



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

DISPOSITIVO CONTADOR DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

AUTOR:

DARIO XAVIER GARCÍA CASTILLO

TUTOR:

Ing. RENE ERNESTO CORTIJO LEYVA, Mg.

QUITO, ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que los contenidos de este Trabajo de Titulación requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D.M. Agosto del 2018

.....

Darío Xavier García Castillo

C.I.: 1714883145

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del componente práctico certifico:

Que el trabajo de titulación “**DISPOSITIVO CONTADOR DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**”, presentado por el sr. Darío Xavier García Castillo, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Agosto del 2018

TUTOR

Ing. Rene Ernesto Cortijo Leyva, Mg.

AGRADECIMIENTO

El más profundo agradecimiento al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, área de Instrumentación, por la colaboración y aporte de sus conocimientos y experiencias adquiridas en el trabajo para la realización del proyecto.

A la Universidad Tecnológica Israel, por la culminación profesional académica y a los distintos profesores de la carrera que aportaron con nuevos conocimientos para la realización de este proyecto.

Darío Xavier García Castillo

DEDICATORIA

A mi madre por la realización de un objetivo más planteado a lo largo de mi vida, ya que con su apoyo incondicional he podido superar los obstáculos.

A mi hijo Lucas Xavier García, que ha sido una gran motivación para continuar con mis estudios y metas de superación académica.

Darío Xavier García Castillo

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes de la situación objeto de estudio.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación	2
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Alcance	4
Descripción de los capítulos	5
CAPÍTULO I.....	7
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
1.1 Generalidades de una descarga atmosférica.....	7
1.1.1 Impactos de una descarga atmosférica	8
1.1.2 Tipo de descargas atmosféricas	9
1.1.3 Características de una descarga atmosférica según IEC-62305.....	10

1.2 Impactos de descargas atmosféricas	11
1.2.1 Descarga externa directa.....	12
1.2.2 Descarga interna directa	12
1.2.3 Efectos de una descarga atmosférica.....	13
1.3 Norma IEC 62305-2	13
1.3.1 Fuente de daños:.....	14
1.3.2 Tipos de daños:	14
1.3.3 Evaluación del Riesgo y Componentes del Riesgo.....	15
1.3.4 Componentes del Riesgo cuando la descarga es en la estructura	16
1.3.5 Componentes del Riesgo cuando la descarga es cerca de la estructura	16
1.3.6 Componentes del riesgo cuando la descarga es en un servicio de la estructura. .	16
1.3.7 Componentes del riesgo cuando la descarga es cerca de un servicio de la estructura	17
1.3.8 Componentes del riesgo para un servicio cuando la descarga es en el servicio ..	17
1.3.9 Componentes del riesgo para un servicio cuando la descarga es cerca del servicio	17
1.3.10 Componente del riesgo para un servicio por descargas a la estructura en la que está conectado el servicio	18
1.4 Norma IEC-62305-3	20
1.4.1 Objetivos de un sistema de protección contra descargas atmosféricas	20
1.4.2 Sistemas de protección contra descargas atmosféricas	21
1.4.3 Características de un sistema de protección contra descargas atmosféricas	21
1.4.4 Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas	22
1.4.5 Aplicación de un SPCR externo	22
1.4.6 Elección de un SPCR externo	22
1.4.7 Dispositivos de captura contra descargas laterales	23

1.4.8 Conductores de bajada.....	24
1.5 Sistema de protección interna contra el rayo	24
1.5.1 Anexo A dentro de la Norma IEC 62305-3.....	24
1.6 Teoría de campo electromagnético.....	26
1.6.1 Ecuaciones de Maxwell.....	27
CAPÍTULO II.....	31
2 MARCO METODOLÓGICO	31
2.1. Enfoque metodológico de la investigación.....	31
2.2 Población	31
2.3 Métodos empíricos y técnicas empleadas	31
2.4 Formas de procesamiento de la información.....	32
2.5 Metodología seleccionada	32
2.6 Variables.....	32
2.7 Resumen sinóptico de la metodología utilizada	32
CAPÍTULO III	34
3.PROPUESTA.....	34
3.1 Módulo Raspberry PI3.....	35
3.1.1 Cálculo de la autonomía del dispositivo conectado a una fuente alterna	35
3.2 Captador del campo electromagnético producido por la descarga.....	37
3.2.1 Diseño del circuito eléctrico y electrónico	37
3.2.2 Programas desarrollados por el autor para contar y almacenar las descargas atmosféricas.....	38
3.3 Aplicación SSH	38
3.3.1 Acceso remoto	38
3.4 Radioenlace microonda.....	38
3.4.1 Coordenadas GPS escogidas.....	38

3.4.2 Simulación del radio enlace en frecuencia de (902 – 928) Mhz.....	40
3.4.3 Cálculos de la simulación del radioenlace.....	42
3.4.4 Características de los radios.....	43
3.5 Tipo de antena y construcción.....	43
3.5.1 Frecuencia de transmisión	46
CAPÍTULO IV	48
4. IMPLEMENTACIÓN	48
4.1. Desarrollo del contador de descargas atmosféricas	48
4.2 Implementación e integración de las etapas.....	49
4.2.1 Etapa de detección.....	49
4.2.2 Etapa de procesamiento de información y almacenamiento	50
4.2.3 Etapa de transmisión	51
4.3 Pruebas de funcionamiento a partir del generador de Vander Graff	52
4.4 Análisis de los resultados obtenidos	54
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXOS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de norma IEC-62305	8
Figura 1. 2 Impactos de una descarga atmosférica de forma ascendente y descendente	9
Figura 1. 3 Curva de la corriente del rayo en función del tiempo. Impacto de larga duración	10
Figura 1. 4 Clasificación de impactos de una descarga atmosférica	12
Figura 1.5 Valores del ángulo de protección.....	23
Figura 1. 6 Parámetros que intervienen para el cálculo de la superficie de protección	25
Figura 1.7 Ejemplo del área de protección de dos captadores de descargas atmosféricas...25	
Figura 1. 8 Campo eléctrico perpendicular al campo magnético	26
Figura 1. 9 Interacción de líneas de campo magnético entre dos cargas	27
Figura 3.1 Tarjeta Raspberry PI 3 con sus principales componentes	35
Figura 3.2 Esquema de conexión de energía alterna.....	36
Figura 3.3 Circuito electrónico captador en simulación	37
Figura 3.4 Circuito esquemático de visualización y procesamiento.....	37
Figura 3.5 Ubicación geográfica entre los puntos escogidos	39
Figura 3.6 Perfil del enlace anterior.....	40
Figura 3.7 Simulación del enlace microonda radio mobile.....	40
Figura 3.8 Parámetros de transmisión y recepción del enlace Alamor – Villonaco, simulación	41
Figura 3.9 Radio transmisor - receptor 916 - 928 Mhz.....	43
Figura 3.10 Características de antena Yagi en simulación diseño del autor	43
Figura 3.11 Antena Yagi frecuencia de operación 916 - 928 Mhz.....	44
Figura 4.1 Circuito detector en simulación	49
Figura 4.2 Conexiones de módulo Raspberry con LCD	50

Figura 4.3 Tarjeta electrónica acopladora	51
Figura 4.4 Esquema de conexión en transmisión	52
Figura 4.5 Elementos Generador de Vander Graff	53
Figura 4.6 Corriente y campo eléctrico medido en el generador de	54
Vander Graff.....	54
Figura 4.7 Ensayos experimentales campo eléctrico	56
Figura 4.8 Ensayos experimentales corriente medida.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros de la corriente para cualquier nivel de protección según su impacto.	11
Tabla 1.2 Efectos del Rayo en estructuras Típicas.	13
Tabla 1.3 Efectos del Rayo sobre los Servicios.....	13
Tabla 1.4 Muestra la fuente de daño, tipo de pérdida en función del impacto.....	15
Tabla 1.5 Componentes del riesgo a considerar por cada tipo de estructura.	19
Tabla 1.6 Valores típicos del riesgo tolerable.	19
Tabla 1.7 Nivel de protección contra el rayo (NPR) y la clase del SPCR	21
Tabla 1.8 Distancias de puntos de fijación para superficies horizontales y verticales y verticales.....	26
Tabla 1.9 Ecuaciones de Maxwell en forma diferencial e integral.....	28
Tabla 2.1 Cuadro sinóptico del marco metodológico utilizado.....	33
Tabla 3.1. Coordenadas de cada lugar para la simulación	39
Tabla 3.2 Parámetros del enlace entre A y B	41
Tabla 3.2 Relación de número de directores y ganancia en la antena	45
Tabla 4.1 Resultados obtenidos de los experimentos con el generador de Vander Graff....	55

RESUMEN

El "Contador de Descargas Atmosféricas", es actualmente un dispositivo que ya está en el mercado, el enfoque de este diseño tiene diferentes ventajas, como el monitoreo remoto a través de un enlace en RF (radiofrecuencia) a través de la interfaz Ethernet, también presenta un registro de eventos dentro de su sistema operativo, creando un archivo plano del número de descargas con información de fecha y hora, a un costo mucho más accesible y que podría implementarse en cualquier Sistema de protección contra descargas atmosféricas, también vale la pena mencionar que el dispositivo ha sido diseñado bajo software libre en las cuales se pueden hacer mejoras y adaptaciones según el caso.

Este es un dispositivo, que se puede actualizar, y se puede mejorar o adaptar constantemente a su realidad, además, el "Contador de Descargas Atmosféricas", se puede instalar en cualquier infraestructura que cuente con protecciones contra descargas atmosféricas, ubicándolo cerca al conducto de bajada del pararrayo, de cualquier edificio o torre de comunicaciones.

PALABRAS CLAVES: Descargas atmosféricas, protecciones eléctricas, norma IEC 62305, torres de comunicaciones.

ABSTRACT

The "Atmospheric Discharge Counter", is currently a device that is already in the market, the approach of this design has different advantages, which exists, such as monitoring remote through a link in RF (radio frequency) through the ethernet interface, also presents a record of events within its operating system creating a flat file of the number of downloads with date and time information, for a cost much more accessible and that could be implemented in any system of protection against atmospheric discharges, it is also worth mentioning that when designed under free software, improvements and adaptations can be made depending on the case.

This device to be upgradable, can be constantly improved or adapted to your reality, in addition the "Atmospheric Discharge Counter", could be installed in any installation of protection against atmospheric discharges, the same will be done to be implemented in the conductor downpipe del pararrayo, of any building or communications tower.

Keywords: Atmospheric discharge, electrical protections, standard IEC 62305, communications towers.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la situación objeto de estudio

A lo largo del país los enlaces y transmisiones de datos y/o voz, se han incrementado considerablemente, partiendo del hecho que la tecnología ha evolucionado notoriamente, de tal modo que las redes de comunicación de datos y voz a nivel nacional utilizan diferentes tecnologías de transmisión: microondas, radioenlaces, fibra óptica y satelitales.

Sin embargo, con el crecimiento de nuevos establecimientos poblacionales cada vez existen mayor número de nodos y repetidoras, las cuales brindan un servicio específico, y que además su importancia aumenta a medida que se concentran varios enlaces, y por lo tanto requieren mayor atención para evitar cualquier tipo de malfuncionamiento y poder garantizar la correcta transmisión de la información hacia un centro de datos.

Entre las principales vulnerabilidades que presentan estos nodos o repetidoras, se puede mencionar como una de las más importantes a las descargas atmosféricas, por lo que, para mejorar y garantizar la transmisión de la información, es necesario que estos nodos se encuentren con algún nivel de protección ante las descargas atmosféricas y de esta manera obtener mayor confiabilidad en los enlaces y el envío de información, además para ello es necesario conocer la cantidad de descargas atmosféricas en determinado sector y el estado de salud de los sistemas de protección ante descargas atmosféricas.

Para el desarrollo del proyecto se han tomado en cuenta varias investigaciones, la gran mayoría realizadas por el mismo autor anteriormente, así como también los conceptos de las normas (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010), las investigaciones realizadas por autores anteriores como: (Romero, 1981), (Albarracín, 2016) (Albarracín, 2016), entre otros, así como también algunas casas comerciales locales como: Cirprotec, Ingesco, etc, de las cuales en sus diseños no conllevan un acceso remoto para monitorizar la cantidad de descargas que impactan las estructuras, generando una desventaja hoy en día que todos los equipos están conectados entre sí.

El acceso remoto ha sido posible utilizando equipos que contengan protocolos de comunicación alámbricos o inalámbricos, además de lenguajes de programación para realizar programas y rutinas, que realicen el proceso de manera automática.

Los diferentes dispositivos que se han creado y se venden en su mayoría son dispositivos electromecánicos no configurables, la principal ventaja es que este dispositivo se compone de varios módulos, para optimizar el funcionamiento, y en el caso de avería o daño, únicamente se deberá cambiar el modulo, mas no todo el prototipo, mejorando su desempeño y optimizando recursos.

Planteamiento del problema

El uso de torres metálicas en cerros y lugares altos para telecomunicaciones en las repetidoras y nodos aumenta la probabilidad de incidencia de descargas atmosféricas por unidad de área en estos sectores. Tomando en cuenta esto, y que algunas de las repetidoras y nodos en la etapa de enlaces, no poseen sistemas de protección o son muy deficientes, tanto los equipos como la infraestructura se degradan y, finalmente, se queman.

La razón de esta degradación es la tensión por contacto indirecto que se origina en una estructura metálica cuando un conductor energizado y sin aislamiento establece contacto con la misma, energizándola.

Al no poseer un sistema de descarga atmosféricas y puesta a tierra en estos nodos de alta concentración o poseer de manera ineficiente, los enlaces microondas y de radio frecuencia en RF pueden degradarse o hasta desaparecer, siendo un gran inconveniente para la transmisión de los datos o voz en los enlaces, generando inclusive pérdidas económicas.

De tal manera que es trascendental contar con un dispositivo que permita identificar la cantidad de impactos de descargas atmosféricas que inciden en las torres o edificaciones que poseen puestas a tierra y sus alrededores, para de este modo conocer la mayor incidencia de descargas atmosféricas por unidad de área, generando datos específicos de cada zona, y además se puede conocer también la vida útil y la eficacia del sistema de puesta a tierra que ha sido implementado.

Justificación

Para poder garantizar un buen servicio y mejorar el mismo en parámetros de disponibilidad las transmisiones de datos o voz en alguna repetidora o nodo se debe realizar el diseño y la construcción de un dispositivo que permita contar la cantidad de ocasiones que

una torre es impactada con descargas atmosféricas o sus alrededores, para que de este modo se genere un dato adicional sobre la factibilidad de construcción de una torre en una área específica, y el desempeño de las medidas de protección implementadas como seguridad de puesta a tierra en dicha torre.

Cabe mencionar que a partir de la instalación se puede también realizar un estudio de nivel cerámico para cada sector en el país y de esta manera aportar tecnológicamente, con un mayor conocimiento científico, económico, entre otros, ya que con el dato que el dispositivo genera, se pueden clasificar o reclasificar mediante zonas con mayor o menor nivel de protección según sea el caso, beneficiando a las empresas de telecomunicaciones sobre decidir específicamente el lugar donde construir las torres.

Además de también beneficiar a las personas de diferentes áreas, generando un aporte social a la población, de cada región sobre qué sitio es mayormente seguro ante las descargas atmosféricas, una vez que se conoce que una descarga atmosférica se propaga siempre a través del suelo y cuando no existen sistemas de puesta a tierra adecuados la corriente que circula en el suelo podría terminar haciendo contacto directamente con el ser humano lo cual provocaría la pérdida de la vida humana.

Otro aporte de la implementación del proyecto se enmarca en el ámbito económico, para la industria ya que el dispositivo puede ser implementado en estructuras ya edificadas que cuenten con sistemas de puesta a tierra o no, ya que por su monitorización remota y sensibilidad, facilita el no trasladarse hasta el lugar, lo cual conlleva a que se requiera menor mantenimiento, ahorrando la cantidad de visitas técnicas en cada estación, generando beneficios económicos al mantenimiento de las redes de telecomunicaciones, principalmente por la ubicación de las torres de transmisión las cuales se encuentran en lugares altos para mejorar su cobertura.

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un dispositivo contador de descargas atmosféricas.

Objetivos Específicos

- Definir las condiciones de operación del dispositivo.

- Diseñar el dispositivo captador de descargas atmosféricas y convertidor de pulsos digitales.
- Implementar un sistema electrónico de conteo de descargas atmosféricas mediante Raspberry Pi 3.
- Programación de una base de datos que contenga los datos de conteo en la Raspberry Pi 3.
- Transmitir la información del registro de conteo de descargas atmosféricas remotamente a través de un enlace de radio frecuencia microondas.
- Configurar la aplicación de visualización remota mediante el software VNC viewer.
- Realizar pruebas de calibración y funcionamiento utilizando un generador de Vander Graff.

Alcance

El “Contador de Descargas Atmosféricas”, actualmente es un dispositivo que ya se encuentra en el mercado, el enfoque de este diseño presenta distintas ventajas, al que ya existe, como es la monitorización remota a través de un enlace en RF (radio frecuencia) a través de la interfaz ethernet utilizando el protocolo TCP, además presenta un registro de eventos dentro de su sistema de funcionamiento creando un archivo plano del número de descargas con información de fecha y hora.

La capacidad del dispositivo se delimita al saber el número de veces que ha sido impactada una estructura, específicamente pensado en los enlaces de telecomunicaciones los cuales contienen torres de comunicación y estas se encuentran en lugares donde la incidencia de descargas atmosféricas avería a los equipos y perjudica a los enlaces, cabe mencionar también que al ser diseñado bajo software libre se puede realizar mejoras y adaptaciones según sea el caso y en cualquier lenguaje de programación.

Este dispositivo cuenta con la ventaja de operar a través de módulos los cuales son actualizables tanto en hardware como en software, además de poder ser mejorado constantemente o adaptado a las circunstancias según cada caso.

Otra ventaja es que el “Contador de Descargas Atmosféricas”, puede ser instalado en cualquier estructura de protección contra descargas atmosféricas, ya sea tomado en cuenta desde un inicio o en estructuras que ya existen.

Con los datos obtenidos se puede conocer el estado de salud del sistema de puesta a tierra en cuanto a la cantidad de descargas que impactaron a la estructura, con los datos obtenidos se puede también realizar un mapa de nivel cerámico por sector.

El dispositivo está diseñado para soportar niveles de protección de hasta de 100 kilo amperios de corriente y hasta 30 kilo voltios, siendo el máximo nivel de protección según la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010), y se debe a que el dispositivo no se encuentra conectado directamente a los conductores de puesta a tierra, si no que el modulo detector del dispositivo es capaz de detectar la variación del campo electromagnético hasta en una área de 200 metros cuadraos cuando se produce una descarga atmosférica sea esta grande o pequeña.

Descripción de los capítulos

Capítulo I

En este capítulo se abordan los conceptos generales, de cómo se forman las descargas atmosféricas, de qué tipo existen, los elementos que la componen, así como también los impactos y parámetros importantes que contiene una descarga atmosférica, así como también los fundamentos teóricos de protección que recomienda la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010) utilizada actualmente para la protección contra descargas atmosféricas, también es necesario establecer las leyes físicas que describen este fenómeno natural.

Capítulo II

En este capítulo, se explica mediante un cuadro sinóptico las metodologías utilizadas para cada etapa de investigación del proyecto, las variables utilizadas y cuáles son los aportes económicos, científicos sociales, etc, que el proyecto puede generar.

Capítulo III

En este capítulo se realiza la propuesta técnica, mediante la explicación general de los elementos que se utilizan con un enfoque práctico y tecnológico para solventar las necesidades actuales de los sistemas de protección contra descargas atmosféricas, se exponen también conceptos de captadores de descargas atmosféricas y como guiar las mismas hacia un circuito electrónico que sea capaz de convertir esta señal a una señal digital a través del campo electromagnético generado por la misma, se explicarán además las principales características del módulo Raspberry PI3, el cual representa la parte central para

interpretar y procesar estos pulsos, contarlos y almacenarlos a través de programas realizados por el autor.

Capítulo IV

En este capítulo se realiza la implementación y diseño de cada módulo, para posteriormente analizar el funcionamiento remoto de este sistema, que es la principal característica y propuesta del proyecto, mediante la simulación de un enlace microonda, y aplicaciones gratuitas para acceder al módulo remotamente a través de su interfaz ethernet, también se realizan pruebas de funcionamiento utilizando una metodología experimental con un dispositivo mecánico que sirve para generar campos electromagnéticos y descargas atmosféricas de una manera controlada llamado “Generador de Van der Graff”.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Generalidades de una descarga atmosférica

Una descarga atmosférica es el proceso de igualdad instantáneo de cargas positivas y negativas que existen en un campo eléctrico y electromagnético, estas equiparaciones de cargas se forman entre nubes o entre la tierra y las nubes o viceversa, como indica (Aguilar, 2016).

Generalmente los iones positivos se encuentran en la parte alta de la nube, y a su vez los iones negativos se encuentran en la parte baja de la nube, por lo que existe una diferencia de potencial dentro de la misma nube, que puede llegar a superar los 100 millones de watts y generan corrientes eléctricas de gran magnitud.

Se puede definir al rayo como una descarga eléctrica que normalmente se produce entre nubes de lluvia o entre una de estas nubes y la tierra, debido a que la superficie de la tierra se encuentra, por inducción, cargada positivamente. Dicha descarga eléctrica es visible, con trayectorias irregulares, como indica (Albarracín, 2016).

El estándar (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010), (International Electrotechnical Commission) es utilizado a nivel mundial y se basa en cuatro subdivisiones de normas para el diseño de protecciones contra descargas atmosféricas, las cuales son:

- IEC 62305-1(Generalidades de una descarga atmosférica)
- IEC 62305-2(Componentes de riesgos y pérdidas a través de una descarga atmosférica)
- IEC 62305-3(Protección interna y externa ante una descarga atmosférica)
- IEC 62305-4(Protecciones de una estructura ante una descarga atmosférica)

Para el diseño de un sistema de protección ante una descarga atmosférica se deben tomar en cuenta las normas anteriores, las cuales serán expuestas únicamente las que se apliquen a una torre de comunicación como estructura.

Existen variaciones considerables en la forma de cómo proteger una torre. Una manera es colocar una punta pararrayos en la cima de la torre y de ahí un conductor de cobre por toda la longitud de la torre. Sin embargo, por estar el cobre y el acero en contacto, se corroe el acero - 0.38 Volts de la celda galvánica y la inductancia del cable tan largo crea una trayectoria de tan alta impedancia que no es efectivo como circuito a tierra. Por lo que se recomienda usar la estructura con una punta electrodo en su parte superior con conectores adecuados para su conexión al acero estructural.

Y, como conexión a tierra, electrodos de tierra horizontales, el anillo de tierra utilizado por la puesta a tierra de los equipos electrónicos.

En la primera sección o parte de la norma se toma en cuenta los efectos del rayo y sus descripciones generales ante un posible riesgo, para de esta manera simular las posibles causas del impacto de una descarga atmosférica, como indica (Herrera, 2008)

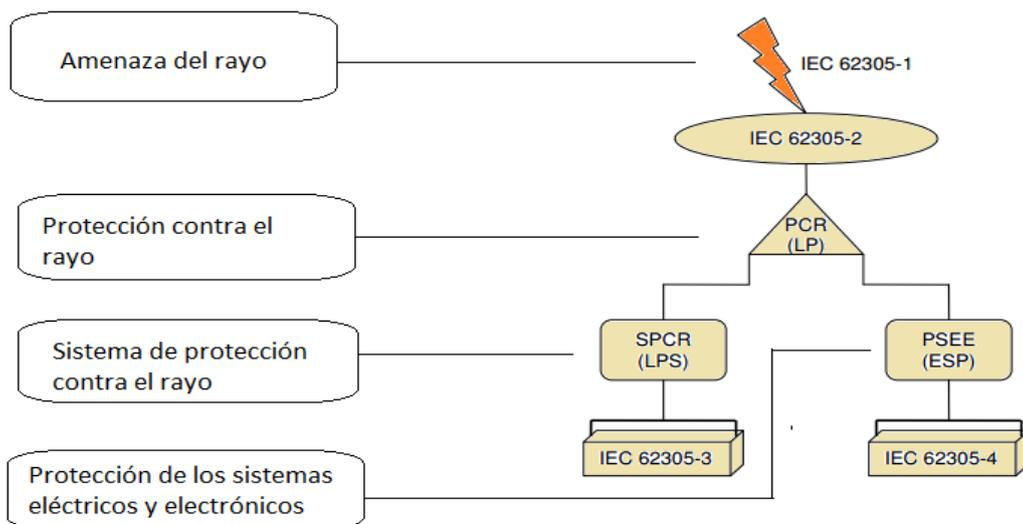


Figura 1.1 Esquema de norma IEC-62305

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010)

1.1.1 Impactos de una descarga atmosférica

Los impactos sobre una estructura pueden ser generados de forma ascendente cuando la descarga se genera desde la tierra hacia la nube teniendo una circulación de corriente hacia la nube, o descendente cuando la descarga atmosférica se forma desde la nube hacia la tierra; esto depende de las cargas eléctricas con las que la tierra o la nube contiene siendo estas positivas o negativas, el cálculo de la intensidad de corriente se determina por la ley de Ohm, y depende también de la carga si esta es de tipo corta (Q_{short}) las de impacto rápido con

respecto al tiempo o larga (Q_{long}) las que tienen múltiples impactos consecutivos, como indica el standard (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010).

En las siguientes figuras se puede observar las descargas atmosféricas de forma ascendente y descendente.

1.1.2 Tipo de descargas atmosféricas

Los impactos sobre una estructura pueden ser:

- De forma ascendente cuando la descarga se genera desde la tierra hacia la nube, y cuando la corriente fluye hacia la nube.
- De forma descendente cuando la descarga atmosférica se produce desde la nube hacia la tierra.

Cabe recalcar que esto depende en su totalidad del tipo de polarización de la tierra y la nube, se pueden también clasificar las descargas de corta duración (Q_{short}) con respecto al tiempo o de larga duración (Q_{long}) con respecto al tiempo también.

Se puede observar además también que las descargas atmosféricas pueden ser de forma ascendente o descendente y pueden ser además de polaridad positiva o negativa, esto dependiendo de la polaridad de la nube.

En la figura (1.2) se observan algunos impactos superpuestos seguidos de polaridad positiva y negativa, al momento de sumar todos sus intervalos de tiempo es equivalente al tener un impacto de larga duración.

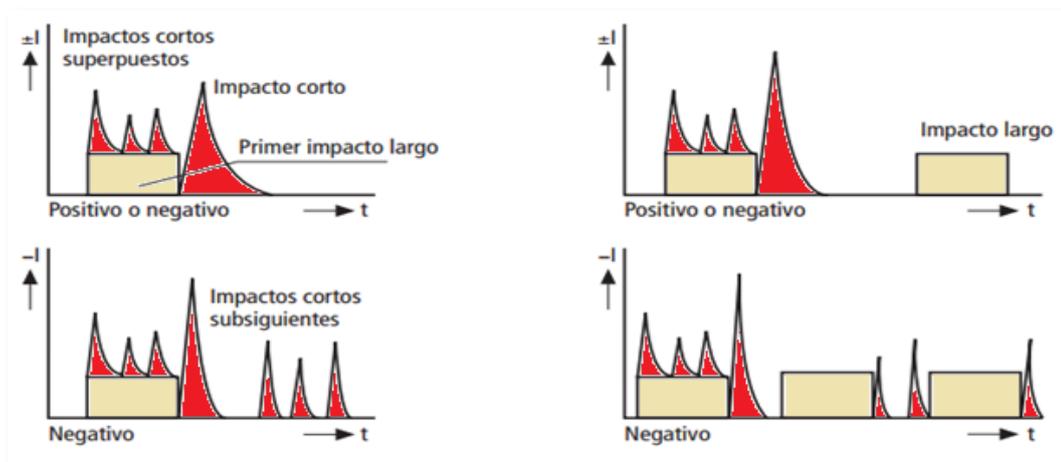


Figura 1. 2 Impactos de una descarga atmosférica de forma ascendente y descendente

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010)

1.1.3 Características de una descarga atmosférica según IEC-62305

Para analizar las características que presenta una descarga atmosférica, se toma en cuenta el anexo B de la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010), donde se ha demostrado mediante estudios experimentales varias conclusiones, ya que son necesarias conocer para entender de manera matemática el fenómeno físico, mediante una explicación gráfica.

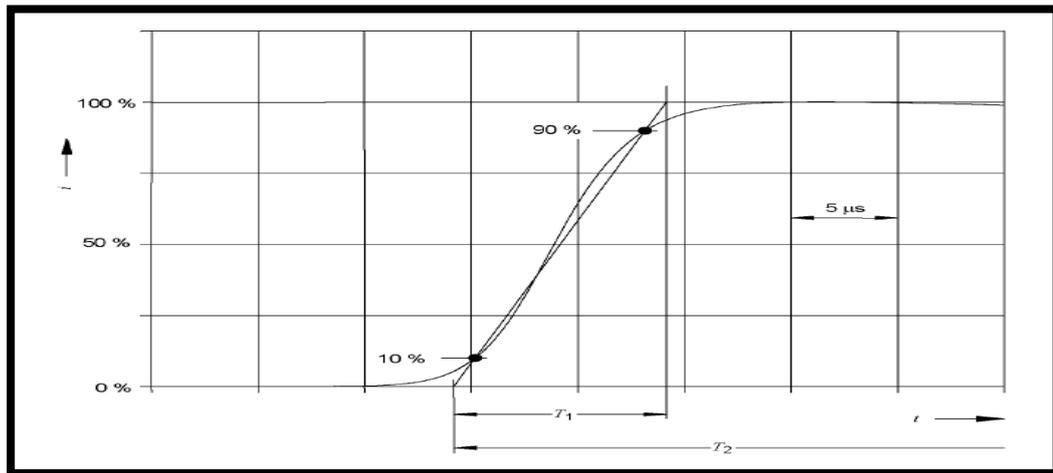


Figura 1. 3 Curva de la corriente del rayo en función del tiempo. Impacto de larga duración

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010)

En la figura (1.3) se observa que la forma de onda de la corriente en función del tiempo tiene una cresta y un punto de inflexión máximo, además se observa también que se alcanza un valor alto en corriente en un instante de tiempo muy corto para el primer impacto, la norma mencionada anteriormente establece impactos subsiguiente también los cuales se manifiestan en un tiempo mayor al impacto de corta duración, por lo que también es el mayor valor que la corriente alcanza, de esta manera se puede conocer un valor de corriente determinado para cada instante de tiempo para cada impacto. (IEC-AENOR, Protección contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010).

De la forma de onda presentada anteriormente se obtiene una relación así:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

Ecuación 1.1 Corriente en función del tiempo para cada impacto

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

Donde:

I: Valor de la corriente.

K: Valor del factor corrector de la corriente de cresta

t: Tiempo

T: Constante del tiempo del frente de onda.

A través de la ecuación anterior se puede obtener una relación numérica de la función de onda de la corriente en el tiempo, y clasificarla según su valor en la siguiente tabla.

La tabla (1.1) indica los valores de las principales características del rayo en un ambiente simulado por la norma mencionada.

Tabla 1.1 Parámetros de la corriente para cualquier nivel de protección según su impacto.

Parámetro	Primer Impacto Corto			Impacto corto subsiguiente		
	Nivel de Protección			Nivel de protección		
	I	II	III-IV	I	II	II-IV
I(kA)	200	150	100	50	37,5	25
K	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
t1(us)	19	19	19	0,454	0,454	0,454
t2(us)	485	485	485	143	143	143

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

1.2 Impactos de descargas atmosféricas

Los impactos de descargas atmosféricas se los puede clasificar de diferentes formas, como este proyecto se basa en el estándar (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010), el estándar las clasifica en directas e indirectas.

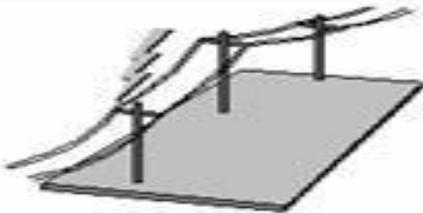
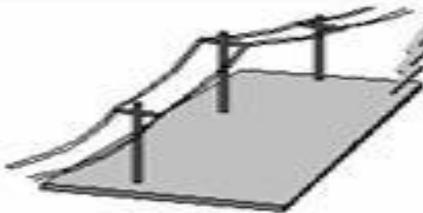
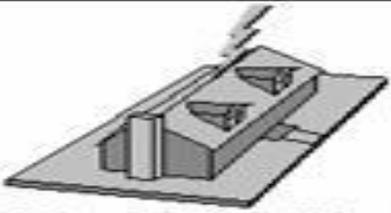
	Descarga Directa	Descarga Cercana
EXTERNAS	 <p>Propagación de la sobretensión por la línea</p>	 <p>Sobretensión inducida en la línea</p>
INTERNAS	 <p>Sobretensión debida al impacto directo en la instalación</p>	 <p>Acoplamiento resistivo y sobretensión inducida</p>

Figura 1. 4 Clasificación de impactos de una descarga atmosférica

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

Como este proyecto se basa en un contador de rayos que impacte la torre de comunicaciones o la edificación o la bajante, el análisis se lo realizara para los dos casos:

- Descarga externa directa.

Descarga interna directa.

1.2.1 Descarga externa directa

Son generadas principalmente cuando la descarga se produce en la línea de transmisión o la línea bajante del pararrayo, este tipo de impacto genera tensiones por sobretensión en las estructuras y por inducción en los materiales metálicos, además genera un campo electromagnético alrededor de la bajante o línea de transmisión.

1.2.2 Descarga interna directa

Generadas por descargas atmosféricas las cuales impactan a la estructura o edificación provocando una sobretensión en las instalaciones eléctricas de la edificación pudiendo ocasionar daños irremediables a los equipos los cuales no cuenten con una protección y una puesta a tierra, también puede producirse un acoplamiento resistivo y una sobretensión inducida debido al campo magnético que produce la circulación de corriente.

1.2.3 Efectos de una descarga atmosférica

Los efectos que una descarga atmosférica puede causar sobre una edificación son varios, en este caso en particular el diseño de las protecciones se realiza de acuerdo a los efectos causados por el rayo en las líneas de telecomunicaciones, elementos activos (antenas), torre de comunicaciones y caseta de telecomunicaciones.

Tabla 1.2 Efectos del Rayo en estructuras Típicas.

TIPO DESTRUCTURA SEGÚN SU FUNCION Y/O CONTENIDO	EFECTOS DEL RAYO
TELECOMUNICACIONES	Pérdidas inaceptables de servicios para el público

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

En la tabla (1.2) se muestran los efectos de una descarga atmosférica ante una línea de telecomunicación, las medidas de protección que se pueden utilizar son cables apantallados, dispositivos de protección contra sobretensiones, caminos redundantes etc.

Tabla 1.3 Efectos del Rayo sobre los Servicios.

TIPO DE SERVICIO	EFECTOS DEL RAYO
Línea de Telecomunicación	Fallos secundarios en los cables de fibra óptica con daño del cable, pero sin pérdida de servicio. Daños mecánicos en la línea, fusión de las pantallas y los conductores, ruptura del aislamiento del cable y del Equipo servicio.

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

1.3 Norma IEC 62305-2

En la segunda parte la norma se indica los procesos para identificar las amenazas, los riesgos y en base a estos, la determinación de factores para diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas que se ajusten a las necesidades y a los requerimientos, en el

cual se determinan las medidas de protección óptimas para que desde el aspecto técnico y económico sean lo mejor. (García, 2016)

Posteriormente se determina un factor de riesgo residual el cual, a través de los diferentes niveles de protección, este sea reducido hasta el punto de que el mismo quede bajo el umbral del riesgo aceptable.

1.3.1 Fuente de daños:

Según la norma IEC 62305-2, las fuentes de los daños pueden ser:

- S1: Descargas en una estructura
- S2: Descargas cerca de una estructura
- S3: Descargas en un servicio
- S4: Descargas cerca de un servicio

1.3.2 Tipos de daños:

Una descarga atmosférica puede ocasionar daños en función de las características del objeto que se va a proteger, algunas de estas pueden ser el tipo de material para su construcción, su contenido y si es o no línea de servicio.

La clasificación es:

- D1: Daños a seres vivos
- D2: Daños físicos
- D3: Fallos de sistemas eléctricos y electrónicos

1.3.3 Tipo de pérdida

Cada tipo de daño solo o en combinación, puede ocasionar pérdidas diferentemente al objeto que se protege, el tipo de pérdidas que pueden aparecer tienen una relación con las características del objeto y su contenido.

Los tipos de pérdidas asociados a una estructura son:

- L1: Pérdida de vida humana
- L2: Pérdida de servicio público
- L3: Pérdida de patrimonio cultural
- L4: Pérdida de valor económico (estructura y su contenido, actividad)

Los tipos de pérdidas que pueden asociarse a un servicio son:

- L²: Pérdida del servicio público.
- L⁴: Pérdida del valor económico (servicio y pérdida de actividad).

En la tabla (1.4), se muestran los diferentes tipos de daños, para cada impacto; si este es cercano o directo, se observa el tipo de pérdida que produce este impacto, y si el impacto es sobre la estructura o sobre un servicio.

Tabla 1.4 Muestra la fuente de daño, tipo de pérdida en función del impacto.

		Estructura		Servicio	
Punto de impacto	Fuente de daño	Tipo de daño	Tipo de pérdidas	Tipo de daño	Tipo de pérdidas
Directo en la edificación	S1	D1	L1, L4		
		D2	L1, L2, L3, L4	D2	L2, L4
		D3	L1, L2, L4	D3	L2, L4
Cercano a la edificación	S2	D3	L1, L2, L4		
Directo en la línea	S3	D1	L1, L4		
		D2	L1, L2, L3, L4	D2	L2, L4
		D3	L1, L2, L4	D3	L2, L4
Cercano a la línea	S4	D3	L1, L2, L4	D3	L2, L4

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

1.3.3 Evaluación del Riesgo y Componentes del Riesgo

El riesgo R es el valor de una pérdida anual media probable, para cada tipo de pérdida se debe evaluar un tipo de riesgo correspondiente.

- R1: Riesgo de pérdida de vida humana
- R2: Riesgo de pérdida de un servicio público
- R3: Riesgo de pérdida de patrimonio cultural

- R4: Riesgo de pérdida de valor económico

Los riesgos a valorar en un servicio pueden ser:

- R'2: Riesgo de pérdida del servicio público
- R'4: Riesgo de pérdida del valor económico

1.3.4 Componentes del Riesgo cuando la descarga es en la estructura

Existen tres componentes cuando la descarga es en una estructura y se representan mediante las siguientes abreviaciones:

- RA: Componente relacionado con daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto y de paso de hasta 3 m exterior a la estructura. Podrían aparecer pérdidas de tipo L1.
- RB: Componente relacionado con los daños físicos producidos por chispas peligrosas en el interior de la estructura causantes de fuegos o de explosiones que también podrían afectar el ambiente, se podrían presentar todos los tipos de pérdidas.
- RC: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al IEMR (Impulso Electromagnético del Rayo), se podrían producir pérdidas de tipo L2 y L4, juntamente con pérdidas L1 si es el caso de hospitales o lugares en el que se ponga en peligro la vida humana

1.3.5 Componentes del Riesgo cuando la descarga es cerca de la estructura

Cuando la descarga se produce en las cercanías de la estructura se tiene la componente:

- RM: Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos debidos al IEMR, se podrían producir pérdidas de tipo L2 y L4, juntamente con pérdidas L1 si es el caso de hospitales o lugares en el que se ponga en peligro la vida humana.

1.3.6 Componentes del riesgo cuando la descarga es en un servicio de la estructura.

Para este caso se obtienen tres componentes relacionados a los daños físicos a los seres vivos y a los fallos en los sistemas internos de la siguiente manera:

- RU: Componente relacionado con los daños a los seres vivos producidos por tensiones de contacto en el interior de la estructura, debidas a la corriente inyectada en una línea que entra en la estructura. Podrían ocurrir pérdidas de tipo L1 y en el caso de propiedades agrícolas podrían ocurrir pérdidas de tipo L4.

- **RV:** Componente relacionada con los daños físicos producidos por la corriente del rayo transmitida a través de las líneas entrantes (fuego o explosión generados por chispas peligrosas producidas, generalmente en el punto de entrada de la línea a la estructura, entre la instalación externa y partes metálicas). Puede ocurrir cualquier tipo de pérdidas L1, L2, L3, L4.
- **RW:** Componente relacionado con los fallos de los sistemas internos por sobretensiones inducidas en las líneas que entran a la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2 y L4, junto con pérdidas de tipo L1 en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas internos ponga en peligro de inmediato la vida humana.

1.3.7 Componentes del riesgo cuando la descarga es cerca de un servicio de la estructura

Se tiene una sola componente:

- **RZ:** Componentes relacionado con los fallos de los sistemas internos causados por sobretensiones incluidas líneas que entran y se transmiten a la estructura. En todos los casos podrían producirse pérdidas del tipo L2, L4, junto con pérdidas de tipo L1, en aquellos casos de estructuras con riesgo de explosión y hospitales u otras estructuras en las que el fallo de los sistemas ponga en riesgo la vida humana.

1.3.8 Componentes del riesgo para un servicio cuando la descarga es en el servicio

Cuando la descarga es directa en el servicio se tiene:

- **R'V:** Componente relacionado con los daños físicos debidos a los efectos mecánicos y térmicos de la corriente de descarga, podrían ocurrir pérdidas de tipo L'2 y L'4.
- **R'W:** Componente relacionado con los equipos conectados debido a sobretensiones por acoplamientos resistivos, podrían ocurrir pérdidas de tipo L'2 y L'4.

1.3.9 Componentes del riesgo para un servicio cuando la descarga es cerca del servicio

- **R'Z:** Componente relacionado con los fallos de las líneas y de los equipos conectados por sobretensiones inducidas en las líneas, podría ocurrir pérdidas de tipo L'2 y L'4.

1.3.10 Componente del riesgo para un servicio por descargas a la estructura en la que está conectado el servicio

- R'B: Componente relacionado con los daños físicos debido a los efectos mecánicos y térmicos de la corriente de descarga que circula por la línea de conexión, podrían ocurrir pérdidas de tipo L'2 y L'4.
- R'C: Componente relacionado con los equipos conectados debido a sobretensiones por acoplamientos resistivos, podrían ocurrir pérdidas de tipo L'2 y L'4.

Para la evaluación del riesgo dependiendo esta, de cada tipo ya identificado, se obtienen las siguientes cuatro ecuaciones:

R1: Riesgo de pérdida de vida humana

$$R1 = RA + RB + RC(1) + RM(1) + RU + RV + RW(1) + RZ(1)$$

RC (1), RM (1), RW (1) RZ (1), *Solamente se aplica para estructuras con riesgo de explosión y hospitales con equipos de reanimación eléctrica u otras estructuras en las que el fallo der los sistemas internos ponga en peligro de inmediato la vida humana.*

R2: Riesgo de pérdida del servicio Público:

$$R2 = RB + RC + RM + RV + RW + RZv$$

R3: Riesgo de pérdida del patrimonio Cultural:

$$R3 = RB + RV$$

R4: Riesgo de pérdida de valor Económico:

$$R4 = RA (2) + RB + RC + RM + RU(2) + RV + RW + RZ$$

RA (2), RU (2), *Solamente para propiedades donde pueda producirse pérdida de animales.*

En la tabla (1.3), se muestra un pequeño resumen de las pérdidas de cada tipo y por cada causa:

Tabla 1.5 Componentes del riesgo a considerar por cada tipo de estructura.

Fuente de daño	Descarga en la estructura S1			Descarga cerca de la estructura S2		Descarga en una línea conectada a S3		Descarga cerca de una línea
Componente del riesgo	RA	RB	RC	RM	RL	RV	RW	RZ
Riesgo para cada tipo de pérdida:								
R1	*	*	* 1)	* 1)	*	*	* 1)	* 1)
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*				*		
R4	* 2)	*	*	*	* 2)	*	*	*

1) Sólo para estructuras con riesgo de explosión y hospitales, o lugares donde se ponga en peligro de inmediato la vida humana

2) Sólo para propiedades donde se pueda producir pérdida de animales

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

En la siguiente tabla, se muestra los valores tolerables para cada tipo de pérdida :

Tabla 1.6 Valores típicos del riesgo tolerable.

Tipos de pérdida	RT(ye-1)
Pérdida de vida humana o daños permanentes	10e-5
Pérdida de servicio público	10e-3
Pérdida de patrimonio cultural	10e-3

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

Nota. - RT(ye-1), se refiere a los valores típicos del riesgo tolerable, los cuales deben estar determinados por las autoridades competentes; sin embargo, en vista de que en el país no se cuenta con un estudio de esta índole, se utilizarán los valores de la tabla 1.6.

1.4 Norma IEC-62305-3

En la tercera parte de la norma se analizan los sistemas de protección del interior y el exterior de las estructuras contra los daños físicos y daños a los seres vivos generados por tensiones de paso y de contacto.

La principal y más efectiva medida de protección ante los daños físicos y los daños a los seres vivos es un Sistema de Protección contra Rayos SPCR (Sistema de Protección contra el Rayo o Descarga Atmosférica), además el principal objetivo de un SPCR es el de proteger y brindar seguridad a los seres vivos para esto existen SPCR externos y SPCR internos.

1.4.1 Objetivos de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

El SPCR externo tiene como objetivos:

- Interceptar las descargas de los rayos en la estructura. (mediante el dispositivo de captura)
- Conducir con seguridad la corriente de las descargas a tierra. (mediante los conductores de bajada)
- Dispersar la corriente de las descargas en la tierra. (mediante el sistema de puesta a tierra)

El SPCR interno tiene como objetivo prevenir los riesgos producidos por chispas peligrosas en el interior de la estructura mediante conexiones equipotenciales o mediante distancias de separación (refiriéndose a un aislamiento eléctrico).

Las principales medidas de protección contra el daño a los seres vivos sean estas por tensiones de paso y de contacto están destinados a:

- Reducir la corriente que circula a través de los cuerpos, bien aislando las superficies conductoras o aumentando la resistividad de la superficie del suelo.
- Reducir la posibilidad de que se produzcan tensiones de contacto y de paso mediante el empleo de restricciones de acceso y/o carteles de advertencia

Para el diseño de un SPCR se debe tomar en cuenta los factores como son el riesgo a la vida humana y evaluar los lugares en donde podría suscitarse la descarga, para esto la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010), menciona 4 medidas o niveles de protección, tomando en cuenta el riesgo y los factores antes mencionados.

1.4.2 Sistemas de protección contra descargas atmosféricas

Las características de un SPCR, se determinan por las de la estructura a proteger y teniendo en cuenta el nivel de protección contra el rayo, en la norma IEC-62305-3, se definen 4 niveles o clases de protección, los cuales son:

Tabla 1.7 Nivel de protección contra el rayo (NPR) y la clase del SPCR

Nivel y Clase de Protección	
Nivel I	Clase I
Nivel II	Clase II
Nivel III	Clase III
Nivel IV	Clase IV

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

1.4.3 Características de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

Cada clase de SPCR se define por lo siguiente:

Datos que dependen de la clase de SPCR

- Parámetros del rayo o descarga atmosférica
- Radio de la esfera rodante, tamaño de la malla y ángulo de protección
- Distancias entre los conductores de bajada y anillos conductores
- Distancia de separación para evitar chispas peligrosas
- Longitud mínima de los electrodos de tierra

Datos que no dependen de la clase de SPCR

- Conexiones equipotenciales
- Espesores mínimos de las chapas o tuberías metálicas en los sistemas de captura
- Materiales y condiciones del SPCR
- Configuraciones y dimensiones de los captadores, conductores de bajada y tomas de tierra
- Dimensiones mínimas de los conductores de conexión

Las características de cada SPCR se encuentran indicadas en el anexo B de la norma IEC 62305-2, además la clase de SPCR requerido debe seleccionarse en base a la evaluación del riesgo según norma IEC 62305-2.

1.4.4 Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas

Para realizar un diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas existen dos consideraciones a tomar cuenta:

- Cuando el diseño incluye también la estructura que se va a proteger desde el inicio
- Cuando el diseño es realizado para proteger una estructura ya existente se debe tomar en cuenta las limitaciones

1.4.5 Aplicación de un SPCR externo

La parte externa de un SPCR tiene como objetivo principal interceptar las descargas directas y las indirectas las que llegarían a las partes laterales e inclusive las que llegan en el suelo a través de un adecuado sistema de puesta a tierra, previniendo así daños térmicos y mecánicos o chispas peligrosas que podrían ocasionar incendios o explosiones.

1.4.6 Elección de un SPCR externo

En la mayoría de casos el SPCR externo se puede fijar en la estructura a proteger, debe considerarse un SPCR externo asilado cuando los efectos térmicos y explosivos en el punto de impacto o en los conductores que llevan la corriente, pueden producir daños en su estructura o contenido, los ejemplos típicos para esto son las estructuras que contienen inflamables y zonas con riesgo de explosión e incendio.

La probabilidad de que una descarga pueda ingresar a una estructura disminuye notoriamente cuando se realiza un sistema de capturas debidamente diseñado.

Los sistemas de capturas pueden estar formados por cualquier combinación de los siguientes elementos.

- Varillas (incluidos mástiles separados)
- Cables para las bajantes
- Conductores mallados

Los captadores individuales tipo varilla deberían conectarse entre sí a nivel del techo para asegurar la división de la corriente.

Los captadores de rayos deben colocarse en las esquinas superiores de la estructura o en la parte más alta de la superficie que se desea proteger.

Existen tres métodos aceptados para determinar la posición de los captadores:

- Método del ángulo de protección.
- Método de la esfera rodante.
- Método de la malla.

Consideraciones a tomar en cuenta:

- El método del ángulo de protección es adecuado para edificios con formas simples y para torres de comunicaciones.
- El método de la esfera es adecuado para la mayoría de casos.
- El método de la malla es adecuado cuando se van a proteger superficies planas.
- Los valores del ángulo de protección, radio de la esfera y tamaño de la malla se encuentran normados.

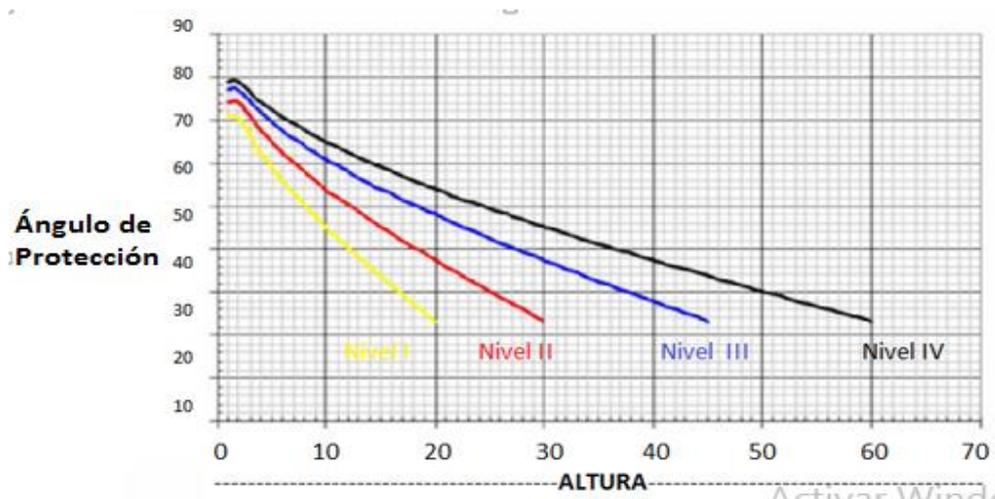


Figura 1.5 Valores del ángulo de protección

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

1.4.7 Dispositivos de captura contra descargas laterales

En estructuras superiores a los 60 m pueden producirse descargas laterales, especialmente en puntas, esquinas y reborde de la superficie, cabe recalcar que para estas alturas solamente un pequeño porcentaje cae en las partes laterales, si este es el caso se debe proteger instalando un captador que sea el 20% de la estructura en la parte superior siguiendo las indicaciones del anexo A de la norma IEC-62305-2.

1.4.8 Conductores de bajada

Con el objetivo de reducir la probabilidad de daños debido a las corrientes que circulan por un SPCR, los conductores de bajada deben disponerse:

- Existan varios caminos en paralelo para la corriente.
- La longitud de los caminos de la corriente se reduzca al mínimo.
- Deben realizarse de manera equipotencial en las partes conductoras de la estructura.

Para cualquier SPCR, el número de conductores de bajada no debe ser menor a dos, y deberían distribuirse alrededor del perímetro de la estructura a proteger.

Se prefiere una distribución de los conductores de bajada equidistantes entre sí alrededor de la estructura. (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

1.5 Sistema de protección interna contra el rayo

El objetivo principal del sistema de protección interno es el de impedir que se produzcan chispas peligrosas en la estructura a proteger por las corrientes del rayo que puedan circular por el sistema externo de SPCR o cualquier otra parte conductora de la estructura, la chispa podría producirse en componentes como:

- Instalaciones metálicas
- Sistemas internos
- Partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura

1.5.1 Anexo A dentro de la Norma IEC 62305-3

Para la colocación del dispositivo de captura se debe tomar en cuenta que el área que se necesita proteger se encuentre dentro del área que cubre el dispositivo de captura.

El método que se puede utilizar es el de la varilla vertical, en el cual el vértice colocado en el eje de la varilla vertical tiene la forma de un cono recto circular, formando un semiángulo α , este ángulo está en función de la clase del SPCR y la altura de la varilla de captura, como se indica en la figura (1.6).

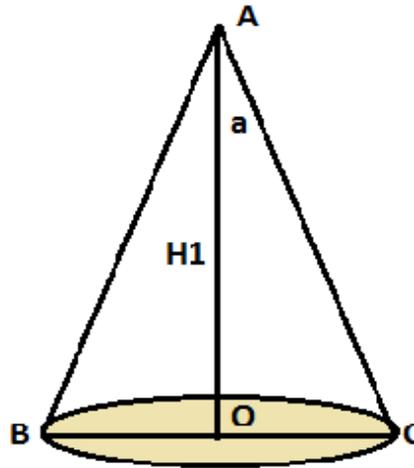


Figura 1. 6 Parámetros que intervienen para el cálculo de la superficie de protección

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Mediante la figura (1.6), anterior podemos determinar el área de protección a partir del cálculo del área de un cono, para una superficie plana.

En la figura (1.7), se observa una vista superior en un ejemplo de cómo el área de protección se encuentra delimitado para una estación de telecomunicaciones que posea dos torres de comunicación.

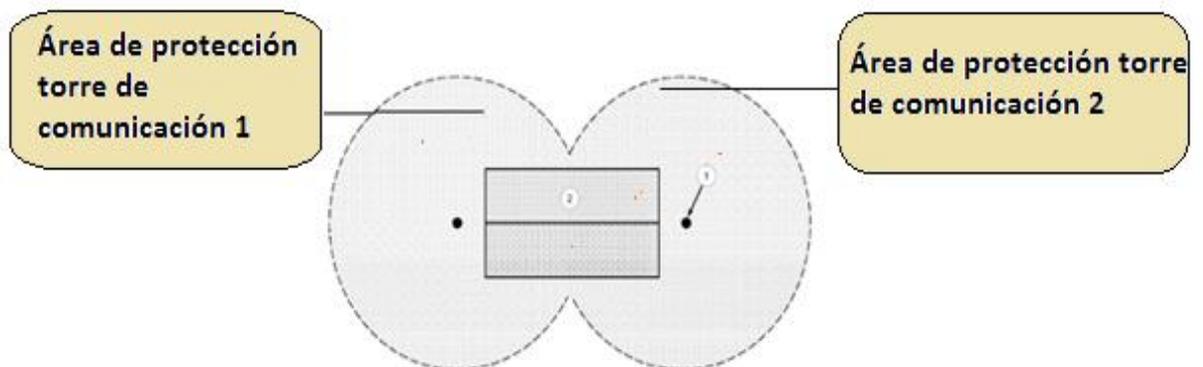


Figura 1.7 Ejemplo del área de protección de dos captadores de descargas atmosféricas.

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

En la información de la siguiente tabla, se puede observar que los puntos de fijación para los conductores de bajada, deben ser instaladas a cada metro, debido a las torres de hasta 15m de altura, así:

Tabla 1.8 Distancias de puntos de fijación para superficies horizontales y verticales y verticales.

Disposición			Puntos de fijación para cables o pletinas conductoras mm	Puntos de fijación para conductores rígidos mm
Conductores horizontales en superficies horizontales			500	1000
Conductores horizontales en superficies verticales			500	1000
Conductores verticales hasta 20 m del suelo			1000	1000
Conductores verticales por encima de los 20m			500	1000

Fuente: (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano, 2010)

1.6 Teoría de campo electromagnético

El campo electromagnético es una medida física que a su vez se compone de dos fuerzas, una fuerza eléctrica y otra fuerza magnética, estas fuerzas están formadas por partículas cargadas positivamente o negativamente, estas partículas cargadas positivamente o negativamente interactúan con el medio, produciendo líneas de campo electromagnético, adicionalmente el vector unitario (dirección) de campo eléctrico es perpendicular al campo magnético como indica la figura (4). (Gomez, 2012)

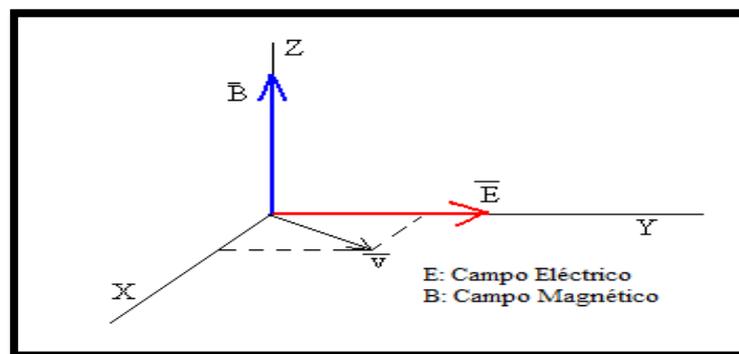


Figura 1. 8 Campo eléctrico perpendicular al campo magnético

Fuente: (Villacis, 1980)

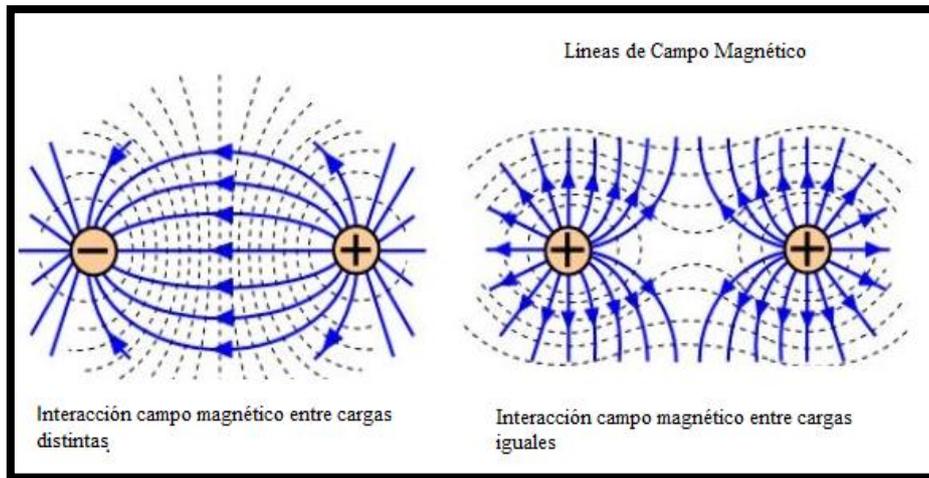


Figura 1. 9 Interacción de líneas de campo magnético entre dos cargas

Fuente: (Suarez, 2001)

1.6.1 Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell representan una de las formas más concisas de establecer los fundamentos de la Electricidad y el Magnetismo. A partir de ellas, se pueden desarrollar la mayoría de las fórmulas de trabajo en el campo.

Debido a su breve declaración, encierran un alto nivel de sofisticación matemática y por tanto no se introducen generalmente en el tratamiento inicial de la materia, excepto tal vez como un resumen de fórmulas. (Gomez, 2012)

Estas ecuaciones básicas de la electricidad y de magnetismo se puede utilizar como punto de partida para los cursos avanzados, pero generalmente se encuentran por primera vez después del estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos, en forma de ecuaciones unificadoras.

Además, son un conjunto de cuatro ecuaciones (originalmente 20 ecuaciones) que describen por completo los fenómenos electromagnéticos. La gran contribución de James Clerk Maxwell fue reunir en estas ecuaciones largos años de resultados experimentales, debidos a Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday y otros, quienes fueron introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento, y unificando los campos eléctricos y magnéticos en un solo concepto: el campo electromagnético. (García, 2016)

Las ecuaciones de Maxwell definen a la mayoría de fenómenos físicos y electromagnéticos y se enuncian las siguientes:

Tabla 1.9 Ecuaciones de Maxwell en forma diferencial e integral

Forma Integral	Forma Diferencial	Enunciado
$\oint E \cdot ds = \frac{q}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	“Ley de Gauss. El flujo eléctrico total fuera de una superficie cerrada es igual a la carga encerrada, dividida por la permitividad.”
$\oint B \cdot ds = 0$	$\nabla \cdot B = 0$	“Ley de Faraday o inducción electromagnética, enuncia que el voltaje inducido en un circuito cerrado resulta directamente proporcional a la velocidad con que cambia en el tiempo el flujo magnético”
$\oint E \cdot dl = -\frac{d}{dt} \int B \cdot dS$	$\nabla \times E = -\frac{dB}{dt}$	“Ley de Lenz, la corriente inducida crea un campo magnético que se opone siempre a la variación de flujo magnético que la ha producido”.
$\oint B \cdot dl = \mu_0 \left(\int J \cdot d + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int E \cdot dS \right)$	$\nabla \times B = \mu_0 \left(J + \epsilon_0 \frac{dE}{dt} \right)$	“ La ley de Ampere-Maxwell explica que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es proporcional a la corriente que recorre en ese contorno.”

Fuente: (Gomez, 2012)

Donde:

B=intensidad de campo magnético

J=densidad de corriente

E= Intensidad de campo eléctrico

μ_0 = Permeabilidad magnetica en el vacio

ϵ_0 = Permitividad electrica en el vacio

q = Carga

$p = \text{Densidad}$

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque metodológico de la investigación

El presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo, debido a que el principal objetivo del proyecto es generar datos de la cantidad de descargas atmosféricas que impactan a una estructura o a una torre de comunicaciones para a partir de este dato, tener una mayor certeza del estado en el que se encuentra el sistema de protección contra descargas atmosféricas y puesta a tierra, además se puede realizar también una clasificación, determinando los lugares que tienen mayor incidencia de descargas atmosféricas, dando lugar a la realización de mapas con nivel cerámico a futuro, el presente estudio se ha realizado de manera descriptiva y experimental con aplicaciones para realizar mayor enfoque en el ámbito industrial.

2.2 Población

Para la realización de este proyecto se han tomado en cuenta unidades de riesgo (adimensional), así también unidades como son corriente, voltaje área, las cuales llevan una estrecha relación al momento de realizar el diseño del proyecto, además de que son unidades que se toman en cuenta para las protecciones de descargas atmosféricas según la clasificación que indica la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010).

2.3 Métodos empíricos y técnicas empleadas

Para la recolección de la información se han empleado dos métodos principales como son: el método científico, ya que para determinar la cantidad de veces que impacta una descarga atmosférica a una estructura se observa un fenómeno natural utilizando la técnica de la observación, una vez que se conoce que la descarga atmosférica es el objeto de estudio, y es de medición ya que al poder contar las descargas se aplican relaciones matemáticas en las que interactúan las unidades mencionadas anteriormente, utilizando la técnica de interpretación.

2.4 Formas de procesamiento de la información

Los datos obtenidos de la cantidad de descargas atmosféricas que impacten la estructura o su alrededor de 200m, son almacenados en la memoria interna de la tarjeta Raspberry la cual contiene también el sistema operativo del módulo, el dato consiste en el número de descarga, acompañado de fecha y hora en un formato de texto plano y almacenado secuencialmente, los datos se almacenan también en forma paralela en una memoria flash externa para respaldar la información ante cualquier inconveniente.

2.5 Metodología seleccionada

La metodología seleccionada para este proyecto es la de trabajo, (García, 2016), ya que el dispositivo se compone de módulos para optimizar su funcionamiento y cada módulo cumple una función específica, tal es el caso de la tarjeta Raspberry, el modulo detector y la pantalla de visualización, esto permite que el dispositivo pueda estar también conectado a un segmento de red, reduciendo el riesgo de operación del dispositivo y aumentando su vida útil, ya que en el caso de que falle algún módulo se lo reemplazaría, otra ventaja es que mejora la calidad del trabajo, ya que al contar con un programa de software libre, se puede desarrollar, mejorar, adaptar o editar a las condiciones que sean necesarias.

2.6 Variables

Tenemos dos tipos de variables en la investigación

- **Variables Independientes:** es una variable que representa una cantidad que no se modifica en una investigación, en este sentido estas variables están directamente relacionadas con la electrónica y los elementos en el módulo detector, además de estar también sujetas a las condiciones ambientales y al fenómeno natural objeto de la investigación.
- **Variable Dependiente:** es la variable que se investiga y se mide, en este caso representa el fenómeno natural en su totalidad como es la descarga eléctrica, además esta variable se ve menos flexible y es medible también en otras investigaciones realizadas como son las normas (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010).

2.7 Resumen sinóptico de la metodología utilizada

En la siguiente tabla se indica la metodología utilizada en cada etapa de la investigación.

Tabla 2.1 Cuadro sinóptico del marco metodológico utilizado

ETAPA DE INVESTIGACIÓN	MÉTODO	TÉCNICA
Fundamentación Teórica	TEÓRICO: Inductivo– Deductivo	Revisión bibliográfica e internet
Diagnostico	MATEMÁTICO: Pruebas de hipótesis	Otras - Experimental
Propuesta	MATEMÁTICO: Pruebas de hipótesis	
Validación	EMPÍRICO: Experimentos	Experimental

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

CAPÍTULO III

3.PROPUESTA

Este proyecto se lo ha analizado principalmente para que pueda tener un monitoreo remoto, y que además sea construido a bajo costo y utilizando materiales y elementos que contribuyen a un avance tecnológico, adicionalmente el prototipo puede ser implementado en cualquier bajante de un sistema de protecciones contra descargas atmosféricas, especialmente en las torres de comunicaciones donde se observan dispositivos captadores de descargas atmosféricas (pararrayos tipo franklin, o pararrayos con dispositivo cebado), los cuales están conectados a un cable de acero o cobre que baja por una de las columnas de la torre, es en este punto donde el dispositivo puede ser conectado para contar el impacto que el sistema de protección recibe.

Es de gran ayuda contar con el número de veces que impacta un rayo a la edificación o torre, ya que debido a este se pueden realizar análisis del estado de salud del sistema de protecciones contra descargas atmosféricas como tal, y además puede contribuir con información del nivel cerámico (cantidad de descargas atmosféricas por unidad de área) en el sector, la ventaja de este diseño es que se puede acceder a su información de manera remota como se ha mencionado antes, para lo cual también se presenta una simulación total del funcionamiento, los elementos que se utilizan y los programas que se han utilizado para su desarrollo.

Adicionalmente en el diseño del dispositivo se ha tomado en cuenta que, para su instalación, específicamente en el sistema de alimentación la fuente de energía sea independiente, ya que, en los sitios remotos, no existe electricidad alterna por lo que se puede conectar el dispositivo a una batería la cual brinda una autonomía independiente también prolongando su funcionamiento.

3.1 Módulo Raspberry PI3

El módulo Raspberry es una tarjeta electrónica que en su generalidad se asemeja a una mini computadora, cuenta ya con un procesador integrado y con puertos e interfaces para poder insertar teclado, mouse y pantalla, además de que la misma funciona con un sistema operativo de Linux, llamado raspbian, en este proyecto la programación se la ha realizado en esta tarjeta electrónica utilizando puertos GPIO como puerto de control para entrada de señales y salida de señales digitales, a continuación en la figura (6), se describen sus partes más importantes.

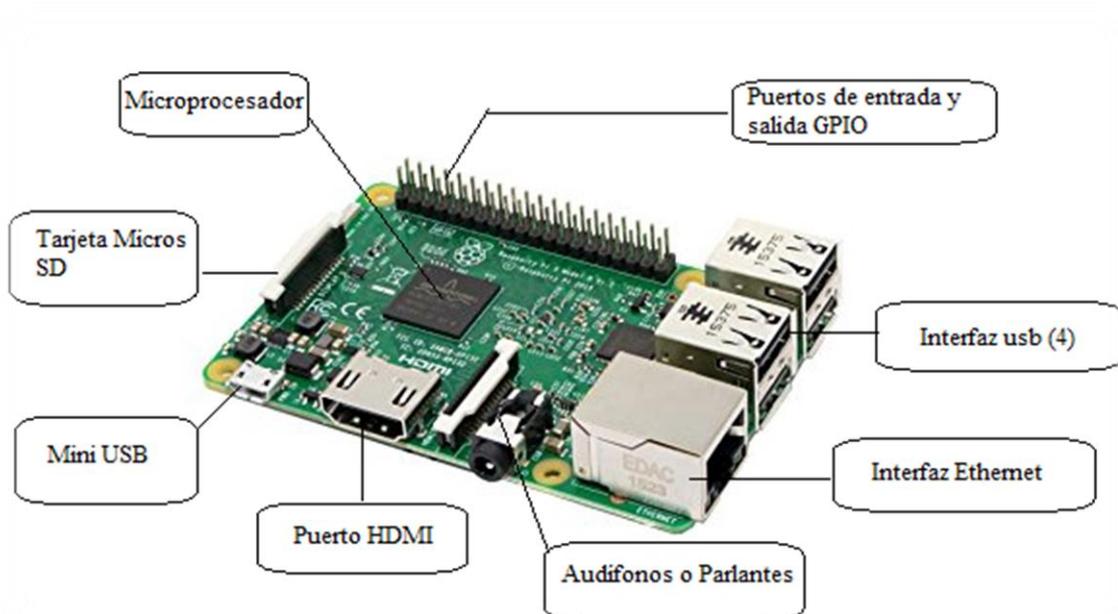


Figura 3.1 Tarjeta Raspberry PI 3 con sus principales componentes

Fuente: (Aguilar, 2016)

3.1.1 Cálculo de la autonomía del dispositivo conectado a una fuente alterna

Para poder alimentar el dispositivo es necesario conectarlo con su propio cargador a un tomacorriente, proporcionando ya una corriente directa a la tarjeta, el consumo del dispositivo en su capacidad máxima es de 5A según el fabricante, esta corriente de consumo está relacionada a cuando la tarjeta utiliza todos sus puertos de conexión y accesorios teclado, pantalla, mouse, parlantes etc., en el caso del dispositivo contador se utiliza como máximo 2A de corriente sin embargo para generar una mayor confianza los cálculos se los realizara con una corriente de consumo de 3A.

Batería utilizada:	Consumo de la tarjeta	Autonomía
75 A/H	3A	25 H

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Adicionalmente se puede también realizar una conexión con paneles solares para que los mismos recarguen a las baterías constantemente y el sistema sea aún más independiente, siendo estos conectados a un regulador de carga.

De este modo se garantiza que durante el día las baterías se recarguen y durante la noche o en horas sin mucha luz solar el esquema tenga una autonomía de al menos 24 horas.

En la siguiente figura se muestra un esquema de conexión:

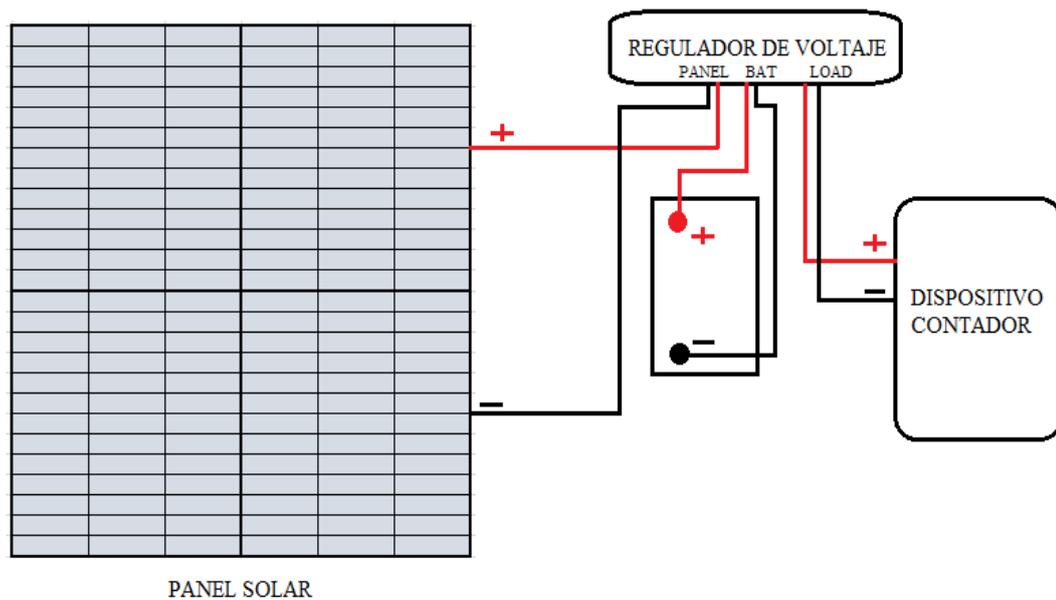


Figura 3.2 Esquema de conexión de energía alterna

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

La figura anterior indica un esquema de conexión de alimentación alterna el cual permite que el dispositivo tenga una energía individual a cualquier otro equipo que se encuentre dentro del cuarto de telecomunicaciones.

3.2 Captador del campo electromagnético producido por la descarga

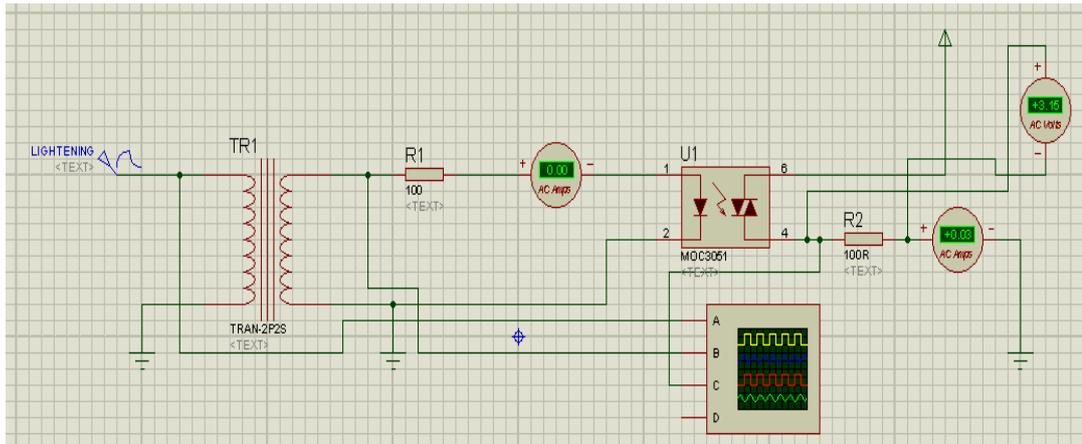


Figura 3.3 Circuito electrónico captador en simulación

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

En la figura (3.3), se observa que el principal componente que realiza la captación del campo electromagnético es la bobina, o un transformador, ya que a través de sus espiras o vueltas el campo electromagnético que se produce a través de una descarga eléctrica, esta induce una corriente a los terminales del elemento electrónico, la cual pasa a través de una resistencia y posteriormente por un opto acoplador, este último elemento funciona como un dispositivo de guarda para que al momento de entrar hacia el módulo Raspberry PI3, en el caso de tener una sobretensión o una sobrecorriente solamente se dañe el modulo captador y no se deba reemplazar todo el dispositivo.

3.2.1 Diseño del circuito eléctrico y electrónico

En la figura (3.4), se observa la forma de conexión entre un display y el módulo así:

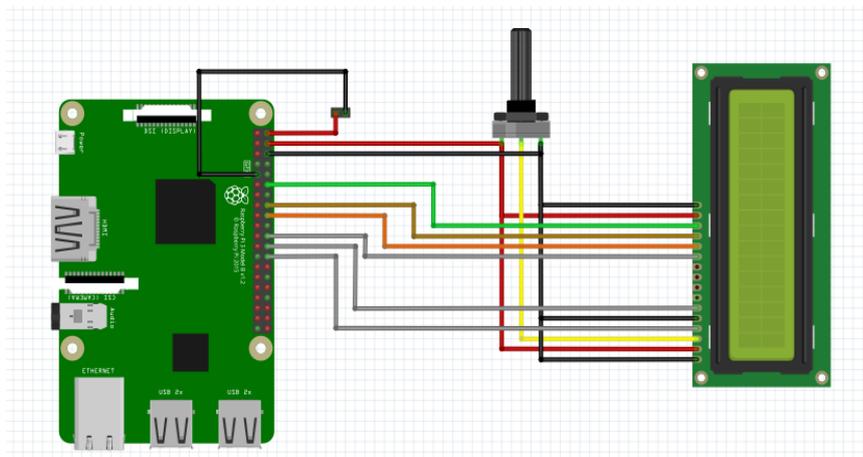


Figura 3.4 Circuito esquemático de visualización y procesamiento

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

La tarjeta Raspberry, en el cual se proyecta el número de impactos recibidos que la tarjeta ha detectado a través de sus pines GPIO, adicionalmente se ha utilizado también un potenciómetro para calibrar el contraste de la pantalla.

3.2.2 Programas desarrollados por el autor para contar y almacenar las descargas atmosféricas

Para la realización de los programas se han tomado en cuenta parámetros y comandos que permitan presentar y obtener los datos tanto de la consola de Linux hacia el código del programa y del programa en si hacia la consola de Linux, esto ha sido posible gracias a la importación de las librerías en el inicio del programa los programas han sido desarrollados por el autor en código de programación Python, para que de esta manera sean programas modificables y escalables, los códigos de línea se pueden observar en los anexos.

3.3 Aplicación SSH

La aplicación Viewer VNC, es una de las aplicaciones que se pueden utilizar de manera gratuita y que contiene el protocolo SSH la cual ha sido también utilizada en este proyecto, lo más importante y para obtener una conexión totalmente segura, es que tanto la maquina como la tarjeta se encuentren en el mismo segmento de red y utilicen la misma máscara, de esta manera, se podrá ingresar a la tarjeta Raspberry desde cualquier otro computador de manera remota.

3.3.1 Acceso remoto

Para la realización del proyecto, se puede acceder de forma remota, utilizando un programa que tenga el protocolo SSH (secure Shell), utilizando una arquitectura cliente - servidor y además de activar también este protocolo también en la tarjeta Raspberry, dentro de su sistema operativo.

3.4 Radioenlace microonda

Para la realización de la simulación de acceso remoto se escogerán dos puntos, los cuales están separados una distancia de alrededor de 70 km, ya que los radios de recepción y transmisión en su configuración máxima en distancia punto-punto es de aproximadamente la distancia mencionada anteriormente.

3.4.1 Coordenadas GPS escogidas

Para la simulación del acceso remoto se ha escogido a un nodo importante para el Instituto Geofísico en la parte sur del país donde la cantidad de descargas atmosféricas es

mayor debido a su gran altura y a su clima frío y nuboso, donde estas condiciones son propicias para la formación de tormentas eléctricas, y el otro punto, se ha considerado un punto en la provincia de Loja en la ciudad de Alamor, donde se encuentra instalado un instrumento de monitoreo sísmico.

Tabla 3.1. Coordenadas de cada lugar para la simulación

LUGAR	TIPO DE ENLACE	COORDENADA
Alamor (Loja - Ecuador)	Punto – Punto / transmisión	Latitud: 4° 0'44.48"S Longitud: 79°51'12.26"W
Villonaco (Loja– Ecuador)	Punto – Punto / recepción	Latitud: 3°59'22.98"S Longitud: 79°15'52.57"W

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

En las figuras (3.5; 3.6), se puede observar que los puntos escogidos tienen una distancia aproximada de 70 km, y además que si existe línea de vista para la simulación del enlace.

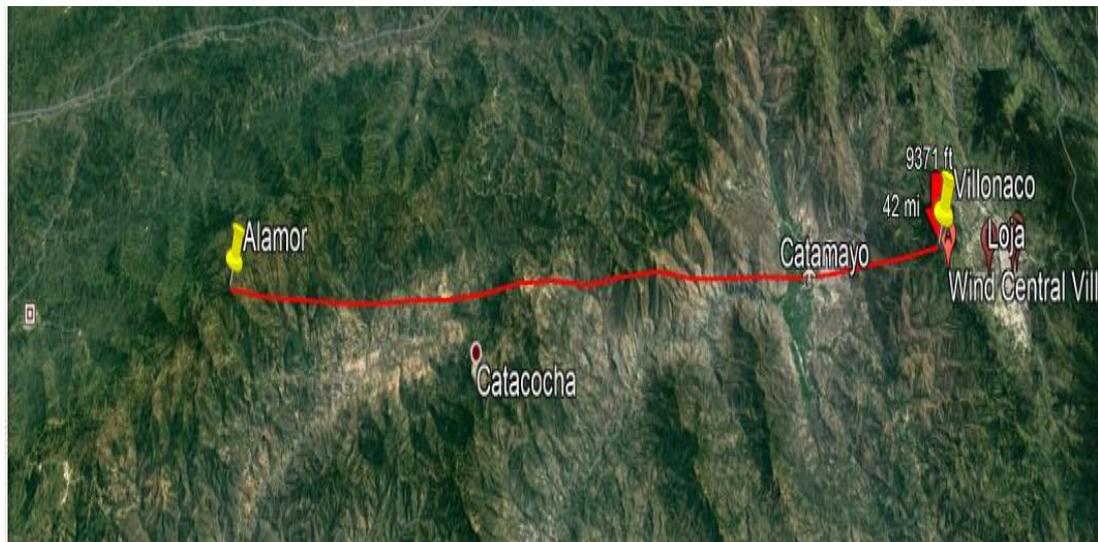


Figura 3.5 Ubicación geográfica entre los puntos escogidos

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)



Figura 3.6 Perfil del enlace anterior

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

3.4.2 Simulación del radio enlace en frecuencia de (902 – 928) Mhz

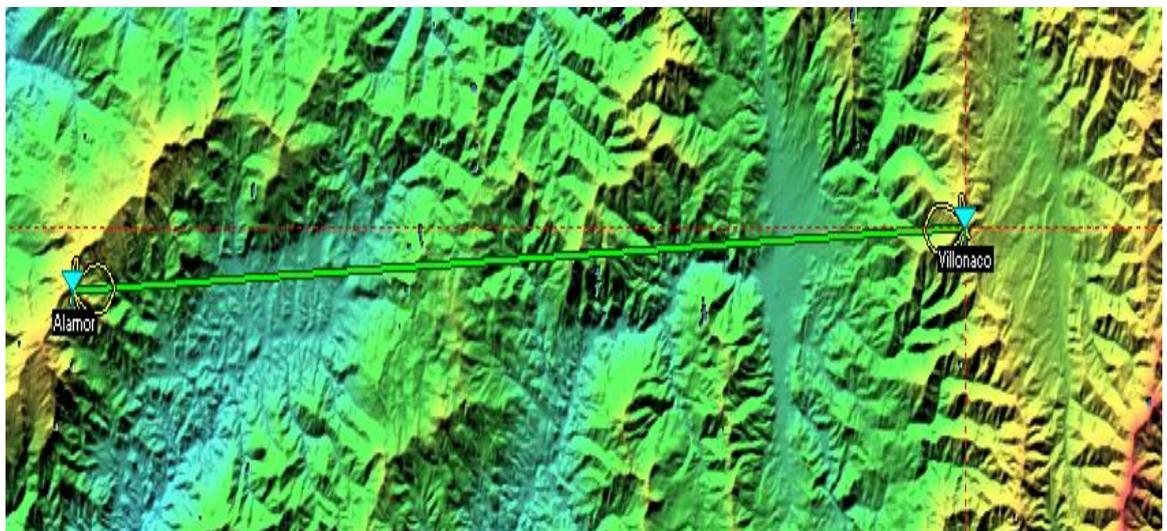


Figura 3.7 Simulación del enlace microonda radio mobile

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Como se observa en la figura (3.6) y en la figura (3.7) existe enlace y línea de vista despejada, ya que no existen obstáculos en la trayectoria ni elevaciones, los parámetros que se han utilizado, son parámetros lo más apegados a la realidad y son datos reales los que se han tomado en cuenta para esta simulación y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Parámetros del enlace entre A y B

Punto (A)	Alamor (Loja - Ecuador)	Punto (B)	Villonaco (Loja- Ecuador)
Coordenada: Latitud:	4° 0'44.48"S	Coordenada: Latitud:	3°59'22.98"S
Longitud:	79°51'12.26"W	Longitud:	79°15'52.57"W
Frecuencia mínima	916 Mhz	Frecuencia mínima	916 Mhz
Frecuencia máxima	928 Mhz	Frecuencia máxima	928 Mhz
Continental templado		Continental templado	
Polarización vertical		Polarización vertical	
Antena Yagi		Antena Yagi	
Potencia de transmisión	1W	Umbral de recepción	0,75 Uv
Altura de la torre	0m	Altura de la torre	30m

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)



Figura 3.8 Parámetros de transmisión y recepción del enlace Alamor – Villonaco, simulación

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

3.4.3 Cálculos de la simulación del radioenlace

Zona de Fresnel

“Como se indica anteriormente es totalmente despejado el enlace”

$$r = 17.32 * \sqrt{(D)/(4 * F)}$$

$$r = 17.32 * \sqrt{(70)/(4 * 0.920)}$$

$$r = 75.53 \text{ m radio de despeje.}$$

$$fm \text{ teórico} = 30 \log D + 10 \log(6ABF) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$fm = 30 \log(70) + 10 \log(6(0.25 * 0.125)(0.920)) - 10 \log(1 - 0.99999) - 70$$

$$fm \text{ teórico} = 27.72 \text{ dB}$$

$$Lb = 32.45 + 20 \log(F) + 20 \log(D)$$

$$Lb = 32.45 + 20 \log(920) + 20 \log(70) = 128.63$$

Pérdida en las guías de onda 1.5 dB c/100 m:

$$\text{Alamor } 0.5 \text{ m} = (0.5 \text{ m} * 1.5 \text{ dB}) / 100 \text{ m} = 0.0075 \text{ dB}$$

$$\text{Villonaco } 30 \text{ m} = (30 \text{ m} * 1.5 \text{ dB}) / 100 \text{ m} = 0.45 \text{ dB}$$

Ganancia en las antenas Yagi para los dos casos: 15 dB

Pérdidas en los filtros para los dos casos (ambos utilizan el mismo equipo) = 0.5 dB

$$\text{Umbral de recepción} = 70 \text{ dBm}$$

$$\text{Potencia de transmisión} = 1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$$

$$PRx = 30 - 0.0075 - 0.45 + 15 + 15 - 0.5 - 0.5 - 128.63$$

$$PRx = -70.08 \text{ dBm}$$

$$fm \text{ real} = -70 - (-70.08) = 0.08 \text{ dB}$$

(Elaborado por el autor, 2018)

3.4.4 Características de los radios

Los radios que se utilizaran para la simulación del enlace son radios de tipo industrial que operen en las frecuencias antes mencionadas, y que sean robustos ante variaciones de temperatura críticas, a continuación, se indica una tabla con sus principales características



Figura 3.9 Radio transmisor - receptor 916 - 928 Mhz.

Fuente: (Technologies, 2019)

3.5 Tipo de antena y construcción

El tipo de antena utilizado es la antena Yagi, este tipo de antena tiene una radiación unidireccional, la antena consta de 5 a 6 directores, y está hecha en aluminio, además tiene una adaptación BALUN (balanceada – desbalanceada), que sirve para realizar el acoplamiento del conector coaxial tipo N hembra con la guía onda, es la parte central y fundamental de la antena.

Esta antena está diseñada para operar en frecuencias de 916Mhz a 928Mhz, según los cálculos y experimentos realizados.

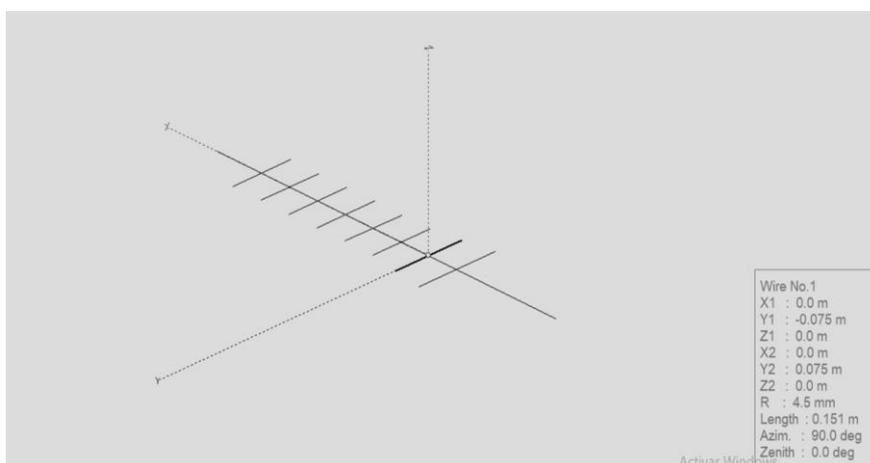


Figura 3.10 Características de antena Yagi en simulación diseño del autor

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)



Figura 3.11 Antena Yagi frecuencia de operación 916 - 928 Mhz

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Para la construcción de la antena Yagi se ha tomado en cuenta la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{3 * 10^8}{920 * 10^6} = 0.326 \text{ m}$$

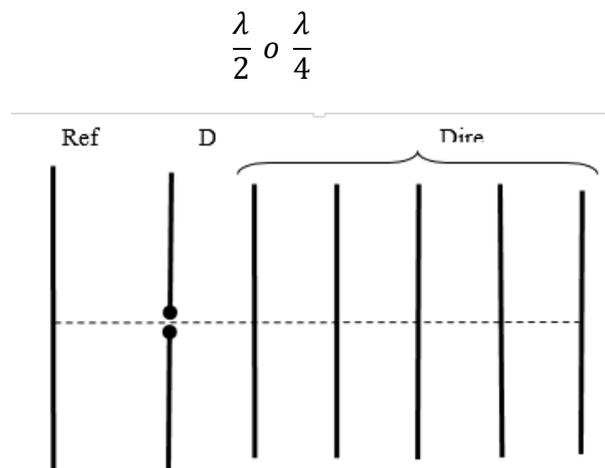
Siendo:

$\lambda =$ Longitud de onda (m)

$C =$ Velocidad de la luz en (m/s)

$F =$ Frecuencia (Hz)

De esta manera podemos conocer la longitud de onda y posteriormente podemos utilizar el acoplador de impedancias:



Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Longitudes:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Reflector:} & \frac{\lambda}{2} = \frac{150}{f} [m] \\
 \text{Dipolo:} & 0.95 \frac{\lambda}{2} = \frac{142.4}{f} [m] \\
 \text{1er. Director:} & 0.9 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{f} [m] \\
 \text{Directores:} & m: 0.900 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{f} [m] \\
 & n: 0.885 \frac{\lambda}{2} = \frac{133}{f} [m] \\
 & p: 0.867 \frac{\lambda}{2} = \frac{130}{f} [m]
 \end{array}$$

Tabla 3.2 Relación de número de directores y ganancia en la antena

N° Directores	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ganancia [dB]	9	9	1	1	1	1	1	1	1
		.5	0	1	2	3.5	5	5.5	6
R _{Dipolo}	8	7	7	6	5	5	4	4	3
	0	6	2	4	6	0	4	0	8
2° Director	n	n	n	n	n	n	n	n	n
3° Director		p	p	p	n	n	n	n	n
4° Director			q	q	p	n	n	n	n
5° Director				s	q	p	p	p	p
6° Director					s	q	p	p	p
7° Director						s	q	q	q
8° Director							s	q	q
9° Director								s	s
10° Director									s

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Separación:

$$\text{Dipolo - reflector: } 0.18\lambda = \frac{54}{f} [m]$$

$$\text{Dipolo - 1er. Director: } 0.09\lambda = \frac{27}{f} [m]$$

$$\text{Directores consecutivos: } 0.18\lambda = \frac{54}{f} [m]$$

A partir de las dos ecuaciones anteriores se ha podido calcular la longitud de la antena y por medio del software MANA-GAL se han calculado también la longitud y cantidad de directores los cuales actúan en la antena para generar mayor directividad y una mejor respuesta, esto dependiendo de la aplicación o necesidad del enlace, posteriormente la antena fue probada y testeada por un analizador de espectros, para observar su relación de onda estacionaria (ROE), en la cual se establece según la teoría que debería tener el valor de 1 pero en la parte práctica este solo es un valor ficticio, por lo que esta antena mantiene un ROE entre 1.2 – 1.4, para las frecuencias de operación mencionadas anteriormente.

3.5.1 Frecuencia de transmisión

Según el órgano de control de las telecomunicaciones ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) en el país, la banda de utilización no licenciada y libre se extiende desde los 915 Mhz, hasta los 928 Mhz, por lo que los equipos que se utilizan están fabricados para trabajar en una banda de 902 Mhz a 928 Mhz.

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1. Desarrollo del contador de descargas atmosféricas

El contador se lo ha realizado utilizando elementos que actualmente se encuentran en el mercado y por valores accesibles además de contar con diseños de módulos que se adaptan a esta nueva tecnología, siendo de esta manera los elementos más importantes:

- Módulo Raspberry PI3
- Pantalla LCD
- Transformador de tap central de pequeñas dimensiones
- Resistencias
- Leds
- Memoria micro sd
- Memoria flash 2.0

El desarrollo del contador de descargas atmosféricas utiliza los puertos GPIO para poder detectar la señal proveniente de la tarjeta detectora, y este circuito debe permanecer totalmente hermético ya que sus pines son bastante sensible a variaciones de campo electromagnético, el desarrollo de la tarjeta final del prototipo se compone de algunos módulos para optimizar los recursos, y que sea de una manera más fácil de reemplazar un módulo y no toda la tarjeta, para poder dimensionar los elementos se han tomado en cuenta parámetros de simulación de descargas atmosféricas contemplados en la norma (IEC-AENOR, Protecciones contra el rayo principios generales, 2010), y también en los parámetros de corriente y voltaje del generador de Van der Graff el cual se utilizó para las pruebas de funcionamiento.

La interacción de los módulos es a través de la aplicación VNC viewer, la cual utiliza el protocolo SSH, de esta manera se contribuye a la autenticación del usuario y lo hace de manera segura para el usuario u operador, como se ha mencionado antes, se realizó también

la simulación de un enlace de manera real para comprobar su funcionamiento remoto, utilizando antenas, guías de onda y radios de transmisión y recepción reales en una frecuencia libre no licenciada.

4.2 Implementación e integración de las etapas

El dispositivo contador diseñado se compone de tres etapas:

- Etapa de detección
- Etapa de procesamiento de información y almacenamiento
- Etapa de transmisión

4.2.1 Etapa de detección

Esta etapa está compuesta por elementos electrónicos conectados de tal manera que sea posible detectar la variación del campo electromagnético que se produce cuando una descarga atmosférica atraviesa por un conductor el circuito implementado se muestra en la siguiente figura.

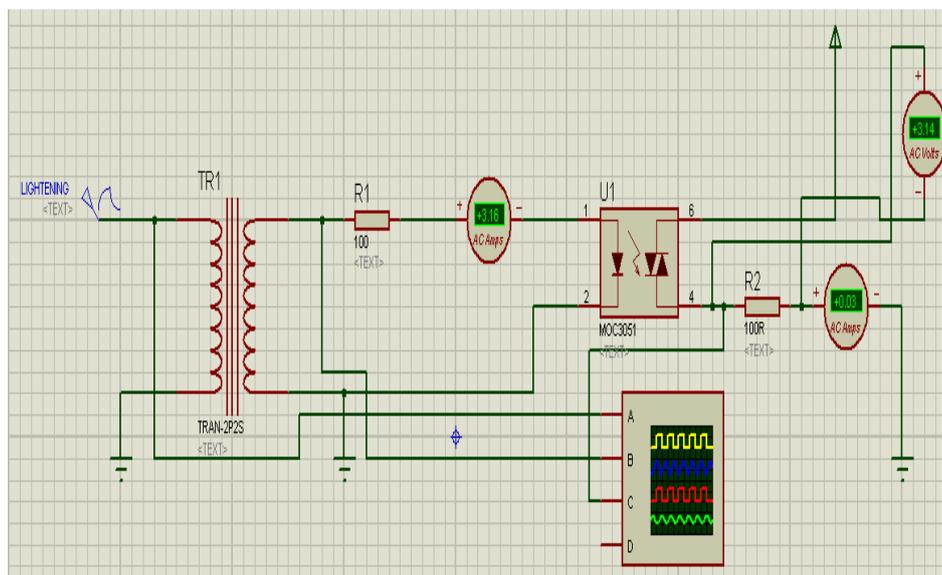


Figura 4.1 Circuito detector en simulación

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

La detección se realiza a través del campo electromagnético que genera una corriente al atravesar un conductor, tal y como explica la ley de Biot Savart.

Como se observa en la figura (4.1), es necesario utilizar una bobina o transformador para captar el campo electromagnético, que a su vez se transforma en una corriente eléctrica la cual atraviesa el circuito, generando voltajes de recepción, los cuales ya pueden ser

manejados como pulsos digitales para posteriormente poder ingresarlos al puerto GPIO de la tarjeta Raspberry pi 3, cabe destacar que para protección de la tarjeta se ha utilizado un opto acoplador, para separar de la conexión directa, en el caso de una sobretensión o sobrevoltaje.

Para de esta manera poder reemplazar únicamente el modulo que se haya averiado en el caso que existiera, la determinación de la resistencia R1 respecto a R2, se lo ha realizado a través de un divisor de tensión, llegando a determinar una relación de 10 veces mayor, así como también el opto acoplador debe soportar como máximo una corriente de 1A, una vez que la tarjeta haya detectado alguna variación su señal ingresa al puerto GPIO.

El circuito de detección de impactos puede ser utilizado tanto en torres de comunicaciones como en edificaciones que contengan sistemas de protección contra descargas atmosféricas y que en su diseño cuenten con cables bajantes.

4.2.2 Etapa de procesamiento de información y almacenamiento

Una vez que la señal es captada por el circuito detector, la señal se contabiliza a través del programa diseñado por el autor, y se presenta el número de impactos ocurridos en una pantalla LCD.

Adicionalmente el número de impactos que recibe la tarjeta es almacenado de manera automática en dos direcciones de almacenamiento al mismo tiempo, se almacena tanto en una memoria extraíble como en la memoria RAM del módulo Raspberry PI3, este doble almacenamiento se lo realiza ya que la información puede ser revisada tanto en el enlace remoto, como también por alguien que se encuentre en el lugar donde se encuentra instalado el dispositivo.



Figura 4.2 Conexiones de módulo Raspberry con LCD

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Cabe mencionar que este doble registro también ha sido realizado por si el enlace remoto se degrada y se produce un daño y la caída o pérdida del enlace, de esta manera la información puede ser de alguna manera procesada por la persona que esté a cargo del dispositivo.

Para la construcción de las conexiones se realizó también una tarjeta electrónica pequeña la cual permite acoplar tanto el LCD como el módulo Raspberry PI3, la cual fue impresa con líneas de conexión por ambos lados de la misma para optimizar el espacio y mejorar y asegurar las conexiones, como se indica en la figura (4.3).

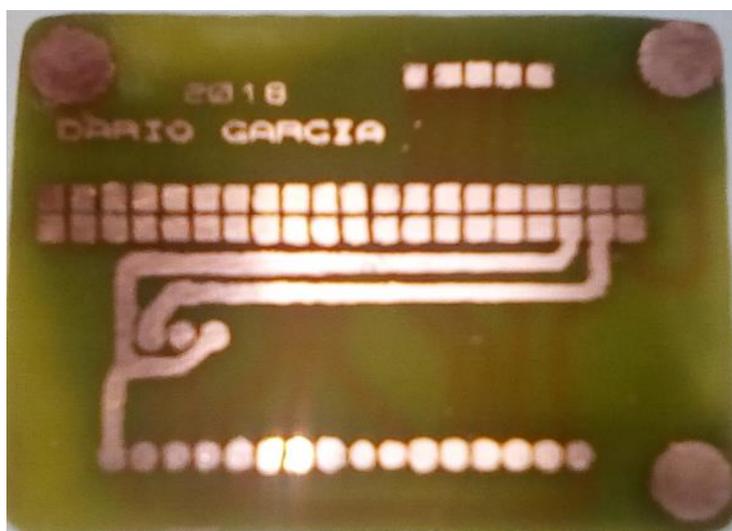


Figura 4.3 Tarjeta electrónica acopladora

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

4.2.3 Etapa de transmisión

En esta etapa, se realiza la conexión remota del PC con el dispositivo, esto es posible gracias a la aplicación VNC viewer la cual maneja el protocolo SSH, en la cual se debe ingresar la dirección ip del dispositivo en el pc ordenador, y los radios tanto transmisor como receptor se encargan de la telemetría, los radios que se han utilizado tienen una modulación QPSK y manejan spread spectrum, esto quiere decir que están buscando la mejor frecuencia con menor atenuación ambiental en la banda de operación de 902 – 928 MHz por cada canal para mejorar la transmisión y hacerla más robusta.

Los radios FGRPLUS, realizan un enlace transparente, esto quiere decir que estos equipos no etiquetan el tráfico, comportándose el enlace remoto como una extensión del

cable, la información es enviada en el enlace a través del protocolo TCP, y se utilizan cables de conexión con conector RJ45.

Adicionalmente la tarjeta posee también un módulo WIFI integrado en la misma por lo que es posible tener acceso también de esta manera, esto es de mucha utilidad para la persona que visitaría la estación en el campo.



Figura 4.4 Esquema de conexión en transmisión

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

4.3 Pruebas de funcionamiento a partir del generador de Vander Graff

El generador de Vander Graff es un dispositivo electrostático que permite alcanzar altos voltajes desde muy poca corriente para conocer su funcionamiento es necesario conocer los elementos que lo componen.

- Motor giratorio
- Correa elástica de caucho
- Rodillos de propileno (superior e inferior)
- Dos peines metálicos (superior, inferior)
- Una conexión a tierra
- Esfera metálica de aluminio

Su funcionamiento se basa en base a las leyes de la física electrostática por frotación, pues el motor hace rodar el rodillo el cual está conectado a la banda elástica, lo que genera que la banda se cargue de electrones y estos sean transportados hacia la parte superior, donde a través del peine las cargas se acumulan y van transfiriéndose hacia la esfera de aluminio,

de tal modo que si se acerca algún objeto hacia la esfera, se produce una pequeña descarga atmosférica de muy baja corriente pero de gran voltaje.

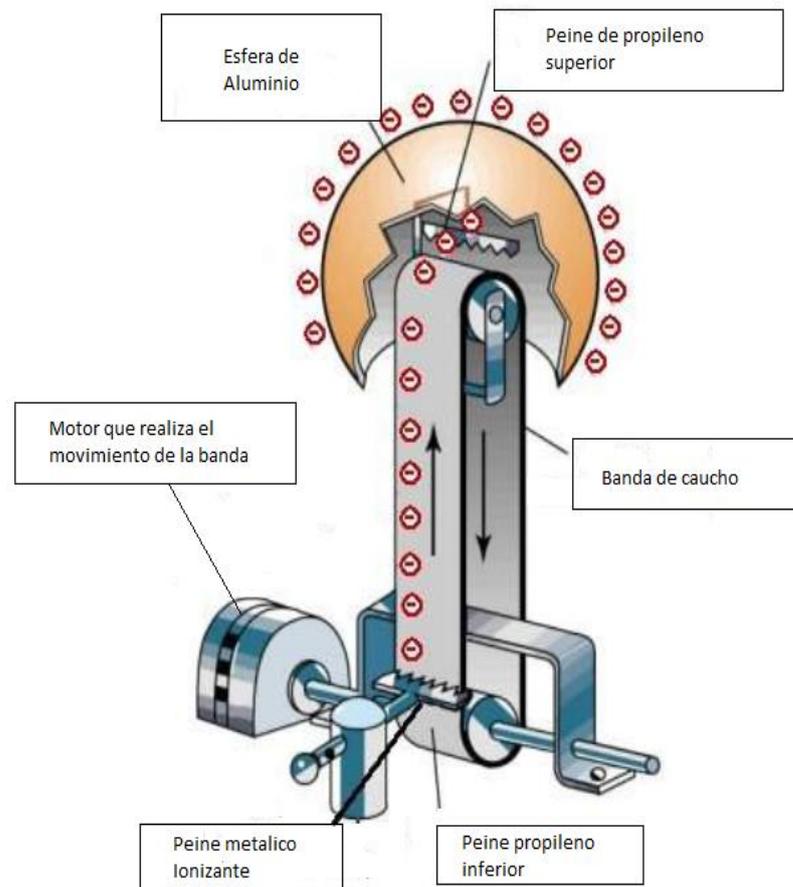


Figura 4.5 Elementos Generador de Vander Graff

Fuente: (Rebolledo, 2019)

Como se menciona anteriormente el método de investigación es experimental, por lo que se realizaron varios experimentos y pruebas de calibración para conocer primordialmente los parámetros de funcionamiento del generador, y a partir del conocimiento tanto de corriente como de voltaje realizar las pruebas.

Para la realización del experimento se utilizó un generador de Vander Graff de marca Khyse, que genera una corriente de impacto medida de $8\mu\text{A}$, a una tensión 19000v , el cual tiene una esfera de 10 cm de diámetro y una altura de 80 cm , adicionalmente con otra esfera pequeña de 5 cm de diámetro para la realización de las descargas.

Como se ha podido demostrar la corriente que genera este equipo es relativamente pequeña pero su campo eléctrico es grande como se observa en la figura (4.6), por lo que es

suficiente que el circuito detector este junto al cable o junto a la esfera a unos 10 cm de proximidad para que sea detectado, contabilizado, almacenado y transmitido, con la ayuda de este equipo se han podido realizar las pruebas experimentales de la tarjeta.



Figura 4.6 Corriente y campo eléctrico medido en el generador de Vander Graff

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

4.4 Análisis de los resultados obtenidos

A través de las observaciones experimentales se ha logrado determinar que la intensidad de campo eléctrico toma valores de hasta 2.2 A, mientras que la corriente que se genera en un impacto de simulación con el generador de Vander Graff es menor a 10 μ A, mientras que su energía potencial esta alrededor de 20kv, los cuales no fueron medidos ya que la sensibilidad del equipo de medición únicamente es de hasta 1 kV, por lo que a partir de los ensayos mencionados anteriormente se realizó la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Resultados obtenidos de los experimentos con el generador de Vander Graff

Numero de impacto	Campo eléctrico [A]	Corriente medida [uA]
1	1,4	8
2	1,4	7
3	1,6	8
4	1,8	8
5	1,7	7
6	1,5	7
7	1,7	7
8	1,8	8
9	2,1	8
10	2,2	6
11	2,2	8
12	1,9	8
13	2,2	7
14	1,9	6
15	2,2	8
16	2,2	8
17	2,2	7
18	1,8	8
19	2,2	8
20	2,1	7

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

De esta tabla de valores tabulados se puede realizar los siguientes análisis, realizando los gráficos de comparación entre la corriente y el número de impactos, generando una

mayor certeza y una mejor forma de visualización, se puede considerar también una tendencia, la cual es de una forma lineal.

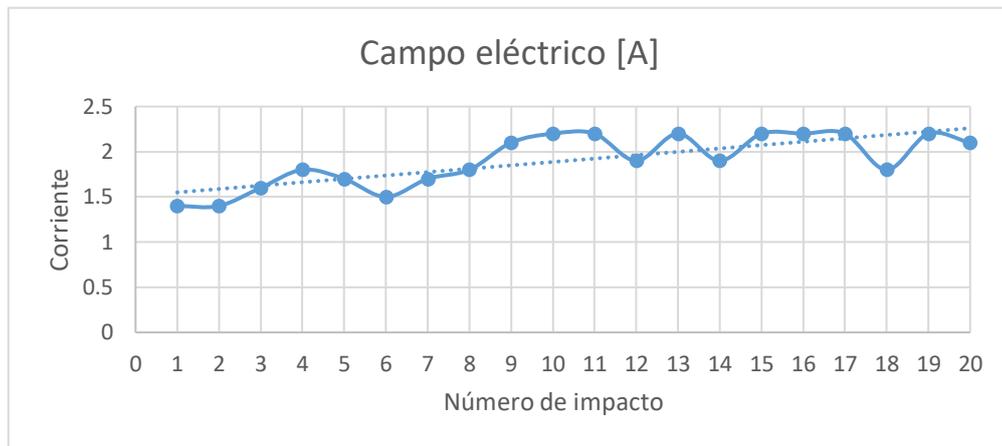


Figura 4.7 Ensayos experimentales campo eléctrico

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Como se puede observar en el gráfico, existe una tendencia de aumento de campo eléctrico, conforme se aumenta el número de impactos, esto sucede debido a que mientras más tiempo se carga la esfera, el campo eléctrico descargado es mayor, conociendo también que no sobrepasará del valor de 2.2 A.

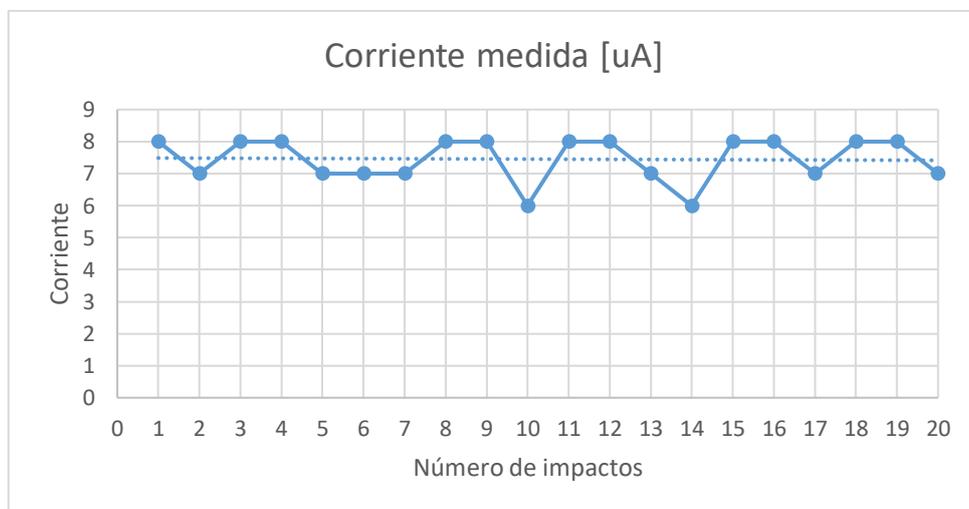


Figura 4.8 Ensayos experimentales corriente medida

Fuente: (Elaborado por el autor, 2018)

Para el caso del gráfico anterior, se puede observar que la medición de corriente no tiene variaciones significativas ya que la misma se encuentra en un promedio de 7.5 uA, para cualquier impacto.

CONCLUSIONES

- Una vez que se ha definido las necesidades la justificación y el problema, se desarrolló e implementó un contador automático de descargas atmosféricas, utilizando elementos electrónicos de última generación como es el caso de la tarjeta Raspberry Pi 3, creando de esta manera la posibilidad de actualizar o mejorar el programa realizado por el autor, este dispositivo tiene la capacidad de cuantificar en tiempo real los impactos electromagnéticos que genera una descarga eléctrica, sea que esta impacte la caseta o sus alrededores.
- Mediante la realización de varias pruebas en laboratorio se definieron las condiciones necesarias de operación del dispositivo, tal es el caso de utilizar un optoacoplador para limitar la corriente, y de un pequeño transformador 2:1 para captar la variación del campo electromagnético, además de seleccionar un generador de Vander Graff adecuado también para las simulaciones, cabe mencionar que cada módulo se puede acoplar independientemente.
- Para poder obtener pulsos, con valores nominales de operación normales se utilizó un optoacoplador de un máximo de operación de 1A, el cual permite que un sobrevoltaje o sobrecorriente no atraviese la tarjeta Raspberry Pi 3 directamente, y de esta manera no se afecten sus conexiones, esto quiere decir que se diseñó el circuito integralmente como se puede observar en los anexos.
- Fue también oportuno realizar un sistema electrónico de conteo de descargas atmosféricas utilizando la tarjeta Raspberry Pi 3, lo cual permite obtener los datos en tiempo real del comportamiento eléctrico en una zona geográfica determinada, para lo cual se implementó un registro de datos el mismo que contiene información de fecha y hora, con el fin de obtener un dato más conciso del comportamiento del lugar, cabe mencionar también que el programa genera una base de datos, los cuales son almacenados en una memoria interna como en una memoria externa (flash usb).
- Se realizó también una simulación mediante el programa Radio Mobile, con el fin de transmitir la información del registro de conteo de las descargas atmosféricas impactadas, con el fin de obtener una respuesta más apegada a la realidad, adicionalmente se simuló un enlace de radiofrecuencia microonda en la banda de 900 a 928 Mhz, cabe recalcar también que se utilizaron

radios de transmisión y recepción de marca Freewave FGR, a través de los cuales se puede ingresar remotamente al dispositivo y de este modo generar una información más real del alcance del dispositivo y sus ventajas al ser monitoreado remotamente.

- El acceso a la información se realizó utilizando la aplicación VNC viewer, que permite la comunicación entre la PC y el dispositivo, cabe recalcar que esta aplicación es gratuita, y permite a cualquier usuario y desde cualquier lugar ingresar a la base de datos que cuenta el dispositivo internamente.
- Para obtener mejores resultados y resolución se realizaron pruebas de calibración y funcionamiento del dispositivo tanto en una instalación en el campo como en pruebas en laboratorio utilizando un generador de Vander Graff (seleccionado), el cual permite emular el fenómeno natural objeto del estudio, dichas pruebas realizadas dieron como resultado un conteo satisfactorio, tanto en la instalación en el campo como en las pruebas locales en laboratorio.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar el ancho de banda en el enlace de radiofrecuencia se pueden utilizar radios digitales con mayores prestaciones, ya que el ancho de banda del radio utilizado es de apenas 128 Khz.
- Para mejorar la tarjeta diseñada del módulo detector se recomienda utilizar pistas en una sola cara de la tarjeta, ya que hacerlo en los dos lados tiene mayor dificultad y puede ocurrir un cortocircuito.
- Se puede mejorar el diseño de la protección del dispositivo utilizando cables blindados tanto en la interfaz Ethernet como en el adaptador para evitar la interferencia del impulso electromagnético como indica la norma (C-17, 2001).
- Otra manera de mejorar el dispositivo podría contemplar el procesamiento de una trama GPS (Global Positioning System), a tra ves de otro puerto GPIO, para obtener los datos de la posición donde se encuentra instalado el dispositivo generando una mayor información.
- Asegurarse que la PC de monitoreo remoto, se encuentre en el mismo segmento de red en el cual funciona el contador de descargas atmosféricas.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. (Marzo de 2016). Instinto lógico. Obtenido de <http://instintologico.com/primeros-pasos-con-raspberry-pi/>

Albarracín, A. (2016). Protecciones eléctricas. Guatemala.

C-17, M. (2001). Blindajes de cables MIL C-17. EEUU.

Cirprotec. (04 de 2017). www.cirprotec.com. Obtenido de www.cirprotec.com

Elaborado por el autor. (2018).

García, D. (2016). Sistemas de protecciones contra descargas atmosféricas para dos repetidoras pertenecientes al Instituto Geofísico. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Gomez, P. (2012). Las ecuaciones de Maxwell. España: El tamiz.

Herrera, M. (2008). Sistemas de puesta a tierra y protección para sistemas de telecomunicaciones. Guatemala: Universidad de San Carlos.

IEC-AENOR. (2010). Protecciones contra el rayo principios generales. España: Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos Quito.

IEC-AENOR. (2010). Protecciones contra el rayo, daño físico a estructuras y riesgo humano. Madrid España.

Ingesco. (09 de 2016). www.ingesco.com. Obtenido de www.ingesco.com

Proaño, A. (1996). Sistema de apantallamiento contra descargas atmosféricas. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Proaño, S. (2010). Sistemas de protecciones contra descargas atmosféricas. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Rebolledo, J. (2019). Teleformación. Obtenido de [teleformación.edu: http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Triboelectricidad/vanderGraff/GeneradorEVG_Trabajo.htm](http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/sacaleE_M2/Triboelectricidad/vanderGraff/GeneradorEVG_Trabajo.htm)

Romero, R. (1981). Contador de descargas atmosféricas. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica. Escuela Politécnica Nacional.

Serrano, M. (2008). Sistemas de puesta a tierra y protección para sistemas de telecomunicaciones. Guatemala: Universidad de San Carlos.

Suarez, S. (2001). Método para la estimación del comportamiento ante rayos de líneas aéreas eléctricas. Cuba: Universidad de ISRIAE.

Technologies, F. (2019). © 2019 FreeWave Technologies, Inc. All rights reserved. Obtenido de www.freewave.com

Villacis, S. (1980). Prototipo de un contador de rayos. Quito: Facultad de Ingeniería Eléctrica. Escuela Politécnica Nacional.

ANEXOS

Programa para activar un puerto como emisor

```
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
GPIO.setmode(GPIO.BCM) # set up BCM GPIO numbering GPIO.setup(25, GPIO.IN)
# set GPIO25 as input (button)
GPIO.setup(27, GPIO.OUT) # set GPIO24 as an output (LED)
GPIO.setup(22, GPIO.IN)
try:
    contador = 0
    while True: # this will carry on until you hit CTRL+C
        #contador=0
        if GPIO.input(22): # if port 22 == 1
            print "IMPACTO", contador
            GPIO.output(27, 1) # set port/pin value to 1/HIGH/True
            contador += 1
        else:
            print "NO IMPACTO"
            GPIO.output(27, 0) # set port/pin value to 0/LOW/False
            sleep(1) # wait 1 seconds
finally: # this block will run no matter how the try block exits
    GPIO.cleanup() # clean up after yourself
```

Programa principal

```
#!/usr/bin/env Python

# Este script fue modificado del original para funcionar como contador de impactos
# y mostrar en un lcd
# @autor
# @created
# @modified 2018/02/14

import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
```

```

import sys
import time
import os

# Define GPIO to LCD mapping
LCD_RS = 7
LCD_E = 8
LCD_D4 = 25
LCD_D5 = 24
LCD_D6 = 23
LCD_D7 = 18

# Define GPIO para contador de impactos
CNT_IN = 22
CNT_LD = 27 # En el caso de conectar un Led, se hace en el
puerto 27

# Define some device constants
LCD_WIDTH = 16 # Maximum characters per line
LCD_CHR = True
LCD_CMD = False

LCD_LINE_1 = 0x80 # LCD RAM address for the 1st line
LCD_LINE_2 = 0xC0 # LCD RAM address for the 2nd line

# Timing constants
E_PULSE = 0.0005
E_DELAY = 0.0005

contador = 0

def main():
    # Main program block
    GPIO.setwarnings(False)
    GPIO.setmode(GPIO.BCM) # Use BCM GPIO numbers
    GPIO.setup(LCD_E, GPIO.OUT) # E

```

```

GPIO.setup(LCD_RS, GPIO.OUT) # RS
GPIO.setup(LCD_D4, GPIO.OUT) # DB4
GPIO.setup(LCD_D5, GPIO.OUT) # DB5
GPIO.setup(LCD_D6, GPIO.OUT) # DB6
GPIO.setup(LCD_D7, GPIO.OUT) # DB7
GPIO.setup(CNT_IN, GPIO.IN) # Pin por el que recibe el conteo
GPIO.setup(CNT_LD, GPIO.OUT) # Conectado al Led

# Initialise display
lcd_init()

# Activo las interrupciones
GPIO.add_event_detect(CNT_IN,GPIO.RISING, callback = conteo, bouncetime=4000)

while True:

    # Send some test
    lcd_string("UNIVERSIDAD",LCD_LINE_1)
    lcd_string("ISRAEL",LCD_LINE_2)

    sleep(1) # 3 second delay

    # Send some text
    lcd_string("PROYECTO",LCD_LINE_1)
    lcd_string("TITULACION",LCD_LINE_2)

    sleep(1) # 3 second delay

    # Send some text
    lcd_string("Nro. DESCARGA",LCD_LINE_1)
    lcd_string("CONTADOR: " + str(contador),LCD_LINE_2)

    sleep(1)

def lcd_init():
    lcd_display(0x28,LCD_CMD) # Selecting 4 - bit mode with two rows

```

```
lcd_display(0x0C,LCD_CMD) # Display On,Cursor Off, Blink Off
lcd_display(0x01,LCD_CMD) # Clear display
```

```
sleep(E_DELAY)
```

```
def lcd_display(bits, mode):
```

```
    # Send byte to data pins
```

```
    # bits = data
```

```
    # mode = True for character
```

```
    #     False for command
```

```
    GPIO.output(LCD_RS, mode) # RS
```

```
    # High bits
```

```
    GPIO.output(LCD_D4, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D5, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D6, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D7, False)
```

```
    if bits&0x10==0x10:
```

```
        GPIO.output(LCD_D4, True)
```

```
    if bits&0x20==0x20:
```

```
        GPIO.output(LCD_D5, True)
```

```
    if bits&0x40==0x40:
```

```
        GPIO.output(LCD_D6, True)
```

```
    if bits&0x80==0x80:
```

```
        GPIO.output(LCD_D7, True)
```

```
    # Toggle 'Enable' pin
```

```
    lcd_toggle_enable()
```

```
    # Low bits
```

```
    GPIO.output(LCD_D4, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D5, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D6, False)
```

```
    GPIO.output(LCD_D7, False)
```

```
    if bits&0x01==0x01:
```

```

    GPIO.output(LCD_D4, True)
if bits&0x02==0x02:
    GPIO.output(LCD_D5, True)
if bits&0x04==0x04:
    GPIO.output(LCD_D6, True)
if bits&0x08==0x08:
    GPIO.output(LCD_D7, True)

# Toggle 'Enable' pin
lcd_toggle_enable()

def lcd_toggle_enable():
    # Toggle enable
    time.sleep(E_DELAY)
    GPIO.output(LCD_E, True)
    time.sleep(E_PULSE)
    GPIO.output(LCD_E, False)
    time.sleep(E_DELAY)

def lcd_string(message,line):
    # Send string to display

    message = message.ljust(LCD_WIDTH," ")

    lcd_display(line, LCD_CMD)

    for i in range(LCD_WIDTH):
        lcd_display(ord(message[i]),LCD_CHR)

def conteo(channel):
    global contador
    contador += 1
    os.system("clear")
    print "IMPACTO"
    GPIO.output(CNT_LD, 1)

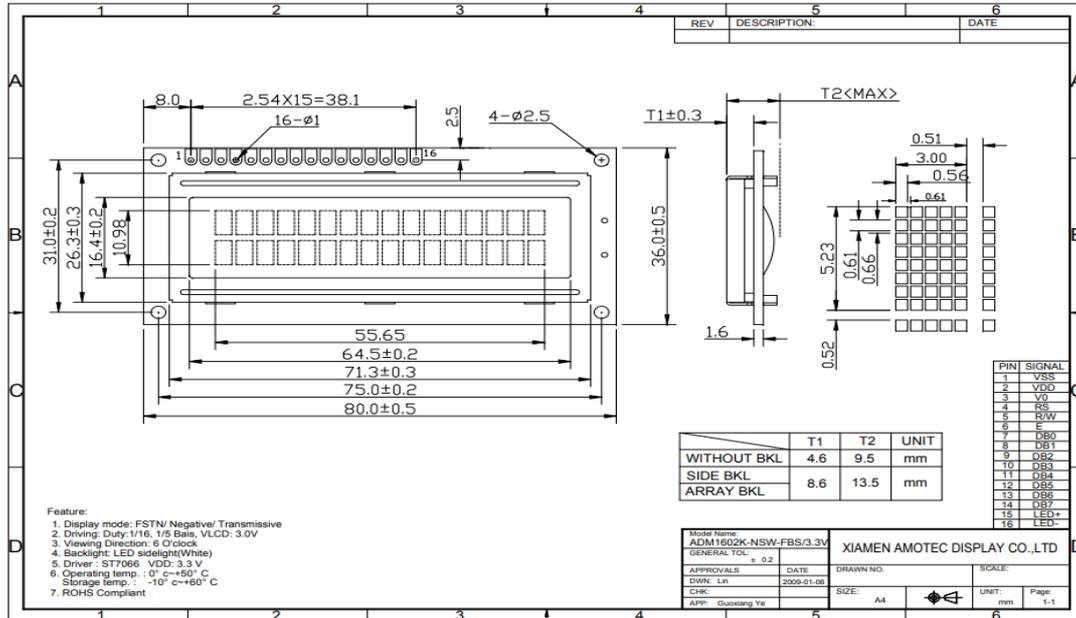
```

```
if __name__ == '__main__':  
  
    try:  
        main()  
    except KeyboardInterrupt:  
        pass  
    finally:  
        lcd_display(0x01, LCD_CMD)  
        GPIO.cleanup()
```

Datasheet:

LCD display

Outline dimension



Pin no.	Symbol	External connection	Function
1	Vss	Power supply	Signal ground for LCM
2	V _{DD}		Power supply for logic for LCM
3	V ₀		Contrast adjust
4	RS	MPU	Register select signal
5	R/W	MPU	Read/write select signal
6	E	MPU	Operation (data read/write) enable signal
7~10	DB0~DB3	MPU	Four low order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU and the LCM. These four are not used during 4-bit operation.
11~14	DB4~DB7	MPU	Four high order bi-directional three-state data bus lines. Used for data transfer between the MPU
15	LED+	LED BKL power supply	Power supply for BKL
16	LED-		Power supply for BKL

Optoacoplador

TOSHIBA

TLP179D

TOSHIBA PHOTOCOUPLER PHOTO RELAY

TLP179D

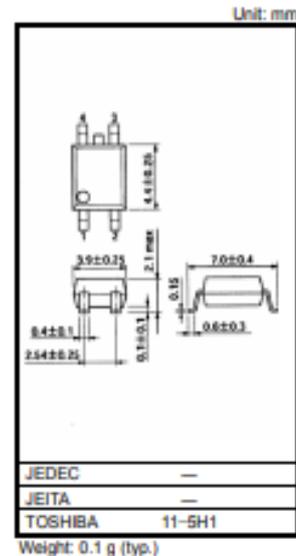
Measurement Instruments
Logic IC Testers / Memory Testers
Board Testers / Scanners

The TOSHIBA TLP179D Mini-flat photorelay is a small-outline photorelay, suitable for surface-mount assembly. The TLP179D consists of a GaAs infrared-emitting diode optically coupled to a photo-MOS FET and housed in a 4-pin package.

Its characteristics include low OFF-state current and low output pin capacitance, enabling it to be used in high-frequency measurement instruments.

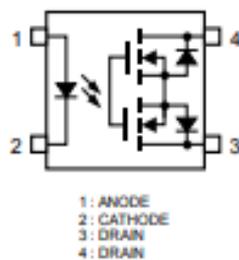
Features

- 4 pin SOP (2.54SOP4) : 2.1 mm high, 2.54 mm pitch
- 1-Form-A
- Peak OFF-State Voltage : 200 V (min)
- Trigger LED Current : 3 mA (max)
- ON-State Current : 50 mA (max)
- ON-State Resistance : 50 Ω (max)
- Output Capacitance : 20 pF (max)
- Isolation Voltage : 1500 Vrms (min)
- UL recognized : UL1577, File No.E67349
- cUL recognized : CSA Component Acceptance Service No. 5A
File No.E67349

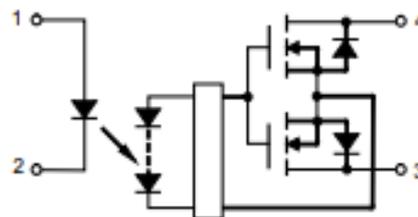


Weight: 0.1 g (typ.)

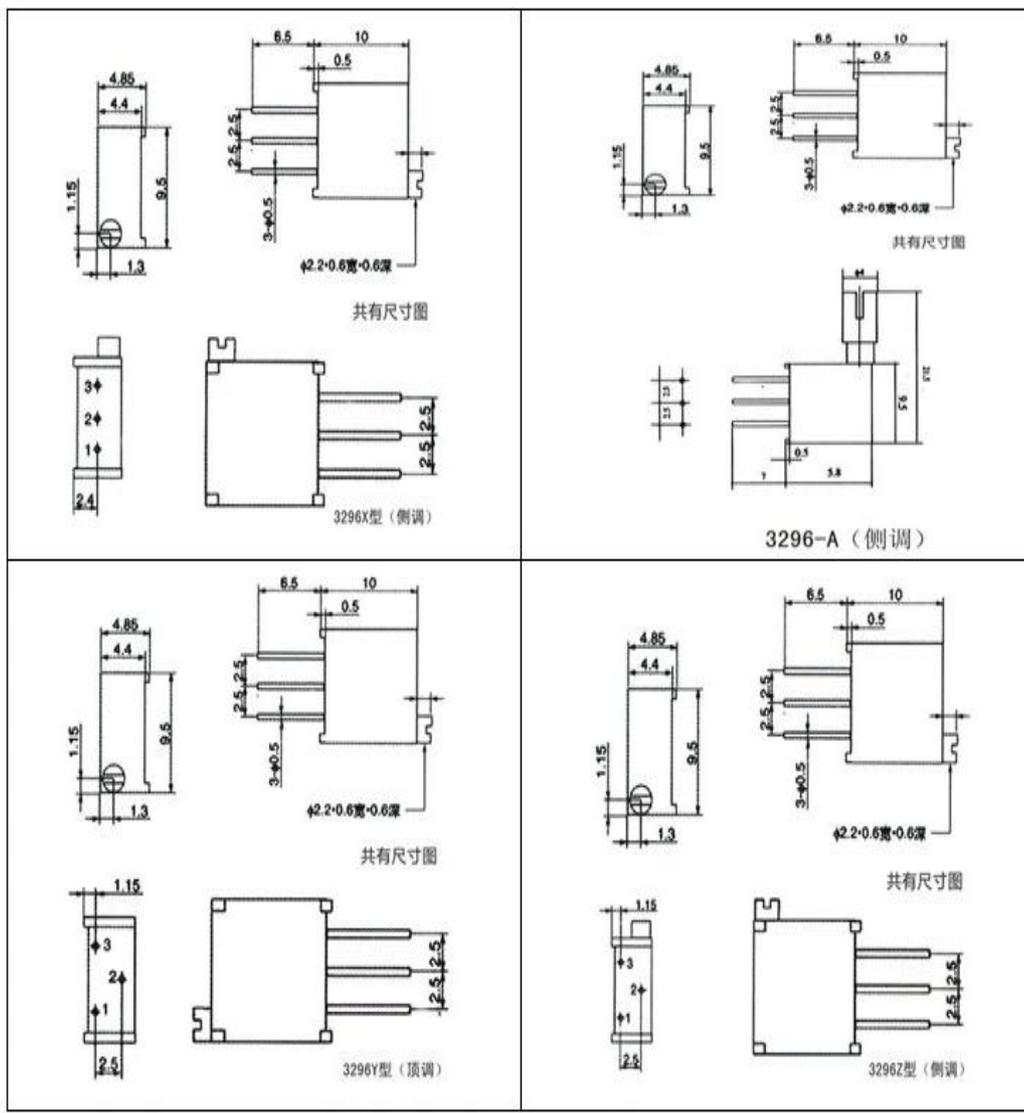
Pin Configuration (top view)



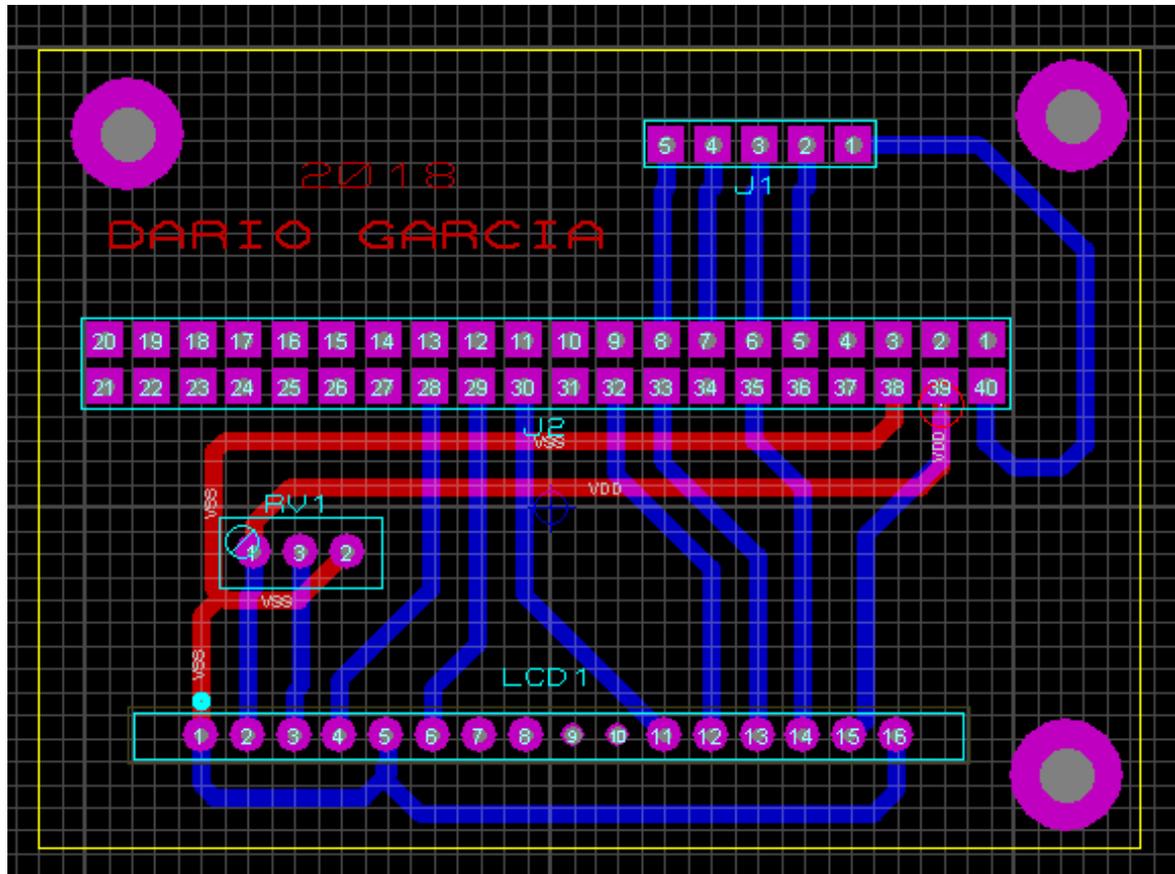
Schematic



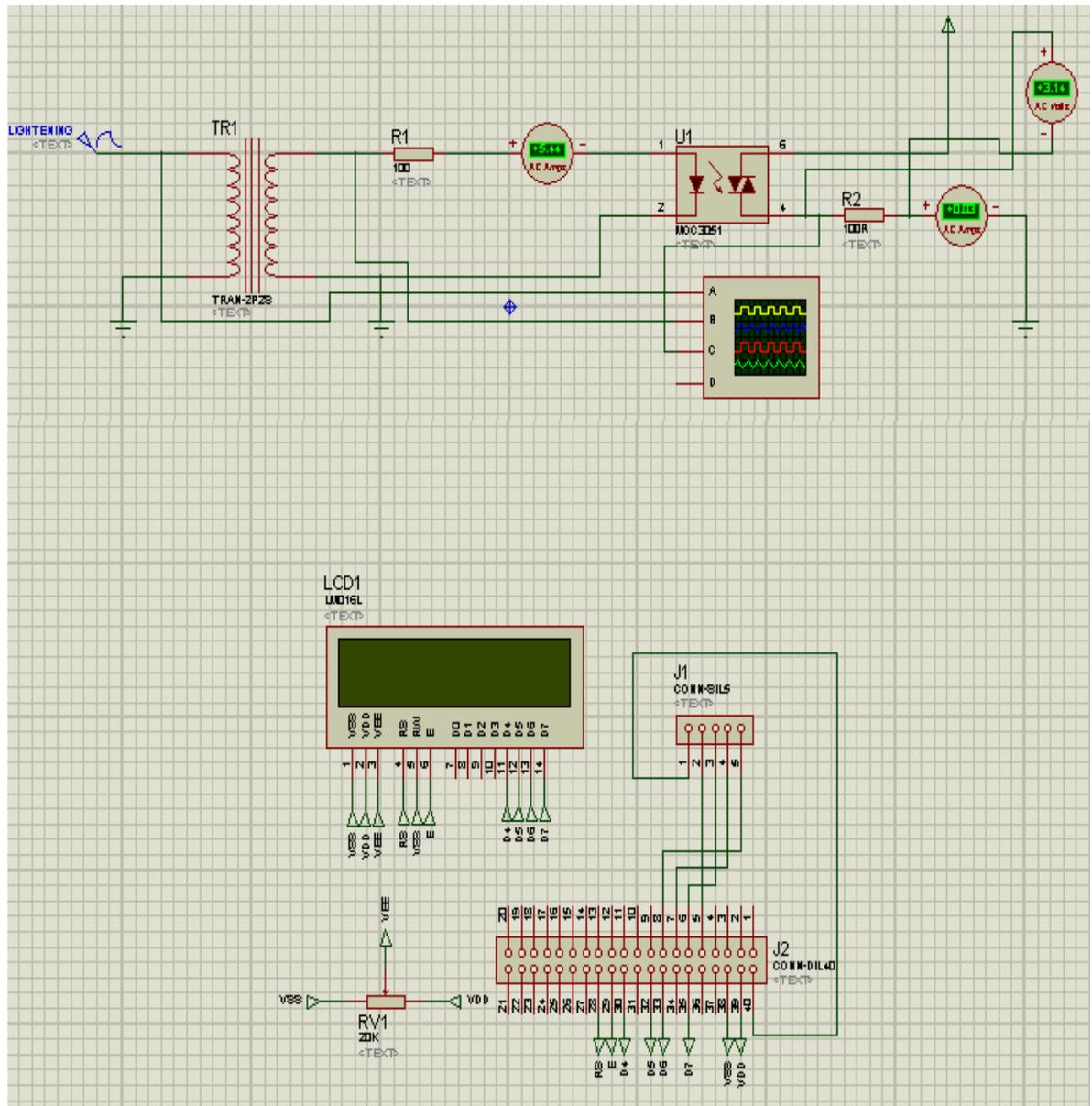
Potenciómetro de precisión



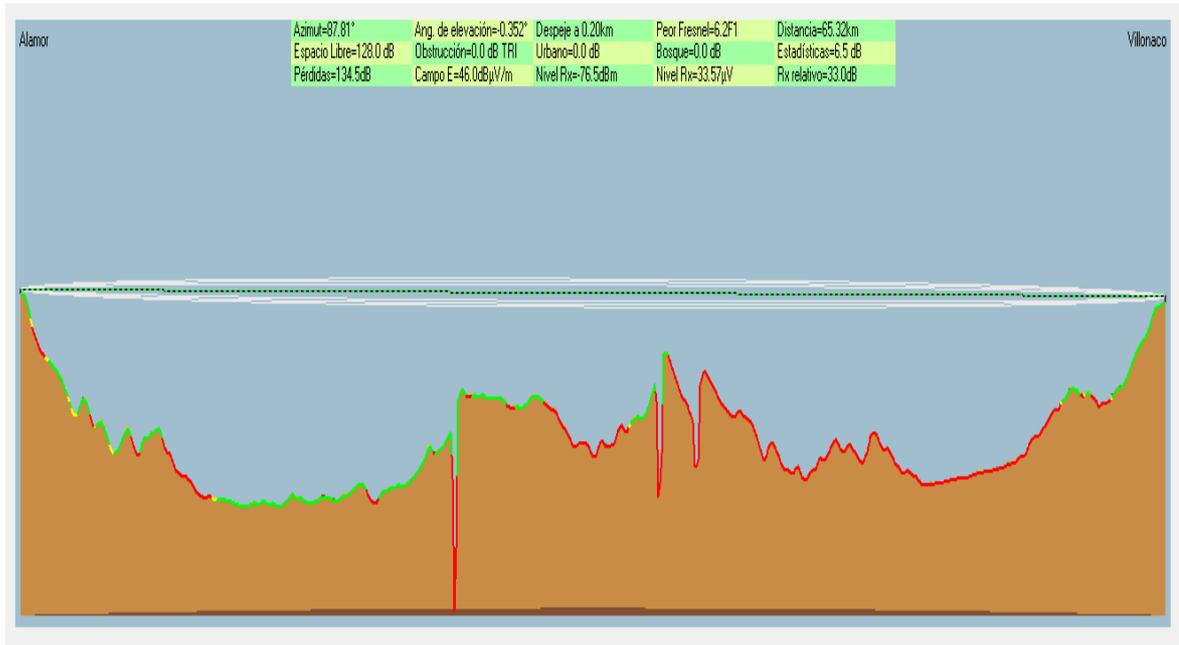
Circuito de construcción electrónico



Circuito total:



Simulación de enlace digital



Azimu=87.81°	Ang. de elevación=0.352°	Despeje a 0.20km	Peor Fresnel=6.2F1	Distancia=65.32km
Espacio Libre=128.0 dB	Obstrucción=0.0 dB TRI	Urbano=0.0 dB	Bosque=0.0 dB	Estadísticas=6.5 dB
Pérdidas=134.5dB	Campo E=46.0dBµV/m	Nivel Rx=76.5dBm	Nivel Rx=33.57µV	Rx relativo=33.0dB

Transmisor		Receptor	
Nombre del sistema Tx	Vilonaco - Alamor	Nombre del sistema Rx	Vilonaco - Alamor
Potencia Tx	1 W 30 dBm	Campo E requerido	13 dBµV/m
Pérdida de línea	1 dB	Ganancia de antena	15 dBi 12.8 dBd
Potencia radiada	PIRE=26.12 W PRE=15.32 W	Pérdida de línea	1 dB
Altura de antena (m)	30	Sensibilidad Rx	0.75µV -109.5 dBm
Altura de antena (m)	30	Altura de antena (m)	30

Red: Red 1

Frecuencia (MHz): Mínimo 915 Máximo 928

MANUAL DE USUARIO

DISPOSITIVO CONTADOR DE
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS



DARIO XAVIER GARCIA CASTILLO

INTRODUCCIÓN

El presente manual tiene como prioridad informar y guiar a cualquier persona ya sea esta una persona que visite la estación en el campo o se la monitoree de manera remota, sobre el correcto funcionamiento del dispositivo de descargas atmosféricas, adicionalmente se debe tomar en cuenta el manual de revisión de las protecciones atmosféricas, ya que se debe tomar en cuenta que este dispositivo es parte del conjunto de sistemas de protecciones contra descargas atmosféricas.

MANUAL DE USUARIO PARA LA UTILIZACION DEL DISPOSITIVO CONTADOR DE DESCARGHAS ATMOSFERICAS

1. Verificar que tanto el dispositivo como el equipo (PC o Laptop), se encuentren bajo el mismo segmento de red.
2. Mediante la aplicación VNC viewer, ingresar la IP correcta del equipo.
3. Insertar como nombre de usuario PI y la contraseña Raspberry para la autenticación, se tiene un máximo de 5 veces, caso contrario cerrar la pestaña y ejecutar nuevamente la aplicación.
4. Una vez que se ha ingresado al sistema operativo del dispositivo, buscar el archivo del programa phyton en documentos.
5. Es posible descargar el archivo a través de un flash memory en la cual se guarda
6. El programa permanece ejecutándose todo el tiempo y es posible su reinicio de manera manual y remota.
7. Descargarse estáticamente antes de manipular el dispositivo tocando algún metal
8. No manipular los parámetros del radio transmisor o receptor
9. Instalar el dispositivo dentro de la caseta de telecomunicaciones
10. En el caso de avería reemplazar únicamente el modulo averiado

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

- 1) Verificar visualmente el buen estado (que no contengan fallas visibles estructurales) de los cables de conexión del sistema de puesta a tierra.
 - a) Verificación visual del buen estado de los cables y conectores en caja de revisión principal.
 - b) Verificación visual del buen estado de los cables y conectores en las pletinas instaladas en la torre.
 - c) Verificar que los puntos de suelda se encuentren en buen estado, los cuales están ubicados en cada esquina de la caseta y al pie de la torre.
- 2) Utilizando un multímetro, realizar la prueba de continuidad en el sistema de puesta a tierra, para verificar que no se encuentre roto el cable en algún tramo.
 - a) Realizar la prueba de continuidad en la caja de revisión principal entre cada punto de conexión.
 - b) Realizar la prueba de continuidad en las pletinas de cobre instaladas en la torre, y cada punto de conexión.
- 3) Repetir el procedimiento del punto anterior, seleccionando en el multímetro la opción para medir la resistividad y verificar que el sistema se encuentre menor a 10Ω .
 - a) Si el sistema presenta valores mayores a 10Ω , en los sitios donde se encuentran las varillas verticales y los puntos de suelda alrededor de la caseta y en la torre, utilizar mejorador de suelos mezclado con agua.
- 4) Verificar que los anclajes que se encuentran instalados en la torre, para el cable del pararrayo se mantengan totalmente fijos, utilizando una llave No. 11.

Cronograma

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trabajo Paralelo	Nombres de los recursos	% completado	tri ab
1									
2		Desarrollar un dispositivo contador de descargas atmosféricas.	117 días	mar 01-05-18	mié 10-10-18	Formatos de tesis Uisrael	Darío García	100%	
3		Definir las condiciones de operación del dispositivo.	15 días	mar 01-05-18	lun 21-05-18	Estructuras de formatos	Darío García	100%	
4		Realizar consultas e investigación de los elementos a utilizarse	6 días	mar 01-05-18	mar 08-05-18	Índice	Darío García	100%	
5		Definición de tolerancias y valores máximos y mínimos	6 días	mié 09-05-18	mié 16-05-18	Índice	Darío García	100%	
6		Cotización de los elementos	3 días	jue 17-05-18	lun 21-05-18	Índice	Darío García	100%	
7		Diseñar el dispositivo captador de descargas atmosféricas y convertidor de pulsos digitales.	20 días	mar 22-05-18	lun 18-06-18	Tablas Gráficas Figuras	Darío García	100%	
8		Cálculos de valores máximos y mínimos de operación del diseño	15 días	mié 23-05-18	mar 12-06-18	Redacción Capítulos	Darío García	100%	
9		Simulación del circuito eléctrico captador	5 días	mié 13-06-18	mar 19-06-18	Redacción Capítulos	Darío García	100%	
10		Implementar un sistema electrónico de conteo de descargas atmosféricas mediante Raspberry Pi 3.	20 días	jue 21-06-18	mié 18-07-18	Redacción Capítulos	Darío García	100%	

Proyecto: Proyecto Titulación Is Fecha: sáb 25-08-18	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

Página 1

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trabajo Paralelo	Nombres de los recursos	% completado	tri 2 at
11		Investigación de puertos y parámetros de la tarjeta raspberry pi3	2 días	vie 22-06-18	lun 25-06-18	Redacción Capítulos	Dario García	100%	
12		Familiarización con los lenguajes de programación que contiene el sistema operativo de la tarjeta raspberri pi3	2 días	mar 26-06-18	mié 27-06-18	Redacción Capítulos	Dario García	100%	
13		Mediante software de programación python crear un programa que pueda contar las descargas	16 días	mié 27-06-18	mié 18-07-18	Redacción Capítulos	Dario García	100%	
14		Programación de una base de datos que contenga los datos de conteo en la Raspberry Pi 3.	7 días	sáb 21-07-18	lun 30-07-18	Redacción Capítulos	Dario García	100%	
15		A través de bibliotecas y comandos específicas generar un archivo de cada día con esta información y almacenarlo	7 días	sáb 21-07-18	lun 30-07-18	Tablas Gráficas Figuras	Dario García	100%	
16		Transmitir la información del registro de conteo de descargas atmosféricas remotamente a través de un enlace de radio frecuencia microondas.	10 días	jue 02-08-18	mié 15-08-18	Tablas Gráficas Figuras	Dario García, Instituto Geofísico	100%	

Proyecto: Proyecto Titulación Is Fecha: sáb 25-08-18	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha límite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
Hito inactivo		solo fin				

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Trabajo Paralelo	Nombres de los recursos	% completado	tri: at
17	✓	✦	Simulación de un enlace en RF a través de Radio Mobile	7 días	jue 02-08-18	vie 10-08-18	Conclusiones previas de cada etapa	Dario García, Instituto Geofísico	100%
18	✓	✦	Definición de parámetros principales de los radios a utilizarse	3 días	sáb 11-08-18	mar 14-08-18	Conclusiones previas de cada etapa	Dario García, Instituto Geofísico	100%
19	✓	✦	Configurar la aplicación de visualización remota mediante el software VNC viewer.	6 días	mié 15-08-18	mié 22-08-18	Conclusiones previas de cada etapa	Dario García	100%
20	✓	✦	Definir los parámetros de red y mascara para el acceso remoto	3 días	mié 15-08-18	vie 17-08-18	Conclusiones previas de cada etapa	Dario García	100%
21	✓	✦	Familiarización del software y otros métodos de acceso	3 días	sáb 18-08-18	mar 21-08-18	Conclusiones previas de cada etapa	Dario García	100%
22	✓	✦	Realizar pruebas de calibración y funcionamiento utilizando un generador de Vander Graff.	20 días	vie 24-08-18	jue 20-09-18	Bibliografías	Dario García, Instituto Geofísico	100%
23	✓	✦	Puesta en marcha para la simulación del generador de Vander Graff	15 días	vie 24-08-18	jue 13-09-18	Bibliografías	Dario García, Instituto Geofísico	100%
24	✓	✦	Conclusiones y Recomendaciones de las experiencias	5 días	vie 14-09-18	jue 20-09-18	Bibliografías	Dario García	100%

Proyecto: Proyecto Titulación Is Fecha: sáb 25-08-18	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha limite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA

(Resolución No. TEL-560-18-CONATEL-2010)

EL CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, CONATEL

Considerando:

Que, los artículos 261, 313 y 408 de la Constitución de la República determinan la potestad del Estado para administrar, regular, controlar y gestionar el espectro radioeléctrico como un sector estratégico, de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado; lo cual también se encuentra establecido en el artículo 47 del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, que señala que el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible;

Que, de conformidad con lo señalado en el artículo innumerado primero del artículo 10 de la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país;

Que la Nota 5.150 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, establece que las bandas 902 - 928 MHz, 2400 - 2500 MHz y 5725 - 5875 MHz están asignadas para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM);

Que como parte de las Resolución 229 de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2003 (CMR-03), celebrada en Ginebra, se estableció la utilización de las bandas 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz y 5470-5725 MHz para el servicio móvil para la implementación de Sistemas de Acceso Inalámbrico (WAS), incluidas las Redes Radioeléctricas de Área Local (RLAN);

Que el artículo 42, letra a) del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, establece que, *"El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho; "*

Que la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, permiten utilizar una baja densidad espectral de potencia, que minimiza la posibilidad de interferencia;

Que los sistemas de modulación digital de banda ancha pueden coexistir con sistemas de banda angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del espectro radioeléctrico;

Que, el artículo 2 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, promulgada en el Registro Oficial No. 691 de 9 de mayo de 1995, establece que el Estado Ecuatoriano a través del CONARTEL otorgará frecuencias o canales para radiodifusión y televisión, así como regulará y autorizará estos servicios en todo el territorio nacional, de conformidad con la ley;

Que, el literal b) del artículo innumerado quinto agregado a continuación del artículo 5 de la Ley de Radiodifusión y Televisión reformada, establece la facultad del CONARTEL de expedir reglamentos técnicos complementarios y demás regulaciones de esta naturaleza que se requieran para el cumplimiento de sus funciones;

Que, el Presidente Constitucional de la República en el artículo 1 del Decreto Ejecutivo No. 8 de 13 de agosto, publicado en el Registro Oficial 10 de 24 de agosto del 2009, crea el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, como el órgano rector del desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación, que incluyen las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico;

Que, el artículo 13 del referido Decreto Ejecutivo No. 8, fusiona el Consejo Nacional de Radio y Televisión CONARTEL al Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL;

Que el artículo 14 del citado decreto ejecutivo, dispone que, *"Las competencias, atribuciones, funciones, representaciones y delegaciones constantes en leyes, reglamentos y demás instrumentos normativos y atribuidas al CONARTEL serán desarrolladas, cumplidas y ejercidas por el CONATEL, en los mismos términos constantes en la Ley de Radiodifusión y Televisión y demás normas secundarias."* De igual manera, el artículo 19 establece que, *"Los derechos y obligaciones constantes en los convenios, contratos u otros instrumentos jurídicos, nacionales o internacionales vinculados en el CONARTEL, serán asumidos por la SENATEL. "*;

Que, según el artículo 30 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, los servicios y sistemas que se autoricen mediante registro no pagarán derechos de concesión;

Que, la Recomendación No. 18 del informe No. DA1-0034-2007 de 8 de noviembre del 2007, de la Contraloría General del Estado, establece: "Reformarán la norma de espectro ensanchado con el propósito de que los usuarios de la banda sean concesionarios de radiodifusión y televisión, sin garantizar la exclusividad de uso y con la prohibición de prestar servicios a terceros en concordancia con lo que establece la Ley Especial de Telecomunicaciones";

Que, el artículo 92 de la Ley Orgánica de la Contraloría General del Estado, las recomendaciones deben ser aplicadas de manera inmediata y con el carácter de obligatorio;

Que, los usuarios de sistemas de modulación digital de banda ancha no son concesionarios del espectro radioeléctrico; y,

En ejercicio de sus atribuciones,

Resuelve:

Expedir la siguiente: **NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA.**

Capítulo I

OBJETO, TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Art. 1.- **Objeto.**- La presente norma tiene por objeto regular la instalación y operación de sistemas de radiocomunicaciones (incluyendo radiodifusión sonora) que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha en los rangos de frecuencias que determine el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL.

Art. 2.- **Términos y definiciones.**- En todo aquello que no se encuentre definido técnicamente en el glosario de términos y definiciones de la presente norma, se aplicarán los términos y definiciones que constan en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, su reglamento general, la Ley de Radiodifusión y Televisión y su reglamento general, el Reglamento de Radiocomunicaciones y el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Capítulo II

DISPOSICIONES GENERALES Y NORMA TÉCNICA

Art. 3.- **Atribución.**- La atribución de los sistemas de modulación digital de banda ancha es a título secundario, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y en el Plan Nacional de Frecuencias.

Art. 4.- **Homologación.**- Todos los equipos que utilicen modulación digital de banda ancha deberán ser homologados por la Superintendencia de Telecomunicaciones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

Art. 5.- **Características de los sistemas de modulación digital de banda ancha.**- Los sistemas de modulación digital de banda ancha son aquellos que se caracterizan por:

a) Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional, y con un nivel bajo de potencia;

b)La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias;

c)Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias;

d)Coexistir con sistemas de banda angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del espectro radioeléctrico; y,

e)Operar en bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias.

Art. 6.- **Bandas de frecuencias.**- Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones (incluyendo radiodifusión sonora), que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

BANDA (MHz)

902 – 928

2400 - 2483.5

5150 – 5250

5250 – 5350

5470 – 5725

5725 – 5850

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de sistemas de modulación digital de banda ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente norma, previo estudio sustentado y emitido por la SENATEL.

Art. 7.- **Configuración de sistemas que emplean modulación digital de banda ancha.**-

La operación de los sistemas con técnicas de modulación digital de banda ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

Sistemas punto - punto.

Sistemas punto - multipunto.

Sistemas móviles.

La operación de los sistemas con técnicas de modulación digital de banda ancha para los sistemas de radiodifusión sonora, se aprobará únicamente en configuraciones punto -punto para enlaces auxiliares.

Art. 8.- **Características técnicas de los sistemas de modulación digital de banda ancha.**- Se establecen los límites de potencia para cada una de las bandas de acuerdo con el Anexo 1; así como los límites de emisiones no deseadas de acuerdo con el Anexo 2 de la presente norma.

Capítulo III

SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y SISTEMAS PRIVADOS

Art. 9.- **Competencia.**- El Secretario Nacional de Telecomunicaciones, por delegación del CONATEL, aprobará la operación de sistemas de modulación digital de banda ancha mediante la emisión de un certificado de registro.

Art. 10.- **Solicitud de registro.**- La SENATEL llevará un registro de los sistemas de modulación digital de banda ancha. Para la inscripción en este registro, los interesados en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar una solicitud con todos los requisitos para su aprobación dirigida a la SENATEL, cumpliendo con los datos consignados en el formulario técnico que para el efecto pondrá a disposición la SENATEL.

Art. 11.- **Certificados de registro.**- Una vez presentada la documentación y previo el análisis respectivo, la SENATEL procederá con la emisión del certificado de registro de los sistemas de modulación digital de banda ancha que será entregado al interesado, el cual incluirá la descripción del sistema registrado.

El certificado de registro será otorgado por la SENATEL, previo el pago de los valores establecidos en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de

Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, vigente a la fecha de registro, más los impuestos de ley.

Art. 12.- **Vigencia del registro.**- El certificado de registro para la operación de los sistemas de modulación digital de banda ancha tendrá una duración de cinco años y podrá ser renovado, previa solicitud del interesado, dentro de los treinta (30) días anteriores a su vencimiento.

De no darse cumplimiento a lo establecido en el párrafo anterior el certificado quedará anulado de manera automática, y el usuario o concesionario no estará autorizado para

operar el sistema.

Art. 13.- **Respecto de los sistemas de explotación.**- Cuando la aplicación que se dé a un Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha corresponda a la prestación de un servicio

de telecomunicaciones, el concesionario deberá contar con el título habilitante respectivo, de conformidad con la normativa vigente.

Art. 14.- **Respecto de los sistemas privados.**- Cuando la aplicación que se dé a un Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha corresponda a sistemas privados, es decir que se prohíbe expresamente el alquiler del sistema a terceras personas, el concesionario deberá obtener previamente el título habilitante respectivo, de conformidad con la normativa vigente.

Art. 15.- **Modificaciones.**- Los usuarios que requieran modificar la ubicación de sus sitios de transmisión o la información de las características técnicas registradas en la SENATEL, deberán solicitar previamente dicha modificación a la SENATEL a fin de que sea autorizada por la referida entidad.

Los usuarios que requieran interrumpir el proceso de registro de un "Certificado de Registro de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha", únicamente lo podrán realizar por voluntad del concesionario o usuario, expresada mediante solicitud escrita

dentro de las 48 horas posteriores a la solicitud original.

Art. 16.- **Responsabilidad.**- El usuario de sistemas de modulación digital de banda ancha es responsable de asegurar que las emisiones se encuentren dentro de la banda de frecuencias de operación y de cumplir con todas las condiciones técnicas especificadas en el certificado de registro, de conformidad con lo preceptuado en la presente norma.

Capítulo IV

ENLACES AUXILIARES DE RADIODIFUSIÓN SONORA

Art. 17.- **Competencia.**- El CONATEL, autorizará la operación de los enlaces auxiliares de modulación digital de banda ancha para los sistemas de radiodifusión sonora.

Art. 18.- **Solicitud.**- Los peticionarios o concesionarios de radiodifusión sonora interesados en instalar y operar enlaces auxiliares que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha, en cualquier parte del territorio nacional, deberán presentar la solicitud correspondiente al CONATEL, adjuntando todos los requisitos establecidos en el artículo 16 del Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión,

Art. 19.- **Autorización.**- Una vez presentada la documentación y previo los informes favorables emitidos por la SUPERTEL, el CONATEL autorizará la operación de los enlaces auxiliares de modulación digital de banda ancha, conforme lo dispone el artículo 14 de la Ley de Radiodifusión y Televisión, previo el pago de los valores establecidos en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, vigente a la fecha de registro, más los impuestos de ley, que deberán ser cancelados en la SENATEL.

La SUPERTEL suscribirá el título habilitante correspondiente, en el que se incluirá una disposición en la cual se señale que la asignación de frecuencias se realiza a título secundario.

Art. 20.- **Vigencia.**- La operación de enlaces auxiliares de radiodifusión sonora que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha, tendrá un periodo de autorización igual al establecido en el contrato de concesión de la frecuencia principal del servicio de radiodifusión sonora.

En caso de que la solicitud se realizara luego de iniciado el periodo de concesión del servicio de radiodifusión sonora, la vigencia de la autorización será hasta la fecha de

terminación de la concesión del servicio.

Art. 21.- **Modificaciones.**- Los concesionarios de frecuencias de radiodifusión sonora que requieran modificar las características técnicas de los enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha, deberán solicitar dicha modificación al CONATEL, para lo cual deben adjuntar el respectivo estudio de ingeniería los cuales serán autorizados por la SUPERTEL dentro de la misma banda y trayecto, y por el CONATEL si son a otra banda y/o trayecto.

Art. 22.- **Responsabilidad.**- Los concesionarios de radiodifusión sonora que se encuentren autorizados para el uso de enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, serán responsables de asegurar que las emisiones se encuentren dentro de la banda de frecuencias de operación y de cumplir con todas las condiciones técnicas especificadas en la autorización, de conformidad con lo preceptuado en la presente norma.

Art. 23.- **Prohibiciones.**- Para los enlaces auxiliares de radiodifusión sonora, queda expresamente prohibida la prestación de servicios a terceros a través de enlaces de modulación digital de banda ancha, la conexión a redes públicas y privadas; así como la transmisión de cualquier otro tipo de información que no corresponda al uso exclusivo de radiodifusión sonora.

Capítulo V

INTERFERENCIAS

Art. 24.- **Interferencia.**- Si un equipo o sistema ocasiona interferencia perjudicial a un sistema autorizado que está operando a título primario, aun si dicho equipo o sistema cumple con las características técnicas establecidas en los reglamentos y normas pertinentes, deberá suspender inmediatamente la operación del mismo. La operación no podrá reanudarse, hasta que la Superintendencia de Telecomunicaciones envíe un informe técnico favorable indicando que se ha subsanado la interferencia perjudicial.

Capítulo VI

CONTROL

Art. 25.- **Control.-** La Superintendencia de Telecomunicaciones realizará el control de los sistemas que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha y vigilará que estos, cumplan con lo dispuesto en la presente norma y las disposiciones reglamentarias pertinentes.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES

ANCHURA DE BANDA DE EMISIÓN: Para los propósitos de aplicación de la presente norma, la anchura de banda deberá ser determinada midiendo la densidad espectral de potencia de la señal entre dos puntos que estén 26 dB por debajo del nivel máximo de la portadora modulada a ambos extremos de la frecuencia central de portadora.

BANDA DE FRECUENCIAS ASIGNADAS: Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada.

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones, ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país.

DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA: La densidad espectral de potencia es la energía total de salida por unidad de ancho de banda de un pulso o secuencia de pulsos para los cuales la potencia de transmisión es al pico o el máximo nivel y dividida para la duración total de pulsos. Este tiempo total no incluye el tiempo entre pulsos durante el cual la potencia transmitida es nula o está bajo su máximo nivel.

DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA PICO: La densidad espectral de potencia pico es la máxima densidad espectral de potencia, dentro del ancho de banda específico de medición.

DENSIDAD MEDIA DE LA P.I.R.E.: La P.I.R.E. radiada durante la ráfaga de transmisión correspondiente a la potencia máxima, de aplicarse un control de potencia.

DFS (Dynamic Frequency Selection): Selección Dinámica de Frecuencia, es un mecanismo que dinámicamente detecta canales desde otros sistemas y permite una operación co-canal con otros sistemas tales como radares.

EMISIÓN FUERA DE BANDA: Emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales.

FRECUENCIA ASIGNADA: Frecuencia central de la banda de frecuencias asignadas a una estación.

FRECUENCIAS AUXILIARES: Las frecuencias auxiliares del servicio de radiodifusión y televisión: son las frecuencias atribuidas a los servicios fijo y móvil y que son necesarias para la operación y funcionamiento de las estaciones y sistemas de radiodifusión y televisión; estas frecuencias corresponden a los enlaces radioeléctricos entre estudio-transmisor, enlaces de conexión ascendente y descendente satelitales y entre estaciones repetidoras así como las frecuencias para operación remota;

INTERFERENCIA: Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

INTERFERENCIA PERJUDICIAL: Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.

LÍMITES DE EMISIONES NO DESEADAS: Se refiere a las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación.

MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA: Utilización de diferentes técnicas de modulación digital en una anchura de banda asignada con una densidad espectral de potencia baja compatible con la utilización eficaz del espectro; al permitir la coexistencia de múltiples sistemas en una misma anchura de banda.

P.I.R.E. (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente): Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a una antena isotrópica, en una dirección determinada.

POTENCIA PICO TRANSMITIDA: La potencia máxima transmitida medida sobre un intervalo de tiempo máximo de $30/B$ (donde B es la anchura de banda de emisión a 26 dB

de la señal en Hertz) o la duración del pulso transmitido por un equipo, se toma el valor que sea menor, bajo todas las condiciones de modulación.

POTENCIA TRANSMITIDA: Es la energía total transmitida sobre un intervalo de tiempo de hasta $30/B$ (donde B es la anchura de banda de emisión de la señal a 26 dB de la señal en Hertz) o la duración del pulso de transmisión, se toma el valor que sea menor, dividido para la duración del intervalo.

RADIODETERMINACIÓN: Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

RADIODIFUSIÓN SONORA.- Es el servicio de radiocomunicaciones cuyas emisiones sonoras se destinan a ser recibidas directamente por el público en general.

RLAN (Radio Local Área Network): Red Radioeléctrica de Área Local, que constituye una radiocomunicación entre computadores, aparatos electrónicos y dispositivos físicamente cercanos.

SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA:

Sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de codificación o modulación digital, cuyos equipos funcionan de conformidad con los límites de potencia y la densidad media de P.I.R.E. que se establecen en la presente norma, en las bandas de frecuencias que determine el CONATEL.

SISTEMA PUNTO - PUNTO: Sistema de radiocomunicación que permite enlazar dos estaciones fijas distantes, empleando antenas direccionales en ambos extremos, estableciendo comunicación unidireccional o bidireccional.

SISTEMA PUNTO - MULTIPUNTO: Sistema de radiocomunicación que permite enlazar una estación fija central con varias estaciones fijas distantes. Las estaciones fijas distantes emplean antenas direccionales para comunicarse en forma unidireccional o bidireccional con la estación fija central.

SISTEMA MÓVIL: Sistema de radiocomunicaciones que permite enlazar una estación fija central con una o varias estaciones destinadas a ser utilizadas en movimiento o mientras estén detenidas en puntos no determinados.

SENATEL: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, ente encargado de la ejecución de las políticas de telecomunicaciones en el país.

SUPERTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones.

TPC (Transmit Power Control): Control de Potencia Transmitida, es una característica que habilita a los equipos que operan en las bandas de la presente norma, para conmutar dinámicamente varios niveles de transmisión de potencia en los procesos de transmisión de datos.

WAS (Wireless Access Systems): Sistemas de Acceso Inalámbrico, el término de sistemas de acceso inalámbrico se aplicará a todas las tecnologías de radiocomunicación de banda ancha y baja potencia, en la cual la forma de acceso en que los usuarios obtienen un servicio de telecomunicaciones es mediante enlaces ópticos o de radiofrecuencia.

DISPOSICIONES FINALES

Deróguese la Norma para la Implementación y Operación de Enlaces de Radiodifusión Sonora utilizando sistemas de espectro ensanchado, emitida mediante Resolución 2584-CONARTEL-03 y publicada en el Registro Oficial 140 de 5 de agosto del 2003 y la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, emitida mediante Resolución 417-15-CONATEL-2005 y publicada en el Registro Oficial 143 de 11 de noviembre del 2005.

La presente resolución entrará en vigencia a partir de su publicación en el Registro Oficial y de su ejecución encárguese a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y a la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Dado en Quito, el 24 de septiembre del 2010.

ANEXOS

NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA

Anexo I

Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

Tipo de Configuración del Sistema	Bandas de Operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)
Punto-punto	902 - 928	500
Punto-multipunto		
Móviles		
Punto-punto	2400 - 2483.5	1000
Punto-multipunto		
Móviles		
Punto-punto	5150 - 5250	50 ⁱ
Punto-multipunto		
Móviles		
Punto-punto	5250 - 5350	--
Punto-multipunto		250 ⁱ
Móviles		
Punto-punto	5470 - 5725	250 ⁱⁱ
Punto-multipunto		
Móviles		
Punto-punto	5725-5850	1000
Punto-multipunto		
Móviles		

- (i) 50 mW o $(4 + 10 \log B)$ dBm, la que sea menor
- (ii) 250 mW o $(11 + 10 \log B)$ dBm, la que sea menor

N

Donde:

B es la anchura de emisión en MHz

i. Si la ganancia de la antena direccional empleada exclusivamente en los sistemas fijos punto - punto, punto - multipunto y que operan en la banda 2400 - 2483.5 MHz es superior a 6 dBi, deberá reducirse la potencia máxima de salida del transmisor, esto es 1 Watt, en 1dB por cada 3 dB de ganancia de la antena que exceda los 6 dBi.

ii. Cuando en las bandas de 5150 - 5250 MHz, 5250 -5350 MHz y 5470 - 5725 MHz, se utilicen en equipos con antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que superen la ganancia de la antena direccional que exceda los 6 dBi.

iii. Cualquier dispositivo que opere en la banda de 5150 - 5250 MHz deberá utilizar una antena de transmisión que sea parte integral del dispositivo.

iv. Dentro de la banda de 5150 - 5250 MHz y 5250 -5350 MHz, los dispositivos que emplean Modulación Digital de Banda Ancha que estuvieran restringidos a operaciones al interior de recintos cerrados, deberán contar con sistemas que dispongan de selección dinámica de frecuencia (DFS) de acuerdo a la Recomendación UIT-R M. 1652 sobre sistemas de acceso de radio incluyendo RLAN en 5000 MHz.

En estas bandas, la densidad espectral de la P.I.R.E. media no debe exceder 0.04mw/4kHz medida en cualquier ancho de banda de 4 kHz o lo que es lo mismo 10mW/MHz.

v. En las bandas de 5250 - 5350 MHz y 5470 - 5725 MHz los usuarios de sistemas móviles deben emplear controles de potencia en el transmisor capaces de garantizar una reducción media de por lo menos 3 dB de la potencia de salida media máxima de los sistemas o, en caso de no emplearse controles de potencia de transmisor, que la P.I.R.E. máxima se reduzca en 3 dB.

Los usuarios de sistemas móviles deberán aplicar las medidas de reducción de la interferencia que contempla la Recomendación UIT-R M.1652, a fin de asegurar un comportamiento compatible con los sistemas de radiodeterminación.

vi. En la banda de 5250 - 5350 MHz, los sistemas que funcionen con una P.I.R.E. media máxima de 1 W y una densidad de P.I.R.E. media máxima de 50 mW/MHz en

cualquier banda de 1 MHz, y cuando funcionen con una P.I.R.E.. media superior a 200 mW deberán cumplir con la densidad de P.I.R.E. de acuerdo a la Tabla No. 1 del presente anexo:

Densidad de P.I.R.E. dB (W/MHz)	Intervalo de θ
-13	$0^\circ \text{ } \theta < 8^\circ$
$-13-0.716^* (\theta < 8)$	$8^\circ \text{ } \theta < 40^\circ$
$-35.9-1.22^* (\theta < 40)$	$40^\circ \text{ } \theta < 45^\circ$
-42	$\theta > 45^\circ$

Donde

θ : Es el ángulo, expresado en grados, por encima del plano horizontal local (de la Tierra).

vii. Los sistemas que operen en la banda de 5725 - 5850 MHz pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi y de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

Si emplean ganancia direccional en la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda a los 23 dBi.

vii. Los equipos que emplean Modulación Digital de Banda Ancha que requieren autorización de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Radiocomunicaciones, deben cumplir con lo establecido en la Tabla No. 2 del presente anexo:

Equipos con Potencia (P)	Antenas	Áreas
$P < 100 \text{ mW}$	Directivas	Públicas o privadas
$P < 300 \text{ mW}$,	Exteriores	Privadas
$300 \leq P \leq 1000 \text{ mW}$,	Directivas o exteriores	Públicas o privadas

Anexo II

Límites de Emisiones no Deseadas en las Bandas de Operación de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha

Anexo 2

Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación deberán ser atenuadas de acuerdo con los siguientes límites:

a) En las bandas de 902-928 MHz y 2400-2483.5 MHz, para cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias de operación de los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, la potencia radiada por el equipo deberá estar al menos 20 dB por debajo de dicha potencia en el ancho de banda de 100 kHz que contenga el mayor nivel de potencia deseada; y,

b) En las bandas de 5150 - 5250 MHz, 5250 - 5350 MHz, 5470 - 5725 MHz y 5725 - 5850 MHz, deberán cumplir con lo establecido en la Tabla No. 3:

Banda de Operación (MHz)	Rango de frecuencias considerado (MHz)	P.I.R.E. para emisiones fuera de banda (dBm/MHz)
5150 - 5250	< 5150 > 5250	-27
5250 - 5350	< 5250 > 5350	-27
5470 - 5725	< 5470 > 5725	-27



CIEPI

Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos de Pichincha

CERTIFICADO

OTORGADO A:

GARCÍA CASTILLO DARÍO XAVIER

POR SU PARTICIPACIÓN Y APROBACIÓN EN EL CURSO
INTERNACIONAL DE:

**PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS
Y SOBRETENSIONES EN EDIFICACIONES**

REALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
DEL 27 AL 30 DE ABRIL DE 2015 CON UNA DURACIÓN DE 32 HORAS





ING. DANIEL JÁCOME
DIRECTOR DE CAPACITACIONES
CIEPI



DRC. OLGA SUSANA SUÁREZ HERNÁNDEZ
INSTRUCTORA (CUBA)
CUJAE