada en la frontera disminuiría el número de sensores a utilizarse en el Ecuador ya que se podría compartir la información existente con el vecino país.

Finalmente, en cuanto a la ubicación de los sensores el objetivo principal fue buscar lugares estratégicos es decir, se consideró diferentes factores como: labores que se desarrollan en el área y el impacto económico que ocasionaría el efecto de las descargas atmosféricas. Más sin embargo los lugares establecidos son sólo puntos de partida para las personas que tengan interés en la futura implementación de este proyecto

REFERENCIAS

- Atallah, D. (2016). Vaisala. Recuperado el Enero de 2017, de <http://www.isem.org.pe/files-public/portal/reuseg/2016/06/pdf/dario.pdf>
- Cedeño, J., & Donoso, M. C. (2010). Atlas Pluviométrico del Ecuador. Guayaquil: UNESCO 2010.
- Censos, C. N. (7 de Mayo de 1976). Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Holzworth, R. (s.f.). World Wide Lightning Location Network (wwlln.net). Recuperado el Junio de 2017, de <http://wwlln.net/>
- Información estadística, U. A. (2011). Densidad poblacional por parroquias en el Ecuador. Ecuador.
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2005). Derrotero de la Costa Continental e Insular del Ecuador. Guayaquil.
- Magina, F. (2016). Sistema de alerta de ocorrência de raios utilizando rede de sensores de campo elétrico atmosférico. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Especiales - INPE, 2016.
- NASA MSFC an the University of Alabama in Huntsville. (s.f.). Global Hydrology Resource Center. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de <https://lightning.nsstc.nasa.gov/otd/>
- National Weather Service. (s.f.). Recuperado el Septiembre de 2017, de http://forecast.weather.gov/jetstream/lightning/hirez_72dpi.htm
- Schoonmaker, S. K. (s.f.). European Cooperation for Lightning Detection . Recuperado el Junio de 2017, de <http://www.euclid.org/>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (s.f.). Recuperado el 04 de 2017, de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/objetivos/>
- Secretaría de Gestion de Riesgos. (s.f.). Instituto de Meteorología e Hidrografía (INAMHI). Recuperado el Enero de 2017, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>



Karla Isabel Verdugo González (1990), Ingeniera Eléctrica por la Universidad de Cuenca, Máster en Ingeniería de Energía y de Ambiente en el Instituto Politécnico de Leiria, Portugal. Tiene desarrollado estudios acerca de la Incidencia del Programa Cocción Eficiente en la Demanda Máxima Unitaria para el cantón la Troncal. Actualmente se encuentra

laborando en la Empresa ARTELIA como parte de apoyo en el Área de Fiscalización del proyecto Tranvía de los Cuatro Ríos de Cuenca.



Luis Miguel Igreja Aires, Licenciado en Ingeniería de Ambiente por la Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro, Doctorado en (PhD) en Ciencias Aplicadas al Ambiente en la Universidad de Aveiro, Portugal. Desde el 2008 es profesor adjunto en

el Departamento de Ingeniería de Ambiente de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria, Portugal. Tiene desarrollado investigaciones en el área de Micrometeorología, Alteraciones Climáticas y Contaminación del Aire.



Hernando Merchán Manzano (1956), ingeniero eléctrico (EPN); MSc. por la Politécnica de Mons-Bélgica; MBA por el IDE-UTE. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca desde 1982 y decano (2001-2005). Profesor invitado de la Universidad de Artois, Francia; Director Académico del Consejo

Nacional de Educación Superior y Director de Formación y Difusión del INER. Ha realizado investigaciones en técnicas de las altas tensiones, sistemas de puesta a tierra, protección contra las descargas atmosféricas y energías renovables. En los últimos años ha trabajado en estudios sobre escritura académica y científica para las carreras de ingeniería.