

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA PARA EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES ALIMENTADOS CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN DEL SUMAPAZ (CUNDINAMARCA)

WILLIAM ALEXANDER BONILLA DÍAZ

162214108

Auxiliar de investigación

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería electrónica

Fusagasugá, Colombia

2019

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA PARA EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES ALIMENTADOS CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN DEL SUMAPAZ (CUNDINAMARCA)

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
ingeniero electrónico

WILLIAM ALEXANDER BONILLA DÍAZ

162214108

Auxiliar de investigación

Director:

ING. CESAR AUGUSTO CASAS DÍAZ

Co-director:

ING. FAIDER HUMBERTO BARRERO SÁNCHEZ

Asesor:

ING. LEONARDO RODRÍGUEZ MUJICA

Línea de investigación:

ENERGIAS ALTERNATIVAS

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ingeniería

Programa de ingeniería electrónica

Fusagasugá, Colombia

2019

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fusagasugá __ de _____ del ____.

Ana María y José Israel

Esto es para ustedes

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a los dos seres que me dieron la vida y que han procurado de ella todos estos años; mis padres que me han demostrado el significado de la familia, el amor, la fuerza, el trabajo y el sacrificio.

Posteriormente quiero expresar mi gratitud a los ingenieros Cesar Augusto Casas Diaz, Faider Humberto Barrero Sánchez y Leonardo Rodríguez Mujica, por la ayuda que me brindaron, en el último paso para ser llamado al igual que ellos ingeniero electrónico.

Continuando, deseo manifestar mi gratitud a mis hermanos; mis modelos a seguir como personas y hombres desde que tengo memoria.

Agradezco a los docentes que hicieron parte de mi formación integral como profesional.

Es importante para mí, mencionar a quienes estaré eternamente agradecido por ser parte de mi vida, mis amigos: Lo(a)s ingeniero(a)s Hernández, Cubillos, Ramírez, Salamanca, Espinosa, Godoy, Amaya, Ricardo, Velásquez, Trujillo, Malaver, Mendoza, Naranjo, Espinel, Castañeda, Casallas, Peña, Chapetón, Duque, Flórez y Otálora.

Finalmente, pero no menos importantes doy gracias al resto de mis familiares, por brindarme esas palabras de apoyo y cariño a cada instante.

Resumen

Las energías renovables son una de las mejores opciones para la satisfacer las necesidades energéticas de poblaciones ubicadas en zonas rurales de la Provincia de Sumapaz, además, contribuyen a mitigar los efectos del calentamiento global, no obstante, la seguridad e integridad de las personas y los equipos asociados a las instalaciones eléctricas se han dejado de lado. Para este proyecto se desarrolla un sistema de protección eléctrica para equipos de telecomunicaciones alimentados con energías alternativas en la vereda San José del Chocho en el municipio de Silvania, basado en algunos factores de protección: protección contra descarga, protección contra rayos.

La investigación comprende cuatro fases principales donde cada una tiene una serie de actividades. La **primera fase** comprende la realización de un estado del arte y de la técnica sobre factores de protección: protección contra descarga, y protección contra rayos, además del diseño de una etapa de adquisición de datos donde fue necesario utilizar una tarjeta electrónica y sensores de instrumentación para leer las diferentes variables que presenta el sistema de suministro de energía. La **segunda fase** consistió en la realización del diseño e implementación del prototipo de pararrayos y puesta a tierra en la torre de comunicaciones. En la **tercera fase** se realizó la verificación de las medidas implementadas en la etapa anterior y sus capacidades para evitar siniestros en la población y los dispositivos. En la **cuarta fase** se recopilaron los resultados obtenidos en las etapas anteriores y se produjeron bienes de nuevo conocimiento y de apropiación social del conocimiento.

Glosario

AC. Corriente alterna: Variación de las cargas eléctricas en dirección y tiempo con cambios periódicos de Voltaje y Corriente.

AWG. Calibre de alambre estadounidense: Referencia de clasificación de calibres o espesor de elementos metálicos de sección circular (alambres) o rectangular (láminas).

Contacto directo: Contacto de personas o animales con partes activas de los materiales y equipos.

Contacto indirecto: Contacto de personas o animales domésticos con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

Corriente de cortocircuito, corriente de falla: Corriente anormalmente alta que fluirá a través del circuito cuando se presenta un fallo de aislamiento.

Corriente nominal: Intensidad de corriente que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales.

DAQ. Adquisición de datos: Toma de muestras del mundo real para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos.

DC. Corriente continua: Es una corriente constante, no varía el voltaje, se mantiene con respecto a la dirección y el tiempo.

Energía eólica: Energía que se toma del viento.

Energía fotovoltaica: Energía eléctrica obtenida mediante un dispositivo semiconductor, a partir de radiación solar.

Energías limpias: Sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación o la gestión mediante la que se deshace de todos los residuos peligrosos para el planeta.

Ethernet: Estándar de redes de área local para computadores.

GIGATT: Grupo de investigación en generación, apropiación y transferencia de tecnologías adscrito a la Universidad de Cundinamarca.

ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación: Organismo Nacional de Normalización de Colombia.

IEC. Comisión electrotécnica internacional: Organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

IER. Impulso electromagnético del rayo: Campo electromagnético generado por la corriente de rayo.

Nodo: Punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en la misma red.

NTC: Norma técnica colombiana emitida por ICONTEC.

Off grid. off-the-grid, OTG, fuera de la red, sin red o aislado o autónomo: Que no se está conectado a la red eléctrica principal o nacional.

Protección contra rayos: Medidas a ser adoptadas en el objeto a proteger con el fin de reducir el riesgo debido a rayos.

Puesta a tierra: Conexión de las superficies conductoras expuestas (gabinetes metálicos) a algún punto no energizado.

RETIE. Reglamento técnico de instalaciones eléctricas: es un documento técnico-legal para Colombia expedido por el ministerio de Minas y energía.

SIAMEL: Semillero de investigación en agrónoma, medioambiente y energías limpias, adscrito al grupo de investigación GIGATT de la universidad de Cundinamarca.

SIPRA. Sistema integral de protección contra rayos: Sistema integral usado para reducir los daños físicos que pueden ser utilizados por el rayo a un ser vivo o a una estructura.

SPE. Sistema de protección externa: Parte de un SIPRA que consiste en sistemas de puntas de captación, un sistema de bajantes y un sistema de puesta a tierra.

Tensión nominal: Voltaje que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales

UL. Underwriters Laboratories: consultoría de seguridad, certificación y normalización, presente en más de 46 países.

Wi-fi: es una tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.

Contenido

Nota de aceptación:	2
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
1. Capítulo 1 Contexto.....	13
2. Capítulo 2. Objetivos	16
2.1. Objetivo General	16
2.2. Objetivos específicos.	16
3. Capítulo 3. Marco de referencia.....	17
3.1. Estado del arte	17
3.1.1. A nivel institucional	17
3.1.2. A nivel nacional.....	17
3.1.3. A nivel internacional.....	18
3.2. Estado de la técnica	22
3.3. Fundamentos teóricos.....	23
3.3.1. Energías renovables.....	23
3.3.2. Dispositivos de protección	29
3.3.3. Puesta a tierra	30
3.3.4. Pararrayo.....	35
3.3.5. Adquisición de datos.....	37
4. Capítulo 4. Metodología	42
4.1. Primera fase: Reconocimiento de información existente.....	42
4.1.1. Estado del arte formas de protección eléctrica en sistemas fotovoltaicos y/o eólicos no conectados a la red nacional.....	43
4.1.2. Estado de la técnica dispositivos de protección eléctrica.	43
4.1.3. Identificación del sistema fotovoltaico instalado. (Visita).	43
4.1.4. Análisis de sensores y herramientas para un sistema de adquisición de datos.	46
4.1.5. Verificar y calibrar el funcionamiento de parámetros y requerimientos técnicos de los sensores.....	54

4.1.6.	Implementación de la etapa de adquisición de datos.	56
4.2.	Segunda fase: Diseño e implementación del sistema de protección eléctrica de la estructura y los equipos.	61
4.2.1.	Diseño sistema contra descarga.....	61
4.2.2.	Diseño sistema contra rayos	66
4.3.	Tercera fase: verificación del sistema	73
4.4.	Cuarta fase: realización de informes y actividades de apropiación social del conocimiento.	73
4.4.1.	Realización de informe final.....	73
4.4.2.	Participación socializaciones en espacios afines y participación en evento científico como ponente	73
5.	Capítulo 5. Análisis de resultados	75
5.1.	Análisis del estado del arte	75
5.2.	Funcionamiento del sistema de adquisición de datos.	75
6.	Presupuesto	77
8.	Referencias	79
	Apéndice 1: Diseño de la caja protectora.....	86
	Apéndice 2: Tabla de especificaciones panel fotovoltaico.	87
	Apéndice 3: Registros de adquisición de datos.....	87

Índice de Figuras

Figura 1. Infraestructura física de la red comunitaria en Bosachoque 2018.....	14
Figura 2 Esquema del sistema fotovoltaico instalado en la vereda San José.	15
Figura 3. Corriente contra voltaje en montaje de fotovoltaico de prueba bajo condiciones de exposición al sol y a la sombra.....	21
Figura 4. Efecto fotovoltaico.	24
Figura 5. Aerogenerador y sus partes.	27
Figura 6. Sistema de conexión a tierra TT.	31
Figura 7. Sistema de puesta a tierra TN-S	32
Figura 8. Sistema de puesta a tierra tipo TN-C.	32
Figura 9. Sistema de puesta a tierra IT.	33
Figura 10. Partes de un pararrayos.....	36
Figura 11. Partes de un sistema DAQ.....	37
Figura 12. Fases principales del proyecto.	42
Figura 13. Sistema de alimentación híbrida.	44
Figura 14. Instalación auxiliar del generador eólico.	45
Figura 15. Sensor de voltaje FZ0430.	47
Figura 16. Sensor de corriente ACS712-20A.	47
Figura 17. Sensor de Voltaje AC ZMPT101B	48
Figura 18. Arduino Mega 2560.....	50
Figura 19. Arduino Ethernet Shield R3.....	50
Figura 20. Sensor de dirección del viento.	51
Figura 21. Arreglo sensor infrarrojo.....	51
Figura 22. Diagrama de bloques general del sistema de telemetría (Datos).....	52
Figura 23. Diagrama del sistema central de telemetría integrado.	53
Figura 24. Funcionamiento ZBPT101B.	55
Figura 25. Diseño digital de la placa de adquisición de datos.....	57
Figura 26. Placa de adquisición de datos.....	58
Figura 27. Vista exterior de la etapa de adquisición de datos.	58
Figura 28. Etapa de adquisición de datos instalada en la caja de conexiones.....	59
Figura 29. Diagrama de conexiones Arduino-Node Mcu Lua.	60
Figura 30. Sistema protegido de alimentación nodo San José.	65
Figura 31. Puesta a tierra con varilla de cobre.	66
Figura 32. Análisis de riesgo para la estructura de San José del Chocho utilizando Software.	67
Figura 33. Resultados del análisis de riegos utilizando software.	68
Figura 34. Protección mediante ángulo de protección nivel IV.....	70

Figura 35. Sistema de alimentación nodo San José.	71
Figura 36. Cono de protección para un pararrayos de 13m de altura.	71
Figura 37 SPE, nodo San José.	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Protección de circuitos en módulo solar fotovoltaico.....	18
Tabla 2. Disposiciones de protección contra descargas eléctricas para generadores fotovoltaicos.	19
Tabla 3. Generalidades de cableado, protecciones y puesta a tierra.....	20
Tabla 4. Patentes sobre protección eléctrica.....	22
Tabla 5. Componentes de un sistema fotovoltaico.....	25
Tabla 6. Partes de un aerogenerador.....	28
Tabla 7. Denominación de esquemas de distribución.	31
Tabla 8. Relación entre el esquema y el ámbito.....	33
Tabla 9. Ventajas y desventajas TN, TT e IT.	34
Tabla 10. Alcance de la NTC 2050.....	38
Tabla 11. Alcance de la NTC 4552-1.	40
Tabla 12. Actividades de la primera fase.	42
Tabla 13. Dispositivos instalados en el nodo.....	45
Tabla 14. Parámetros de conexión red Wi-Fi de San José.	45
Tabla 15. Cuadro de cargas.	46
Tabla 16. Variables a monitorear.	46
Tabla 17. Descripción de posibles tarjetas para el sistema de telemetría.	48
Tabla 18. Evaluación de tarjetas electrónicas.	49
Tabla 19. Características de la Ethernet Shield W5100.	50
Tabla 20. Requerimientos de aplicación sensores externos.	56
Tabla 21. Cuadro de cargas final.	60
Tabla 22. Actividades de la segunda fase.....	61
Tabla 23. Capacidad de corriente para conductores de aparatos.	62
Tabla 24. Dimensionamiento de conductores y dispositivos de protección.....	63
Tabla 25. Actividades de la cuarta fase.....	73
Tabla 26. Actividades de apropiación social del conocimiento.....	74
Tabla 27. Presupuesto ejecutado.....	77

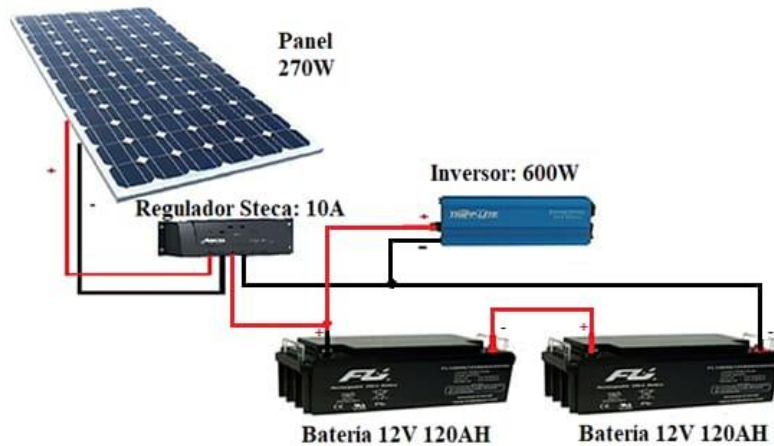
1. Capítulo 1 Contexto

El proyecto de investigación “**Desarrollo de un sistema de protección eléctrica para equipos de telecomunicaciones alimentados con energías alternativas en zonas rurales de la región del Sumapaz (Cundinamarca)**”, fue aprobado y financiado a través de convocatoria interna del semillero de investigación SIAMEL y el grupo de investigación GIGATT en mayo de 2018 y desarrollado por un estudiante vinculado en calidad de auxiliar de investigación.

Este proyecto se encuentra dentro del marco del macro proyecto de investigación de la Facultad de ingeniería “**Redes libres como alternativa de innovación social e inclusión digital en la vereda Bosachoque del municipio de Fusagasugá**”, cuyo objetivo principal fue construir una red digital inalámbrica de propiedad comunitaria, de libre acceso, auto-gestionada, haciendo uso de prototipos de bajo costo y energías renovables en la vereda Bosachoque del municipio de Fusagasugá como alternativa de inclusión digital y fortalecimiento de sus comunicaciones locales, fácilmente replicable por personas de cualquier población del país.

Por lo anteriormente expuesto, el proyecto a desarrollar da continuidad a sub-proyectos desarrollados por anteriores auxiliares de investigación de la Facultad de Ingeniería, principalmente los proyectos enfocados a la implementación y adecuación del sistema de energía fotovoltaica que actualmente está funcionando en la vereda San José del Chocho en el municipio de Sylvania (Cundinamarca), que geográficamente está ubicado en la latitud 4.372452 y longitud -74.429544. El sistema de energía mencionado, se encarga de alimentar la torre de telecomunicaciones que da soporte a los equipos de red y radio enlaces que hacen posible el envío de internet a los diferentes nodos ubicados en la vereda Bosachoque, esto se debe a que la torre de telecomunicaciones o nodo principal donde se encuentra la antena receptora Rocket M5 AC de Ubiquiti, se comunica con otra antena de las mismas características que funciona como transmisora y tiene la cobertura inicial del servicio de internet en la Universidad de Cundinamarca, dicha red puede verse en la Figura 1. El nodo principal también maneja una cobertura para la familia dueña del terreno donde está instalada la torre, y a su vez se encuentra una antena sectorial con apertura de 90° que transmite enlaces multipunto a los diferentes nodos ubicados en la vereda Bosachoque, que benefician de internet a más de veinte familias y a la Escuela primaria Bosachoque donde estudian más de cien niños (Casallas Bohorquez & Espinel Chacon, 2019).

Figura 2 Esquema del sistema fotovoltaico instalado en la vereda San José.



Fuente: Tomada y modificada de (Tobón Perdomo, 2018).

Para este proyecto se desarrolla un sistema de protección eléctrica para equipos de telecomunicaciones alimentados con energías alternativas (fotovoltaico y/o eólico) en la vereda San José del Chocho en el municipio de Silvania con el cual se espera se dé solución a los problemas de seguridad eléctrica, basado en algunos factores de protección: protección contra descarga y protección contra rayos. Además, la auxiliar de investigación Jenny Paola Flórez Matamoros ejecuta el paralelo el trabajo “Estudio de factibilidad técnica para la implementación de sistemas eólicos y/o híbridos en la vereda San José del Chocho - municipio de Silvania (Cundinamarca), a partir de un sistema de adquisición de datos-DAQ”.

2. Capítulo 2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de protección eléctrica para equipos de telecomunicaciones alimentados con energías alternativas en zonas rurales de la región del Sumapaz, Cundinamarca (Colombia).

2.2. Objetivos específicos.

- Analizar el estado del arte en lo relacionado con la protección eléctrica en sistemas de telecomunicaciones no acoplados a la red eléctrica nacional.
- Identificar el nivel de protección necesario para el nodo telecomunicaciones, altura y otros aspectos relevantes para uso de pararrayos y puesta a tierra, tales como morfología y composición.
- Desarrollar un sistema de protección eléctrica y puesta a tierra para una torre de telecomunicaciones que funcione para equipos alimentados por energías alternativas fuera de la red eléctrica nacional.
- Determinar la efectividad del sistema previamente diseñado e implementado.
- Generar escenarios para la apropiación social y el empoderamiento del buen uso de la tecnología.

3. Capítulo 3. Marco de referencia

3.1. Estado del arte

Una de las actividades necesarias para la realización de cualquier trabajo investigativo trata del análisis del estado del arte, una revisión a publicaciones indexadas en tres niveles: institucional, nacional e internacional. Los artículos consultados se seleccionaron bajo parámetros que subjetivamente se consideraron coherentes, entre los cuales se destaca el intervalo de publicaciones entre 2009 y 2019, como también, el tema del que trataban “protección eléctrica en sistemas fotovoltaicos y/o eólicos off grid”, la selección ese tópico se realiza en base a la aplicación del proyecto.

3.1.1. A nivel institucional

En la Universidad de Cundinamarca se han llevado a cabo algunas investigaciones que involucran la generación de electricidad a partir de energías alternativas, no obstante, los estudios relacionados con la energías fotovoltaicas como (Peña Cifuentes, 2019), (Cruz Pardo & Sanabria Pérez, 2018), (Escamilla Rojas & Romero Sánchez, 2017) y (Tobón Perdomo, 2018); no hacen ningún tipo de mención a su formas o métodos de protección, por otra parte, no existen estudios relacionados con la utilización de tecnologías eólicas.

3.1.2. A nivel nacional

Colombia es un gran país para la utilización de energías renovables como la fotovoltaica, por lo que se han llevado a cabo estudios relacionados a su aplicabilidad a lo largo y ancho de la nación, sin embargo, las formas de protección utilizadas no son mencionadas o se limitan al dimensionamiento del calibre de los conductores que se utilizan como en (Camacho Molina, 2012), donde se realizó un módulo móvil de 1000W y sus disposiciones de protección está dada por las establecidas por la NTC2050 (ICONTEC, 1998) en la sección 690, específicamente el enunciado “La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobre-corriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada.”; por lo cual se utilizaron 4 interruptores automáticos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Protección de circuitos en módulo solar fotovoltaico.

Circuito	Corriente Max (A) Corriente nominal * 125%	Protecciones (Interruptor automático)
Panel - Regulador	13,65	15A
Regulador - Batería	13,65	15A
Batería - Inversor	63	70A
Inversor – Carga	7	15A

Fuente: Tomada y modificada de (Camacho Molina, 2012).

La aplicación de puesta a tierra no tiene cabida en casos como el expuesto anteriormente pues esta requiere que el sistema este inmóvil. Por otra parte, cuando se utiliza en aplicaciones domiciliarias debería existir este tipo de conexiones, sin embargo, siguen sin aparecer en muchos casos, por ejemplo, en el municipio de La Mesa, Cundinamarca; donde la protección se basó en la utilización de 5 interruptores automáticos 2 en la etapa de alimentación y 3 en circuitos de que soportaban las cargas (Gomez Gil, 2018).

La NTC 2050 es utilizada también en (Rodriguez Manrique, Cadena Monroy, & Aristizábal Cardona, 2015), donde se realizó el diseño de un sistema solar residencial en Chía, Cundinamarca; además de utilizar los interruptores automáticos se hizo mención al uso de puesta a tierra cuando: en un sistema bifilar se manejan voltajes de más de 50V, y en sistemas trifilares el conductor neutro debe estar conectado sólidamente a tierra como también las estructuras metálicas que componen el sistema.

En (Ortiz, 2013), la escala de la aplicación es pequeña, pero hace énfasis en la necesidad de utilizar conductores con aislamiento doble o reforzado y el análisis de riesgos de contacto directo e indirecto dados por la RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas).

Respecto a las medidas de protección para la aplicación de energía eólica, no se encontraron estudios que se enfoquen en sus métodos de protección o hagan mención de estos, al menos no de origen colombiano, en las bases de datos consultadas.

3.1.3. A nivel internacional

Antes que nada, es necesario mencionar que la comunidad internacional reconoce la seguridad y la protección como un parámetro de constante mejora y monitoreo. Por lo cual trata como un tema muy importante y que muchas veces pasa desapercibido, según (Crow, Liggett, & Scott, 2018), la cultura de seguridad debe cambiarse para que la aplicación de las normas de seguridad se den cada vez de

manera más orgánicas dentro de cualquier organización, pues, la aceptabilidad de la cultura de seguridad es impulsada por la observación y la experiencia, esto se debe a que es esencial pensar en la protección de usuarios y equipo técnico por igual.

Entrando en materia, la utilización de diversos métodos de generación energética de baja contaminación ambiental como la energía solar fotovoltaica o la eólica en estos momentos está en auge y se utiliza tanto en pequeñas aplicaciones como en grandes centrales de energía alrededor del planeta (Carminati & Ragaini, 2015). No obstante, son tecnologías jóvenes que, si bien ya cuentan con varias normatividades, aún dejan muchas incógnitas en cuanto a las medidas de protección que deben utilizarse, para salvaguardar la integridad de los equipos que se alimentan de estas y las vidas de los usuarios, y demás personal que tienen contacto directo o indirecto con ellas. Uno de los estudios realizados en España deja en claro que en toda metodología de protección para producción fotovoltaica implica la optar medidas que impidan o reduzcan los daños producto de descargas eléctricas, rayos e incendios (Hernández & Vidal, 2009). Además de concluir que las protecciones contra descarga eléctrica varían dependiendo del sistema de puesta a tierra aplicado. Enfocando el hecho de solo aterrizar una de las etapas, la AC (desde el inversor hasta la carga) y utilizando un dispositivo de monitoreo de aislamiento. Cumpliendo así las disposiciones de protección directo e indirecto contra descarga eléctrica descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Disposiciones de protección contra descargas eléctricas para generadores fotovoltaicos.

Contacto directo (disposiciones básicas de protección)	Contacto indirecto (disposiciones de protección contra fallas)
Protección por aislamiento básico de partes vivas.	Protección por baja tensión extra.
Protección por baja tensión extra.	Protección mediante aislamiento reforzado de partes vivas.
Protección mediante aislamiento reforzado de partes vivas.	Protección por aislamiento suplementario de partes vivas.
	Protección por desconexión automática del suministro.

Fuente: Tomada y modificada de (Hernández & Vidal, 2009).

España es un país que cuenta con grandes políticas de uso de energías renovables especialmente energía solar, por lo cual existen varias organizaciones que promueven su uso a partir de manuales técnicos y normativas, por ejemplo, (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2009) en sus secciones 5.8 y 5.9 da algunos datos sobre el cableado, las protecciones y la puesta a tierra

respectivamente. La información más relevante al respecto se muestra en la Tabla 3.

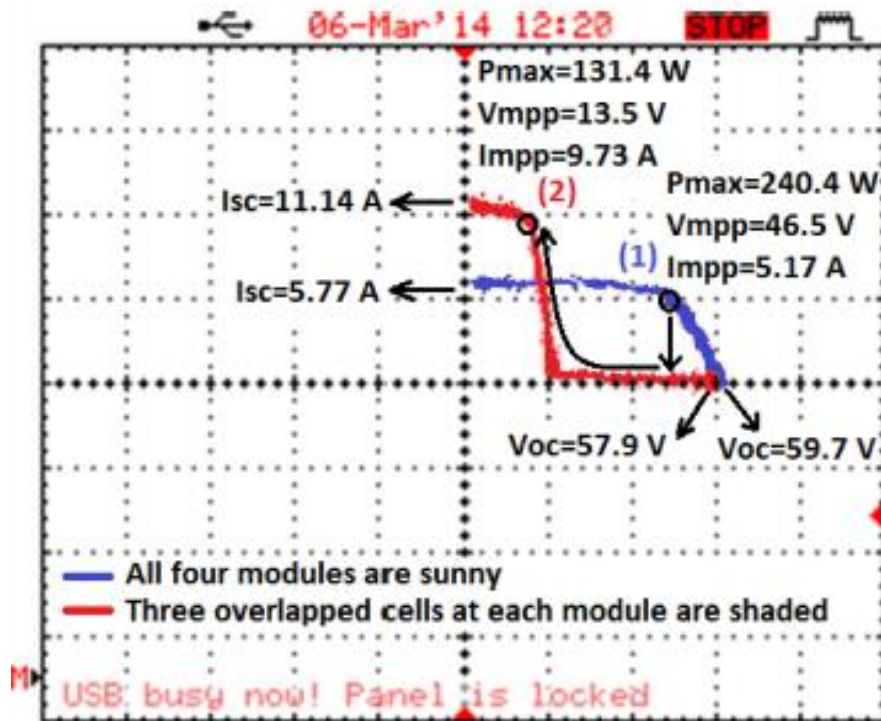
Tabla 3. Generalidades de cableado, protecciones y puesta a tierra.

Ítem	Contenido
Cableado	<ul style="list-style-type: none"> -Los conductores deben evitar la caída de tensión por lo que deben estar dimensionados al 1.5% de la tensión nominal. -Los positivos y negativos se conducirán separados, protegidos y señalizados.
Protecciones y puesta a tierra	<ul style="list-style-type: none"> -Todas las instalaciones de más de 48V contarán con una toma de tierra, donde estará conectada la estructura de soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos fotovoltaicos. -Debe contar con protección contra contacto directo e indirecto. -Debe estar protegida contra cortocircuito, sobrecarga y sobretensiones. -Las baterías deben contar con protección contra cortocircuito.

Fuente: Tomado y modificado de (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2009).

Por otra parte, en (Ziar, Farhangi, & Behzad, 2014), se analiza la existencias de condiciones que provocan el mal funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y que tan eficientes son los métodos de protección convencionales para salvaguardar los equipos cuando se presentan dichos episodios, los cuales se dan cuando se manejan campos fotovoltaicos cuyos paneles se conectan utilizando diodos de superposición y se presentan perfiles de sombreados en algunos de ellos generando sobre corriente entre ellos como se muestra en la Figura 3 donde observa que la corriente de corto circuito aumenta cuando hay 3 paneles a la sombra en contraste a cuando los 4 son iluminados generando corrientes altas que producen calor en los paneles y posteriores daños. Determinando así que es necesario un coeficiente de dimensionamiento de conductores 200% mayor o la utilización dispositivos de protección sobre corriente en cada ramal.

Figura 3. Corriente contra voltaje en montaje de fotovoltaico de prueba bajo condiciones de exposición al sol y a la sombra.



Fuente: Tomada de (Ziar, Farhangi, & Behzad, 2014).

Respecto a la protección contra rayos existen algunos estudios asiáticos que han enfocado sus esfuerzos en determinar qué tipo de puesta a tierra es mejor dependiendo de la configuración de los módulos solares, según se ensamblen individualmente o en grupos, este es el caso de (Ayub, Siew, & Peer Mohamed, 2018) donde se compararon los resultados para la conexión a tierra lateral con diferentes resistividades del suelo y se descubrió que las caídas de voltaje en el punto de conexión a tierra de un ensamblaje variaron significativamente, por lo que el mejor punto para el aterrizaje es en el costado del módulo.

Los sistemas de pararrayos pueden ser de dos tipos aislados y no aislados, la diferencia más evidente entre ambos radica en que el primero funciona sobre un mástil ubicado cerca de los paneles pero que no está conectado de ninguna forma a los módulos solares, por el contrario de un sistema no aislado el cual se ensambla sobre la estructura del panel y esta inherentemente acoplado a él por lo que comparten la misma tierra. Pero, dado que las razones de selección de alguno no eran claras hace algunos años en Italia (Charalambous, Kokkinos, & Christofides, 2014) se aunaron esfuerzos para crear una base para que ingenieros pudieran tener una primera herramienta para el diseño de sistemas de protección contra rayos,

concluyendo que sin importa el tipo de pararrayos la sección de corriente directa se debe proteger y aterrizar.

En Latinoamérica también se han realizado trabajos que permiten entender mejor la aplicación de sistemas híbridos, donde se usa la energía fotovoltaica y eólica al mismo tiempo, en Roraima, Brasil se aplicó un modelo energético de dicha naturaleza con el fin de alimentar luminarias, allí se aplicaron dos métodos de puesta a tierra IT para la sección de corriente continua y TT para la alterna, donde esta primera requirió aislar todas las partes vivas respecto a tierra y que las masas este conectadas a tierra (Fernández García, Gutiérrez Escribano, Madrona Seijas, & Sánchez Smith, 2014).

3.2. Estado de la técnica

Se estableció para la ejecución del ejercicio un espectro de diez años de modo que se establezca la capacidad actual, además para tener una cobertura mundial se realizó la búsqueda de patentes en las bases de datos Espacenet, WIPO (World International Property Organization). Los resultados de la búsqueda de patentes se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Patentes sobre protección eléctrica.

Nombre patente	Inventor(es)	Estado	Descripción
Pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección de rayos	Rehm Wolfgang Dr.; Baars Peter	Publicada	Pala de rotor de turbina eólica con un conductor de protección de rayos y con otra línea eléctrica, que está separada galvánicamente del conductor de protección de rayos.
Pararrayos y una línea de transmisión de potencia proporcionada con dicho pararrayos	Podporkin Georgy Viktorovich; Kalakutsky Evgeny Sergeevich	Publicada	Un pararrayos para protección contra relámpagos de elementos de instalaciones eléctricas o de una línea de energía eléctrica, en que el pararrayos comprende un cuerpo aislante hecho de un dieléctrico sólido.
Interruptor térmico de protección	Koops Dietmar; Schneider Ewald; Ullermann Wolfgang	Publicada	Interruptor de protección con disparo térmico destinado a proteger a un consumidor en caso de sobre-corriente.
Procedimiento de carga de una	Klein, Jean- Marie	Publicada	Procedimiento de carga de una batería de acumuladores

batería de acumuladores electroquímicos y dispositivo de regulación de la carga	Desmouliere, Jean-Baptiste Zara, Henri		electroquímicos, concretamente una batería de litio, y a un dispositivo de regulación de la carga de la batería.
Nueva protección eléctrica con tiempo de retardo dependiente de una magnitud regulada.	Arteche, Instrumentación Y Sistemas Electrónicos SA	Publicada	Protección eléctrica con tiempo de retardo, dependiente de una magnitud regulada, destinada a la protección de líneas y dispositivos eléctricos frente a la aparición de una perturbación que puede consistir en una sobre-intensidad.
Procedimiento para el control de una instalación de energía eólica	Giertz, Helge De Boer, Wolfgang	Publicada	Instalación de energía eólica y un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica.
Métodos y sistemas para reducir el impacto de un cortocircuito de generador en una turbina eólica	Donescu, Víctor Helle, Lars	Publicada	Métodos y sistemas para reducir el impacto de un arco o cortocircuito de generador en un generador de turbina eólica.
Un circuito para la protección contra sobrecargas de un regulador de tensión continua.	Standard Eléctrica, S. A.	Publicada	Circuito para la regulación de una tensión continua por medio de un transistor de regulación dispuesto en el ramal serie y estando continuamente controlado por la desviación en el control de la tensión de carga a partir de un valor determinado

Fuente: Tomada y modificada de (WIPO, 2019) y (Spacenet, 2019).

3.3. Fundamentos teóricos

3.3.1. Energías renovables

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de lo que existen unas determinadas cantidades, agotables en

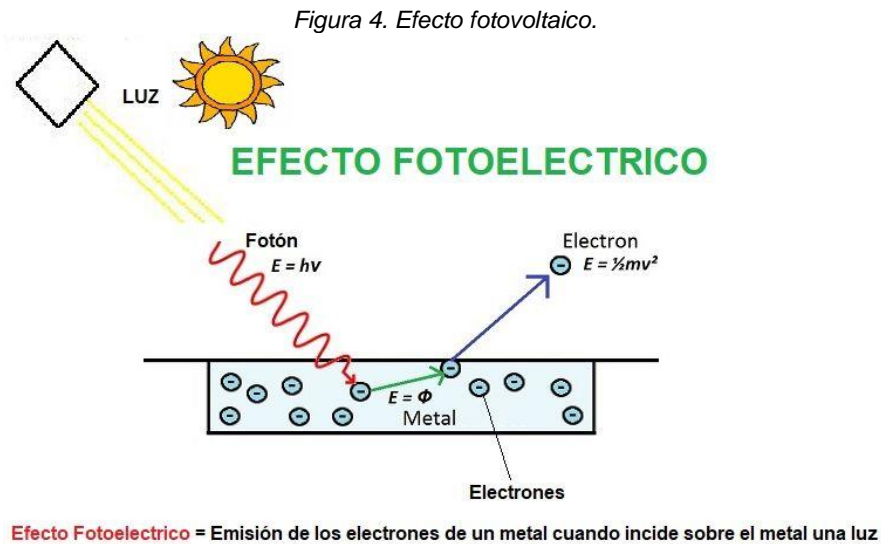
un plazo más o menos determinado. Las principales formas de energías renovables son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008).

3.3.1.1. Energía solar

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. la luz del Sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica (Wikipedia, 2019).

3.3.1.2. Efecto fotovoltaico.

El Efecto Fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV pueden ser reflejados o absorbidos como se muestra en la Figura 4. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad (Barbera Santos, 2019).



Fuente: Tomada de (Tecnología, 2019).

3.3.1.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable que se crea tras la transformación directa de la radiación y la luz procedente del sol en electricidad. Esta transformación es posible gracias a unos dispositivos llamados paneles

fotovoltaicos, que hacen que la radiación solar incida en las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del Sol incide en una de las caras de la célula solar genera una corriente eléctrica. La fabricación de células fotovoltaicas es un proceso costoso, tanto económicamente como en tiempo. El silicio con el que se fabrican las células fotovoltaicas es un material muy abundante en la Tierra. Sin embargo, el procesamiento del silicio es laborioso y complicado (Peña Cifuentes, 2019).



3.3.1.4. Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico, en términos sencillos, es la agrupación y trabajo en conjunto de ciertos componentes eléctricos como el que se aprecia en la Figura 2, para lograr la transformación de la energía solar en energía eléctrica utilizable para cualquier aparato o dispositivo eléctrico convencional de una casa, un negocio o inclusive una industria (SDEmx, 2019). Los sistemas fotovoltaicos se clasifican en autónomos cuando la carga está aislada de la red eléctrica convencional e interconectados cuando están acoplados a la red.

3.3.1.5. Componentes de un sistema fotovoltaico

Los elementos que conforman un sistema fotovoltaico se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Componentes de un sistema fotovoltaico.

Nombre	Descripción	Ilustración
Panel Solar	constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.	
Regulador de carga	El regulador de carga dirige y controla la cantidad de energía que discurre entre la batería y los módulos fotovoltaicos.	

Baterías Las baterías para energía solar o acumuladores son los encargados del almacenamiento energético, para poder suministrar energía independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese preciso momento (como por ejemplo por la noche y en días nublados).



Inversor Un inversor de corriente es un aparato electrónico. La función del inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario. Los inversores utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para ordenadores, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia.



Fuente: Tomada y modificada de (Autosolar, 2019), (Autosolar, 2019), (Blog Tecnosol, 2019) y (Energía solar, 2019).

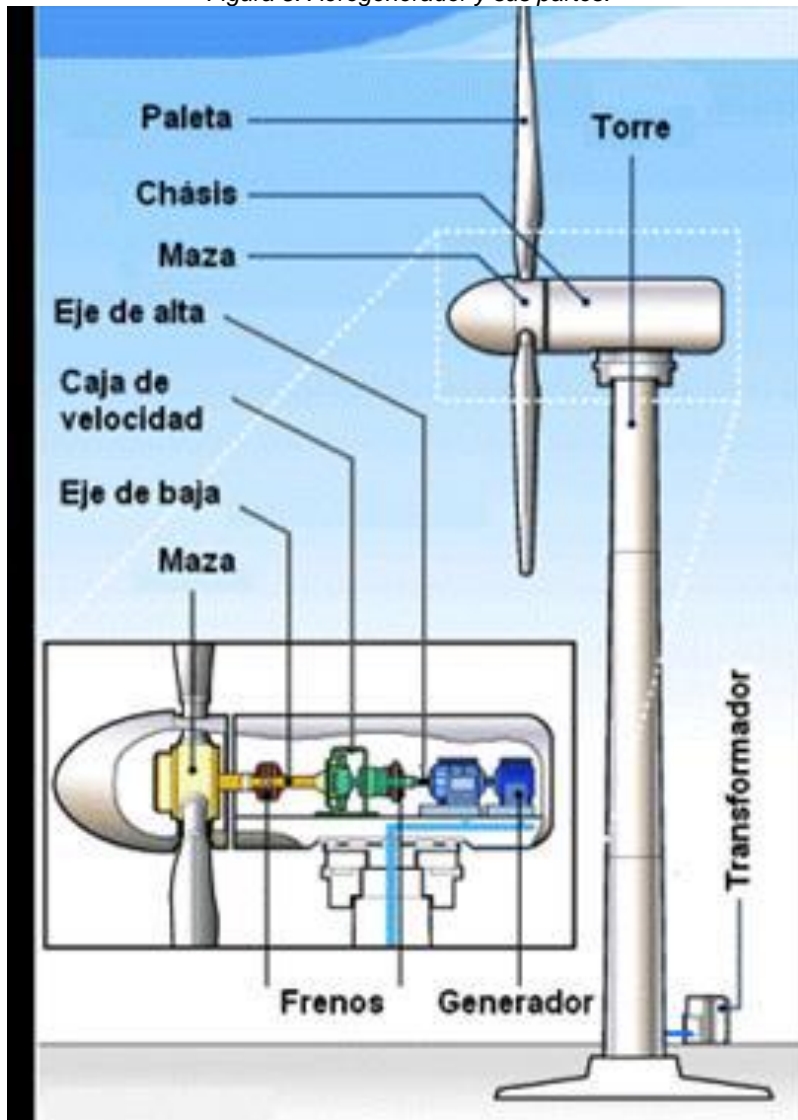
3.3.1.6. Energía eólica

La energía eólica es la energía que se obtiene del viento o, dicho de otro modo, es el aprovechamiento de la energía cinética de las masas de aire que puede convertirse en energía mecánica y a partir de ella en electricidad u otras formas útiles de energía para las actividades humanas (Wikipedia, 2019). La energía del viento se aprovecha mediante el uso de máquinas eólicas o aeromotores capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable para la producción de energía eléctrica.

3.3.1.7. Aerogenerador

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica, esta clase de dispositivos cuenta con la capacidad de orientación automática para adaptarse a la dirección del viento y aprovechar al máximo la energía cinética de las corrientes de aire, que hacen girar sus palas y transfiere la energía a un generador acoplado a estas, es este último el que genera energía eléctrica. En la Figura 5 puede apreciarse un aerogenerador y sus partes.

Figura 5. Aerogenerador y sus partes.



Fuente: Tomada de (Fuentes de energía, 2019).

3.3.1.8. Partes de un aerogenerador

Las partes de un aerogenerador pueden verse en la Tabla 6.

Tabla 6. Partes de un aerogenerador.

Parte	Descripción
Torre	Es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea. Está construida sobre una base de hormigón armado (cimentación) y fijado a ésta con pernos. La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para aguantar todo el peso y los esfuerzos del viento. En su base está generalmente el armario eléctrico, a través del cual se actúa sobre los elementos de generación y que alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola, así como el transformador que eleva la tensión.
Rotor	Este elemento capta la energía del viento y la convierte en mecánica. El rotor está conformado por tres partes fundamentales: las palas (capturan la energía contenida en el viento), el eje (transmite el movimiento giratorio de las palas) y el buje (fija las palas al eje de baja velocidad).
Palas	Recibe la fuerza del viento sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento.
Góndola	Es la estructura en la que se resguardan los elementos básicos de transformación de la energía, es decir: multiplicador, eje del rotor, generador y sistemas auxiliares.
Multiplicador	Es un elemento conectado al rotor que multiplica la velocidad de rotación del eje (unas 50 veces) para alcanzar el elevado número de revoluciones que necesitan las dinamos y los alternadores.
Sistema hidráulico	Utilizado para restaurar los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

Eje de alta velocidad	Gira aproximadamente a 1.500 revoluciones por minuto (r.p.m.), lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.
Generador	La función del generador es transformar la energía mecánica en energía eléctrica.
Mecanismo de orientación	Activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta. Normalmente, la turbina sólo se orientará unos pocos grados cada vez, cuando el viento cambia de dirección.
Controlador eléctrico	Tiene un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador.
Unidad de refrigeración	Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además, contiene una unidad de refrigeración de aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores enfriados por agua.

Fuente: Tomada y modificada de (Fuentes de energía, 2019).

3.3.2. Dispositivos de protección

Son dispositivos que protegen al circuito donde se utilizan de sufrir sobrecargas de tensión, así como, al personal de sufrir algún tipo de daño. Se entienden como parte importante de una instalación eléctrica, son los elementos de protección como los interruptores termo-magnéticos (o fusibles) y los interruptores diferenciales (interruptor de circuito por falla a tierra).

3.3.2.1. Fusible

También llamado interruptor termo-magnético son dispositivos de protección del tipo térmico y magnético, es decir, protegen al sistema contra sobrecarga y cortocircuito,

respectivamente. Las funciones principales de estos interruptores son: conexión, protección, seccionamiento y control.

3.3.2.2. Interruptor diferencial

Dispositivo eléctrico que tiene como función es desconectar la instalación eléctrica de forma rápida cuando exista una fuga a tierra, con lo que la instalación se desconectará antes que alguien toque el aparato averiado. En el caso que una persona toque una parte activa, el interruptor diferencial desconectará la instalación en un tiempo lo suficientemente corto como para no provocar daños graves a la persona.

La instalación del interruptor diferencial no sustituye alguna de las otras medidas que se deben tomar para evitar contactos directos o indirectos.

3.3.2.3. Dimensionamiento de dispositivos de protección

Según la organización Underwriters Laboratories, empresa internacional especializada en normativas de seguridad (Wiles, 2019), los dispositivos de protección deben cumplir con la condición descrita en la Ecuación 1.

$$Ampacidad(I_n) = I_n * 125\%$$

Ecuación 1.

Dónde: *Ampacidad* es la corriente máxima permitida por el dispositivo, dada en función de I_n es la corriente máxima que demanda una máquina para funcionar en condiciones normales, también conocida como corriente nominal. La Ecuación 1 de igual manera está respaldada por la norma técnica colombiana 2050 en la sección 690-8-a.

3.3.3. Puesta a tierra

Es la conexión de las superficies conductoras expuestas (gabinetes metálicos) a algún punto no energizado; comúnmente es la tierra sobre la que se posa la construcción, de allí el nombre. Las puestas a tierra se emplean en las instalaciones eléctricas como una medida de seguridad. En caso de un fallo donde un conductor energizado haga contacto con una superficie conductora expuesta o un conductor ajeno al sistema hace contacto con él, la conexión a tierra reduce el peligro para humanos y animales que toquen las superficies conductoras de los aparatos. Dependiendo del sistema, el fallo puede provocar que se desconecte el suministro por un interruptor termo-magnético, un interruptor diferencial o un dispositivo monitor del aislamiento (Wiles, 2019).

Los sistemas de puesta a tierra varían según su esquema de distribución, estos se establecen en función de las conexiones a tierra del sistema de alimentación y a la masa de la instalación receptora.

Para la denominación de esquemas de distribución se utiliza código de letras, que se presenta en la Tabla 7.

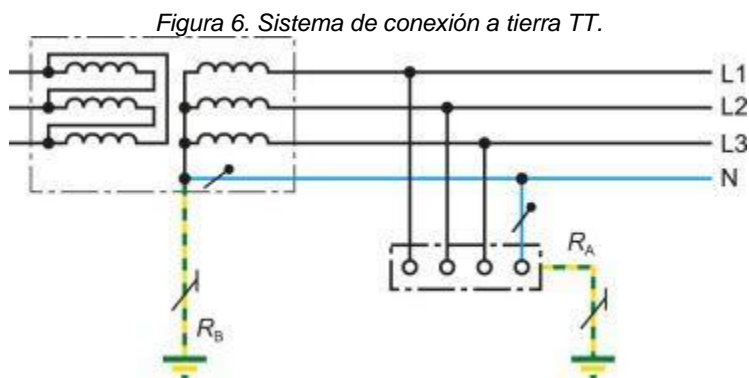
Tabla 7. Denominación de esquemas de distribución.

	Letra	Significado
Primera letra	T	Conexión directa de un punto de alimentación a tierra.
	I	Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.
Segunda letra	T	Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.
	N	Masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, este punto es normalmente el punto neutro).
Letras eventuales	S	Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.
	C	Las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN).

Fuente: Tomada y modificada de (Ministerio de ciencia y tecnología, 2019).

3.3.3.1. Sistema de puesta a tierra TT

En los sistemas TT existe un punto puesto a tierra directamente (puesta a tierra de servicio) como se ve en la Figura 6. Las masas de la instalación eléctrica están conectadas a tomas de tierra independientes eléctricamente de las tomas de tierra para la puesta a tierra del sistema.



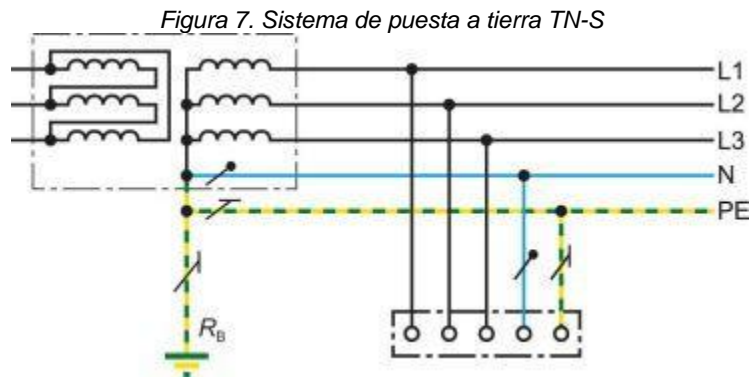
Fuente: Tomada de (BLENDER, 2019).

3.3.3.2. Sistema de puesta a tierra TN

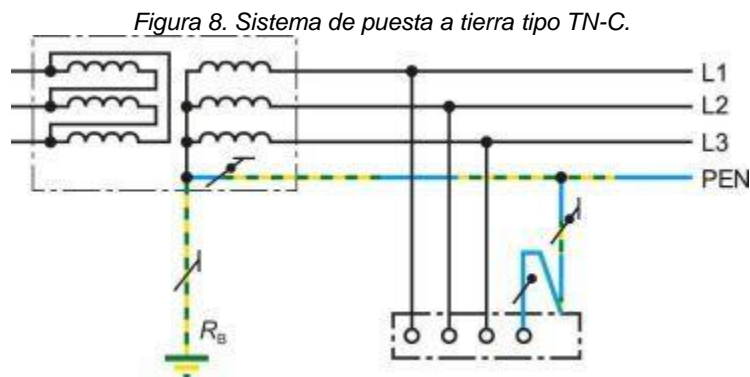
En los sistemas TN existe un punto puesto a tierra directamente y las masas de la instalación eléctrica están conectadas a este punto mediante conductores de protección.

Es posible diferenciar tres tipos de sistemas TN en función de la asignación del conductor- neutro y el conductor de protección:

- TN-S: Se utiliza un conductor de protección separado en todo el sistema, ver Figura 7.
- TN-C: Las funciones del conductor neutro y del conductor de protección están combinadas en un único conductor en todo el sistema, se puede apreciar su configuración en la Figura 8.
- TN-C-S: En una parte del sistema, las funciones del conductor neutro y del conductor de protección están combinadas en un único conductor.



Fuente: Tomada de (BLENDER, 2019).



Fuente: Tomada de (BLENDER, 2019).

3.3.3.3. Sistema de puesta a tierra IT

En los sistemas IT, todos los conductores activos están separados de tierra o un punto está puesto a tierra con una impedancia, lo que se puede ver en la Figura 9. Esto hace que, en caso de fallo de aislamiento, solo pueda circular una corriente de fallo pequeña, originada principalmente por la capacidad de derivación de la red. Los fusibles conectados en serie no se disparan. Asimismo, se conserva el suministro de corriente incluso en caso de contacto a tierra unipolar y directo.

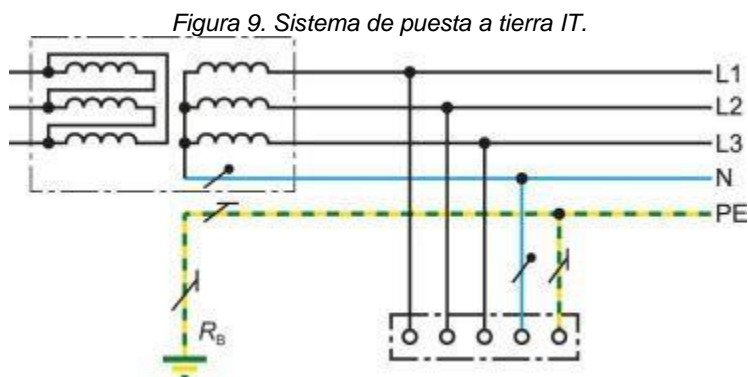


Figura 9. Sistema de puesta a tierra IT.

Fuente: Tomado de (BLENDER, 2019).

3.3.3.4. Ventajas y desventajas de los esquemas de puesta a tierra

Los esquemas de puesta a tierra, según el reglamento electrotécnico para baja tensión de España determina que deben utilizarse dependiendo de la aplicación que se pretende instalar (Ministerio de ciencia y tecnología, 2019), en la Tabla 8 se muestran los ámbitos en los que deben utilizarse.

Tabla 8. Relación entre el esquema y el ámbito.

Esquema	Ámbito
TT	Red de suministro público y sus conexiones:
	Usos domésticos Establecimientos de sector terciario
IT	Parte de zonas hospitalarias (quirófanos, UVI)
	Circuitos de seguridad (alumbrado de reemplazamiento y emergencia) Máquinas y ambientes especiales
IT o TT	Minas o canteras

Fuente: Tomada de (Sistemas eléctricos en centrales, 2019).

La Tabla 8 presenta una serie de aplicaciones en las que los esquemas TT e IT pueden ser aconsejables técnicamente, no obstante, la NTC 2050 dice que siempre y cuando las instalaciones estén debidamente protegidas puede utilizarse cualquiera de ellos. Por tanto, se presenta la Tabla 9 que muestra principios de

protección contra contacto indirecto en cada sistema, junto con las ventajas y desventajas que implican su utilización.

Tabla 9. Ventajas y desventajas TN, TT e IT.

Principio General	Ventaja	Inconveniente
Esquema TT		
Detección de una corriente de defecto con paso por tierra y corte de la alimentación mediante dispositivos de corriente diferencial	<ul style="list-style-type: none"> -Sencillez. -Aplicación sin cálculo de longitudes. -Corrientes de falla débiles. -Escaso mantenimiento. -Seguridad de las personas en caso de alimentación de aparatos portátiles o de conexión a tierra deficiente (diferencias iguales o mayores a 30mA). -Funcionamiento con fuente de corriente de cortocircuito presuntamente reducida. 	<ul style="list-style-type: none"> -No existe selectividad en caso de automático único en cabeza de la instalación. -Necesidad de diferenciales en cada salida para poder obtener la selectividad horizontal. -Riesgo de activaciones repentinas. -Interconexiones de las masas a una sola toma de tierra (instalaciones extensas), o necesidad de diferencial por grupo de masas. -Nivel de seguridad dependiente del valor de las tomas de tierra.
Esquema TN		
La corriente de defecto se transforma en corriente de cortocircuito interrumpida por los dispositivos de protección contra sobrecorrientes. Las masas se mantienen al potencial de tierra.	<ul style="list-style-type: none"> -Costo reducido (las protecciones se utilizan para las corrientes de defecto y las de sobreintensidades). -La toma de tierra no influye en la seguridad de las personas. -Baja susceptibilidad a las perturbaciones (buena relación equipotencial, neutro conectado a tierra). -Poco sensible a corrientes de fuga elevadas (aparatos de calefacción, de vapor, informáticos). 	<ul style="list-style-type: none"> -Corrientes de defecto elevadas (generación de perturbaciones y riesgos de incendio, especialmente en TN-C) -Necesidad de cálculos de línea precisos -Riesgos en caso de ampliaciones, renovaciones o utilizaciones no controladas (personal competente).

Esquema IT

La limitación de la corriente de 1º defecto a un valor muy bajo, disminuye el incremento de potencial de las masas. Por lo tanto, no hay necesidad de corte.	-Continuidad del servicio (sin cortes en la 1º defecto) -Corrientes de 1º defecto muy bajas (protección contra incendio) -Corriente de defecto poco perturbadora -Funcionamiento con fuentes de corriente de cortocircuito presuntamente reducida (grupo electrógeno) -Alimentación de receptores sensibles a corrientes de defecto (motores).	-Costo de la instalación (neutro protegido, CPA, protección sobretensiones). -Costo de explotación (personal competente, localización de defectos). -Sensibilidad a las perturbaciones (mala relación equipotencial con tierra). -Riesgos en el 2º defecto: *sobreintensidades de cortocircuito. *perturbaciones (incremento del potencial de tierra). *aparición de una tensión compuesta (si el neutro está distribuido).
--	--	---

Fuente: tomada y modificada de (Scribd, 2013).

3.3.4. Pararrayo

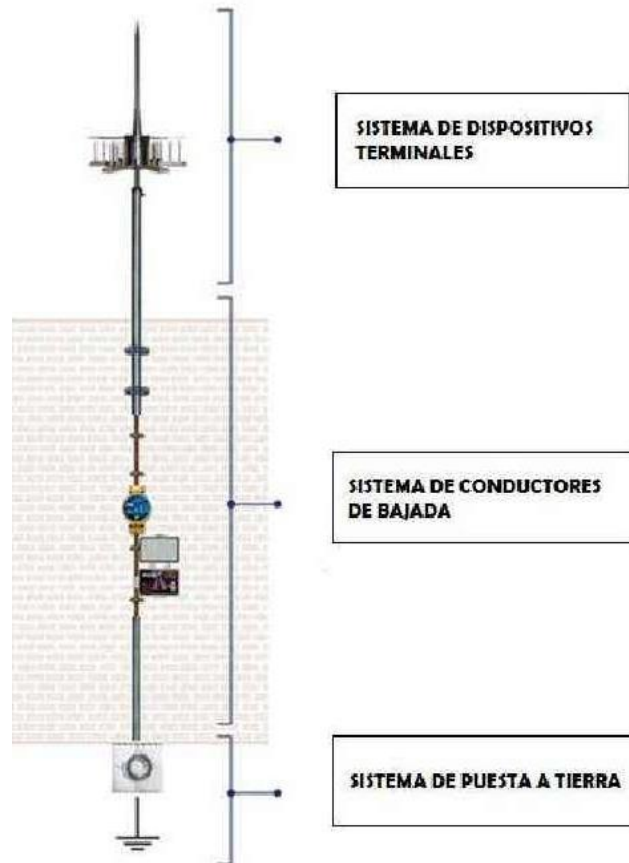
Sistema de Protección de Descargas Atmosféricas o simplemente pararrayos es un instrumento o dispositivo cuyo objetivo es atraer y canalizar al rayo junto con su enorme carga eléctrica hacia la tierra a través de conductores y que se coloca sobre algún tipo de estructura preservarla de los efectos del rayo.

Están compuestos por una barra de hierro coronada por una punta colocada en la parte más alta del edificio al que protegen. La barra está unida, mediante un cable conductor, a tierra. En principio, el radio de la zona de protección de un pararrayos es igual a su altura desde el suelo, y evita los daños que puede provocar la caída de un rayo sobre otros elementos, como edificios, árboles o personas. Es de vital importancia que el pararrayos esté en un lugar muy alto, por encima de cualquier otra estructura que pueda haber en la zona, ese factor ayudara a que el pararrayos capture adecuadamente la descarga atmosférica (Universidad nacional del centro del Perú, 2015).

3.3.4.1. Partes de un pararrayos

En la Figura 10, se observa que un pararrayos está compuesto por tres sistemas, que son: de dispositivos terminales, de conductores de bajada y por ultimo de puesta a tierra.

Figura 10. Partes de un pararrayos.



Fuente: Tomada de (Universidad nacional del centro del Perú, 2015).

3.3.4.2. Los dispositivos terminales

Son los encargados de interceptar la descarga eléctrica, su forma puede variar, no obstante, todos los pararrayos funcionan con propiedades similares a las del Franklin.

3.3.4.3. Conductores de bajada

Los conductores de bajada tienen como función conducir la energía de la descarga eléctrica atmosférica hasta tierra. Comúnmente son de cobre recto desde los dispositivos terminales, si bien pueden tener una curvatura y solo una, esta no debe estará menos de 20cm.

3.3.5. Adquisición de datos

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las computadoras estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable (National Instruments, 2019).

En la Figura 11 se puede visualizar las partes que conforman un sistema DAQ.

Figura 11. Partes de un sistema DAQ.



Fuente: Tomada de (National Instruments, 2019).

3.3.5.1. Sensores

Los sensores son dispositivos que pueden cambiar alguna de sus características eléctricas como voltaje, corriente, resistencia, entre otros; cuando son expuestos a fenómenos físicos, causando que estos últimos provoquen una señal eléctrica medible.

3.3.5.2. Dispositivos y tarjetas DAQ

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas.

3.3.5.3. PC y Software

Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida.

3.4. Normatividad

Para la realización de cualquier actividad es necesario contar con guías y normas que permitan el correcto desarrollo de la misma, de tal manera que se asegure que se la práctica de un ejercicio es adecuada y segura para los involucrados. En Colombia la entidad que procura la normatividad en múltiples áreas es el Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, ICONTEC, la cual a lo largo de los años ha emitido una serie de documentación relacionada con la protección eléctrica, algunas de las más relevantes para el caso de investigación son:

3.4.1. La norma técnica colombiana (NTC) 2050 “Código eléctrico colombiano”

La NTC 2050 fue promulgada con el fin de salvaguardar a las personas y equipos de los riesgos existentes al utilizar la energía eléctrica, por tanto, contiene disposiciones de seguridad necesarias que al cumplirlas crearan instalaciones libres de peligros, es de aclarar que esta normativa no pretende marcar pautas de diseño o instructivo para personal no calificado.

La Tabla 10 muestra el alcance de la norma, y por tanto en que instancias puede o no ser aplicada.

Tabla 10. Alcance de la NTC 2050.

Cobertura	Fuera de cobertura
Las instalaciones de conductores y equipos eléctricos en o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras, incluyendo casas móviles, vehículos de recreo y casas flotantes, y otras instalaciones como patios, parques de atracciones, estacionamientos, otras	Las instalaciones en buques, naves distintas de las casas flotantes, material rodante ferroviario, aviones o automóviles excepto casas móviles y vehículos de recreo.

áreas similares y subestaciones industriales.

Instalaciones de conductores y equipos que se conectan con fuentes de suministro de electricidad.

Instalaciones de otros conductores y equipos exteriores dentro de la propiedad.

Instalaciones de cables y canalizaciones de fibra óptica.

Instalaciones en edificaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, almacenes, garajes, talleres y edificios recreativos que no formen parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control.

Las instalaciones subterráneas en minas y la maquinaria móvil autopropulsada de minería de superficie y su cable eléctrico colgante. Las instalaciones ferroviarias utilizadas para la generación, transformación, transmisión o distribución de la energía eléctrica usada exclusivamente para el funcionamiento del material rodante ni las instalaciones utilizadas exclusivamente para señalización y comunicaciones.

Las instalaciones de equipos de comunicaciones bajo el control exclusivo de las compañías de comunicaciones, situadas a la intemperie o en edificios utilizados exclusivamente para dichas instalaciones.

Las instalaciones, incluida la iluminación correspondiente, bajo el control exclusivo de las compañías de electricidad para comunicaciones, medidas, generación, control, transformación, transmisión o distribución de energía eléctrica. Tales instalaciones deben estar situadas en edificios utilizados exclusivamente por las compañías para estos fines; al aire libre en lugares propios o arrendados por la compañía o en carreteras, calles, caminos, etc., públicos, o al aire libre en propiedades privadas mediante derechos de paso.

Fuente: Tomada y modificada de (ICONTEC, 1998).

Como puede observarse en la Tabla 10, teniendo en cuenta las dos primeras disposiciones la normativa 2050 es aplicable a sistemas fotovoltaicos domiciliarios o de pequeñas aplicaciones, aunque estas tengan como finalidad su uso en las comunicaciones.

La norma cuenta con 9 capítulos, pero, concretamente en el capítulo 2 denominado “Alumbrado y protección de las instalaciones eléctricas” como su nombre lo sugiere, se hallan las disposiciones, en cuanto a puesta a tierra, protección contra sobre corriente, descargadores de sobretensión, conductores, entre otros de vital importancia cuando se desarrolla un sistema de protección eléctrica.

Además, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE, que fuera expedido en el año 2004 por el ministerio de minas y energía de la república de Colombia; misma organización que promulgo a través de la resolución No. 181294 del 6 de agosto del 2008 a través del artículo 2° que: la RETIE sería conformada por los 7 primeros capítulos de la NTC2050 (Ministerio de minas y energía, 2008). Por tanto, su aplicación es de carácter obligatorio.

3.4.2. La norma técnica colombiana (NTC) 4552 “Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos)”

El ICONTEC ha proveído también la norma técnica colombiana (NTC) 4552 la cual reconoce a los rayos como fenómenos naturales peligrosos para las personas y los hogares, dicho documento está dividido en 5 partes dos de las cuales no han sido publicadas aún, sin embargo, las tres existentes abarcan ejes de seguridad importantes como: definiciones y conceptos referentes a descargas eléctricas atmosféricas, selección de medidas de protección en términos del manejo de riesgos, y criterios de diseño, instalación y mantenimiento para reducir daños y peligros de los seres vivos por rayos. El alcance de las diferentes partes publicadas de la NTC 4552 se explica a continuación.

3.4.2.1. NTC 4552-1 “Principios generales”

La primera parte de la NTC 4552, relata gran variedad de conceptos relacionados a la caída de rayos, entre los cuales están los posibles daños que pueden provocar, las razones por las que prevenirlos es conveniente y necesario tanto social como económicamente, algunas medidas de protección, entre otros ítems.

Tabla 11. Alcance de la NTC 4552-1.

Cobertura	Fuera de cobertura
Estructuras, incluyendo sus instalaciones y contenidos, así como a las personas.	Sistemas de trenes eléctricos
Servicios que entran a la estructura.	Vehículos, barcos, aeronaves, instalaciones en mar abierto. Tuberías subterráneas de alta presión.

Redes de tuberías, energías y
telecomunicaciones no conectadas a la
estructura.

Fuente: Tomada y modificada de (ICONTEC, 2008).

La NTC 4552-1 da cobertura a las instalaciones, personas en ellas y servicios conectados a estas. Como puede verse en la Tabla 11 la norma cubre estructuras inmobiliarias.

3.4.2.2. NTC 4552-2 “Manejo del riesgo”

La segunda parte de la NTC 4552 (ICONTEC, 2008), establece un procedimiento para la evaluación del riesgo en una estructura o en sus acometidas de servicio debido a descargas de rayos a tierra. Determinando un límite de riesgo superior tolerable y seleccionando medidas de protección apropiadas para disminuir el peligro a niveles tolerables o menores.

3.4.2.3. NTC 4552-3 “Daño físico a estructuras y riesgos a la vida”

La tercera parte de la NTC 4552 comprende los requisitos para proteger una estructura contra daños físicos por medio de un sistema de protección contra rayos (SIPRA) y la para la protección de contra lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso y de contacto en las proximidades del SIPRA (ICONTEC, 2008). La NTC 4552-3 es aplicable al diseño, instalación y mantenimiento de un SIPRA sin restricciones de altura.

4. Capítulo 4. Metodología

La metodología implementada durante el desarrollo de la investigación fue experimental de tipo cascada como se evidencia en la Figura 12. Comprende 4 Fases que a su vez se componen de una serie de actividades y sub-actividades basadas en los objetivos propuestos.



Fuente: Autor.

4.1. Primera fase: Reconocimiento de información existente.

Para la primera fase se plantearon 2 actividades y 6 sub-actividades que se evidencian en la Tabla 12 de las cuales se presentaran posteriormente resultados.

Tabla 12 Actividades de la primera fase.

Actividad general del proyecto	N°	Sub-actividades por realizar
Análisis del estado del arte y del estado de la técnica en lo relacionado con sistemas de protección eléctrica en sistemas de energías alternativas.	1	Estado del arte formas de protección eléctrica en sistemas fotovoltaicos y/o eólicos no conectados a la red nacional.
	2	Estado de la técnica dispositivos de protección eléctrica.
Análisis de la estructura y de la topología donde se ubica la torre de telecomunicaciones.	3	Identificación del sistema fotovoltaico instalado. (Visita).
	4	Análisis de sensores y herramientas para un sistema de adquisición de datos.
	5	Verificar y calibrar el funcionamiento de parámetros y requerimientos técnicos de los sensores
	6	Implementación de la etapa de adquisición de datos.

Fuente: Autor.

4.1.1. Estado del arte formas de protección eléctrica en sistemas fotovoltaicos y/o eólicos no conectados a la red nacional.

Las actividades comienzan con la realización del estado del arte que se presentó en el capítulo 3.

4.1.2. Estado de la técnica dispositivos de protección eléctrica.

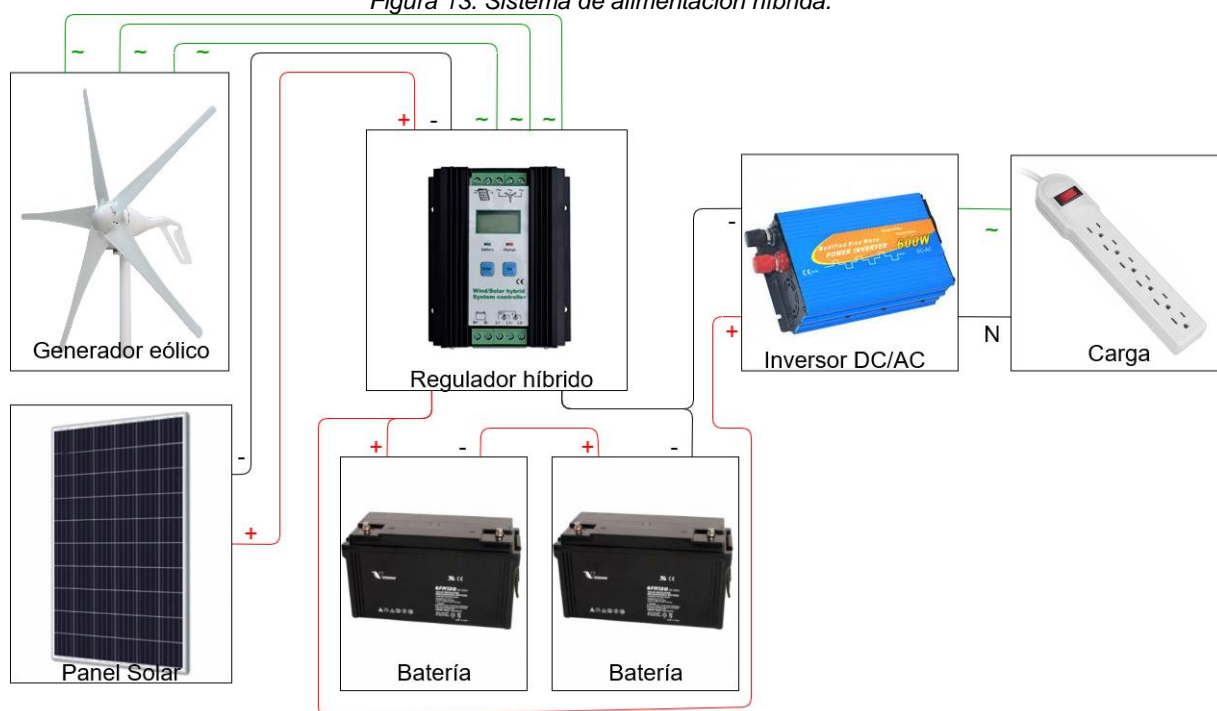
El estado de la técnica fue la segunda actividad de la primera fase y se presentó en el capítulo 3.

4.1.3. Identificación del sistema fotovoltaico instalado. (Visita).

Como propósito general, el proyecto enfoca su objetivo en proporcionar una alternativa de protección eléctrica en una aplicación de energías renovables en la zona rural de la región del Sumapaz, en este caso particular una híbrida fotovoltaica-eólica.

Sin embargo, antes fue necesario comprender la situación del modelo energético que se planteaba proteger y reconocer el punto físico de impacto directo. De tal modo que mediante instrumentos y observación se obtuviera información relacionada a la estructura del nodo de telecomunicaciones ubicado en San José del Choco, municipio de Silvania. La información recolectada se utilizó para determinar cómo está realmente compuesto el sistema, el cual se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Sistema de alimentación híbrida.



Fuente: Tomado y modificado de (AutoSolar, 2019), (AutoSolar, 2019), (Man-hj, 2019), (Radioalpi, 2019), (Syrio power, 2019) y (JD Market, 2019).

El sistema presentó una sobrecarga que suspendió el servicio de internet al averiar una de las antenas, específicamente una Rocket M5 AC, su correspondiente adaptador de poder y el conmutador de red. De igual manera, el inversor se auto-desconectó; debido a que el panel y las baterías no pudieron mantener el suministro de energía durante la noche en épocas lluviosas de larga duración, lo anterior es una conjetura pues no existen datos que soporten dicha teoría. No obstante, para que no se vuelvan a presentar sucesos similares se decidió instalar temporalmente el generador eólico al regulador y hacerlo parte del sistema como se muestra en la Figura 13 y Figura 14.

Figura 14. Instalación auxiliar del generador eólico.



Fuente: Autor.

Los dispositivos averiados fueron reemplazados, con el fin de restablecer el servicio de internet en a los usuarios de la vereda Bosachoque. en la Tabla 13 se presenta una comparación con los nuevos elementos y los implementados por (Tobón Perdomo, 2018).

Tabla 13. Dispositivos instalados en el nodo.

Dispositivo	(Tobón Perdomo, 2018)	Actual
Baterías (2)	FL121200	FL121200
Panel Fotovoltaico	TSM-270 PE05A.	TSM-270 PE05A.
Regulador	JW2460	JW2460
Inversor	SP600-12M	SP600-12M
Generador eólico	Inexistente	WIND-400S
Antena receptora	Rocket M5 AC	Litebeam
Antena transmisora	Rocket Prism AC	Rocket Prism AC
Conmutador	TL-SG105	TL-WR841N

Fuente: tomada y modificada de (Tobón Perdomo, 2018).

En la Tabla 13 se presentan algunas referencias que no fueron aclaradas en (Tobón Perdomo, 2018), no obstante durante la visita se registraron dichos datos. El conmutador fue reemplazado por un enrutador y se habilito una nueva red Wi-Fi en el lugar, sus parámetros de conexión se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de conexión red Wi-Fi de San José.

Nombre de la red	Contraseña
chochoantena	“sin contraseña”

Fuente: autor.

A partir de los nuevos dispositivos fue necesario replantear la tabla de consumo del sistema para determinar si es o no necesario realizar algún otro cambio.

Tabla 15. Cuadro de cargas.

Carga	Consumo (W/h)	N° de horas en funcionamiento	Consumo diario
Rocket Prism AC	9.5	24	228
Litebeam	4	24	96
Enrutador	6	24	144
Computador	45	1	45
Total			513

Fuente: Autor.

El total consumido es 513W como puede verse en la Tabla 15, por consiguiente, al no ser superior a los 600W que puede proveer el inversor no es necesario hacer otros cambios en el sistema.

4.1.4. Análisis de sensores y herramientas para un sistema de adquisición de datos.

Después de una visita al nodo telecomunicaciones ubicado en San José del chocho, se determina que es necesario contar con un sistema de telemetría que permitiera determinar la capacidad eléctrica real de operación del nodo. El sistema planteado debe adaptar sensores que midan las variables físicas que se muestran en la Tabla16.

Tabla 16. Variables a monitorear.

Nombre	Id	Variable	Tipo de conexión del sensor	Ubicación
Voltaje del panel	S1	Voltaje DC (V)	Paralelo	Panel Solar
Voltaje del regulador	S2	Voltaje DC (V)	Paralelo	Salida del regulador
Corriente de carga	S3	Intensidad de corriente DC (A)	Serie	Entre la salida del regulador y la batería
Corriente de descarga	S4	Intensidad de corriente DC (A)	Serie	Entre la salida de la batería y el inversor
Corriente del panel	S5	Intensidad de corriente DC (A)	Serie	Entre la salida panel y el regulador
Corriente del generador	S6	Intensidad de corriente AC (A)	Serie	Entre una de las fases del generador eólico y regulador
Voltaje del generador	S7	Voltaje AC (V)	Paralelo	De una fase a otra del generador eólico
Velocidad del viento	S8	Velocidad del viento (Rpm)	Externo	Cuerpo del generador eólico.

Dirección del viento	S9	Angulo de rotación horizontal (°)	Externo	Mástil de soporte del generador eólico.
----------------------	----	-----------------------------------	---------	---

Fuente: Autor.

Como se muestra en la Tabla 11 son necesarios 9 sensores, 2 de voltaje DC, 3 de corriente DC, 1 de corriente AC, 1 de voltaje AC, 1 de velocidad del viento y 1 de dirección del viento. No obstante, no todas las variables son de naturaleza eléctrica, por ende, se deben utilizar sensores externos al sistema de alimentación para S8 y S9, estos últimos fueron manejados por (Flórez Matamoros, 2019) como parte de sus actividades paralelamente a este proyecto.

4.1.4.1. Sensor de voltaje DC

Figura 15. Sensor de voltaje FZ0430.



Fuente: Tomado de (Arrieta, 2019).

La lectura de voltaje se realiza midiendo la energía potencial de un campo eléctrico para causar una corriente eléctrica en un conductor eléctrico. El sensor que se utilizara es un módulo FZ0430 (ver Figura 15), es analógico y funciona con una alimentación de 5V que detecta hasta 25V DC con una resolución de 0.00489V, funciona con el método de medición por diferenciales.

4.1.4.2. Sensor de corriente DC y AC

Figura 16. Sensor de corriente ACS712-20A.



Fuente: (Naylamp mechatronics, 2019)

Se plantea la medición de corriente utilizando el efecto Hall, dados los parámetros del regulador se ha escogido un sensor analógico modelo ACS712 de 20A, puede apreciarse en la Figura 16, este dispositivo permite obtener un valor de voltaje entre

0V y 5V donde el valor cambia 100mV por cada Amperio censado, además este sensor permite realizar lecturas tanto en DC como en AC.

4.1.4.3. Sensor de voltaje AC

Figura 17. Sensor de Voltaje AC ZMPT101B



Fuente: Tomada y modificada de (Bigtronica, soluciones electrónicas, 2019).

El módulo ZMPT101B (Figura 17) es un sensor de fase AC aislado por transformador, entrega una señal seno proporcional a la señal de entrada, la amplitud de la señal de salida se puede variar con el potenciómetro. El voltaje de salida es de 0 a VCC, el circuito suma un offset para que toda la señal de salida sea positiva.

4.1.4.4. Tarjeta de adquisición de datos.

La tarjeta de adquisición de datos debe cumplir con algunos requerimientos respecto a su funcionamiento realizando las labores de manipulación, conversión, transmisión y recepción de datos de los módulos conectados a él, pues es el centro de procesamiento. Estos son:

- Pines de entrada para la lectura de las variables
- Alta velocidad de procesamiento
- Conectividad a internet, ethernet o Wi-Fi.
- Multiprocesamiento
- Bajo precio de mercado

Teniendo en cuenta estas especificaciones se evaluaron las siguientes tarjetas que se presentan en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17. Descripción de posibles tarjetas para el sistema de telemetría.

Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3, Model B
Microcontrolador: ATmega2560	Mini ordenador
Pines digitales Entradas / Salidas: 54 (de los cuales 15 son salidas de señal PWM)	Chip: Broadcom BCM2387, 64 bits.
	Procesador:1.2GHz
	memoria:1 GB

Pines de entrada análogos: 16	4 puertos USB 2.0
Memoria Flash: 256 KB (8 KB se usan para el arranque)	Bluetooth LE 4.1 Wi-Fi.
SRAM: 8 KB	Puerto Ethernet
EEPROM 4 KB	40 pines GPIO
Frecuencia de reloj: 16 MHz	

Fuente: Tomado y modificado de (Raspberry Pi Foundation, 2019) y (Arduino, 2019).

Las tarjetas analizadas cuentan con grandes cualidades de procesamiento, sin embargo, el análisis debe plantearse de acuerdo con las necesidades de la aplicación, dicha comparación se muestra en la Tabla 18. Sin embargo, el Arduino Mega 2560 no cumple con los requerimientos de conexión y la Raspberry Pi 3, Model 3, con los puestos análogos suficientes.

Tabla 18. Evaluación de tarjetas electrónicas.

Requerimiento	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3, Model B
Pines de entrada para la lectura de las variables.	Sí	Requiere conversores análogos/digital
Alta velocidad de procesamiento.	Sí	
Conectividad a internet.	Requiere módulos externos de conexión	Ethernet y Wi-Fi
Multiprocesamiento.	Sí	Sí
Bajo precio de mercado.	Sí	Sí

Fuente: Autor.

Dado que ambas tarjetas presentan inconvenientes, se optó por el uso la tarjeta Arduino Mega 2560 y de un módulo ethernet Shield W5100 para la conexión a internet, dichos elementos pueden verse en las Figuras 18 y 19 respectivamente, de tal manera que se cumpla con las especificaciones tenidas en cuenta para el funcionamiento óptimo del sistema, como también el presupuesto del proyecto. En la Tabla 19 pueden verse las características de la Shield w5100.

Figura 18. Arduino Mega 2560.



Fuente: Tomada de (Arduino, 2019).

Figura 19. Arduino Ethernet Shield R3.



Fuente: Tomada de (Arduino, 2019).

Tabla 19. Características de la Ethernet Shield W5100.

Característica	Valores
Compatible	IEEE802.3af
Rizado de salida baja y el ruido	100mVpp
Voltaje de entrada	36V-57V
Protección	Sobrecarga y cortocircuito
Voltaje de salida	9V
Salida de alta eficiencia convertidor DC / DC	75%-50% de carga
Voltaje de aislamiento (entrada a salida)	1500V
Conector estándar	RJ45 Ethernet
Botones	1 Reset (Arduino y W5100)

Fuente: Tomada de (Arduino, 2019).

4.1.4.5. Sensores externos

Para medir la dirección en metros como se explica en (Flórez Matamoros, 2019) se utilizó un potenciómetro de 100kΩ alimentado con 5V, y acoplado a una veleta de construcción artesanal, que fue instalada en la base del mástil que soporta el generador eólico (Figura 20). Cuando el viento interactúa con este elemento su

cuerpo gira y hace que la caída de voltaje en la resistencia variable cambie entre 0V y 5V.

Figura 20. Sensor de dirección del viento.



Fuente: (Flórez Matamoros, 2019).

Por otra parte, la velocidad del viento se determinó utilizando un sensor infrarrojo E18-D80NK acoplado en cuerpo del generador que detecta las interrupciones de cada aspa durante 20 segundos (Figura 21), tal medida se convierte a revoluciones por segundo y posteriormente a metros por segundo que son las unidades de esta variable. Este dispositivo es el único de carácter digital de los nueve planteados.

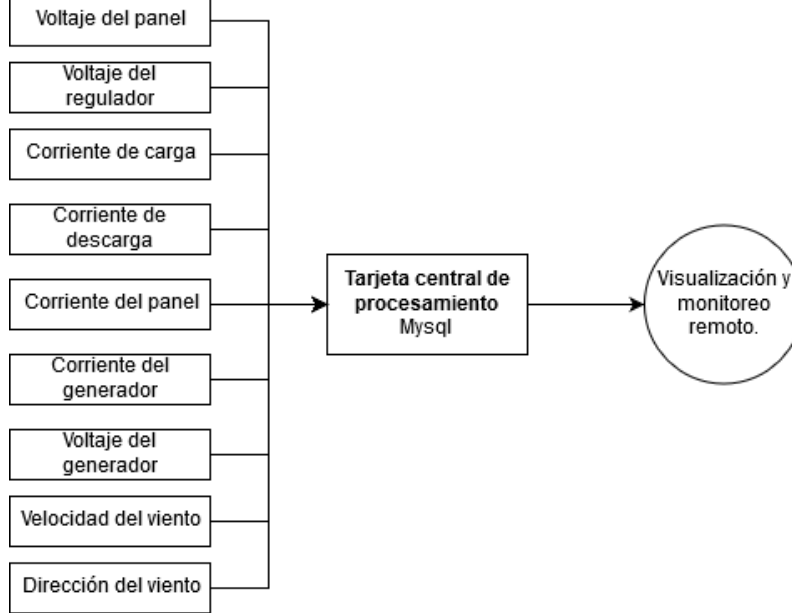
Figura 21. Arreglo sensor infrarrojo.



Fuente: tomada de (Flórez Matamoros, 2019).

4.1.4.6. Modelo general del sistema de telemetría

Figura 22. Diagrama de bloques general del sistema de telemetría (Datos).

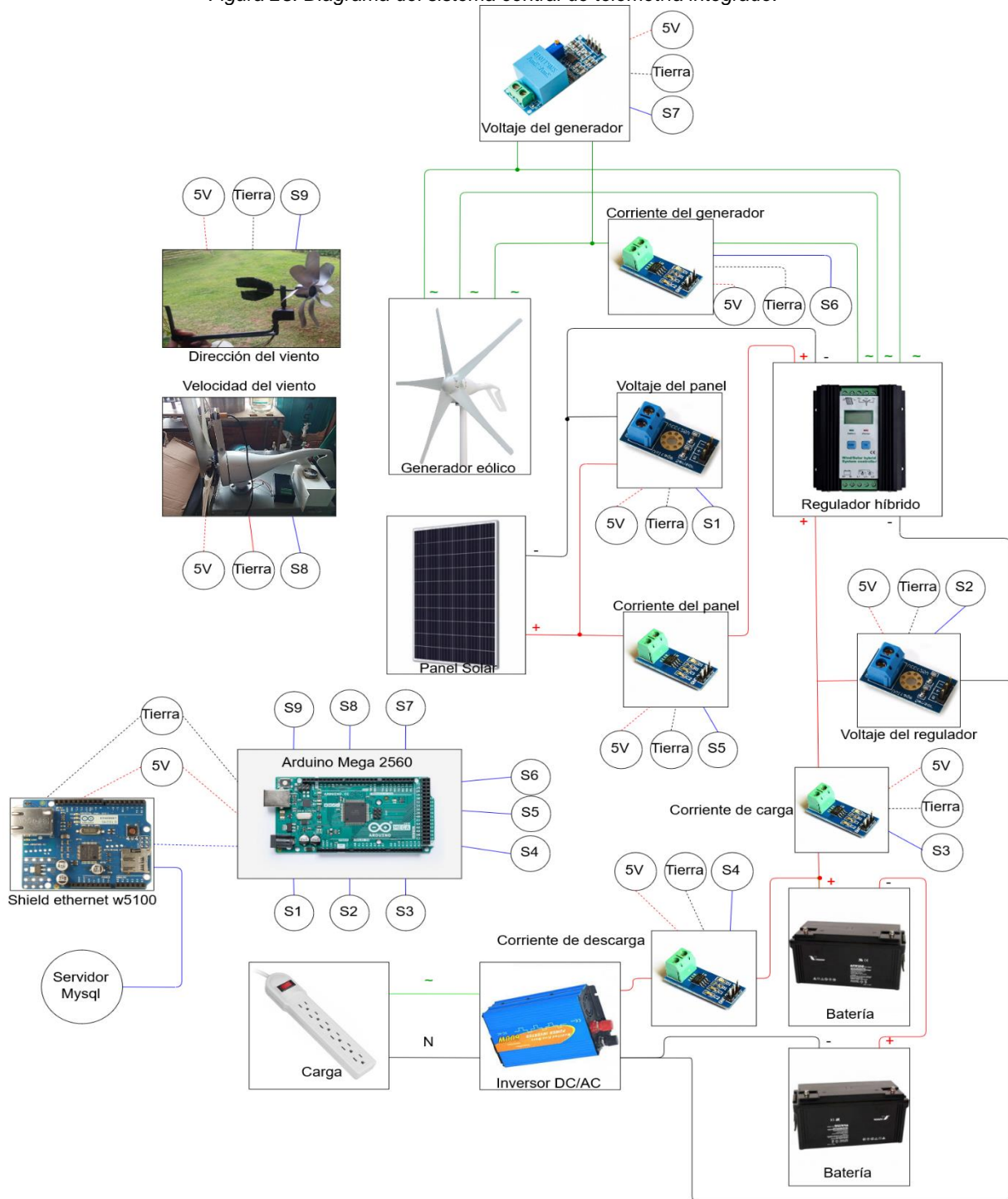


Fuente: Autor.

En la Figura 22 se puede apreciar la ruta que recorren los datos de las variables adquiridas, para su posterior visualización remota, la cual se logra enviando dichos datos a un servidor en línea. El monitoreo de datos está en el marco del sub-proyecto (Flórez Matamoros, 2019) que se realiza paralelamente, por tanto, más adelante solo se van a tratar los procesos incluidos en sistema de telemetría hasta el envío de información.

Una vez se determinaron los elementos que compondrían el sistema se revisó un diagrama de cómo debían ir integrados al sistema de alimentación, por lo cual, se utilizó la información de la Tabla 16. El sistema integrado se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Diagrama del sistema central de telemetría integrado.



Fuente: Tomada y modificada de (AutoSolar, 2019), (AutoSolar, 2019), (Man-hj, 2019), (Radioalpi, 2019), (Syrio power, 2019), (JD Market, 2019), (Arrieta, 2019), (Arduino, 2019), (Naylamp mechatronics, 2019), (Bigtronica, soluciones electrónicas, 2019), (Arduino, 2019) y (Flórez Matamoros, 2019).

4.1.5. Verificar y calibrar el funcionamiento de parámetros y requerimientos técnicos de los sensores.

Para la utilización de los sensores junto con la tarjeta Arduino Mega 2560 fue necesario realizar una serie de cálculos aplicados en el código de programación de la DAQ.

4.1.5.1. Calibración del sensor de voltaje FZ0430

El FZ0430 es un sensor analógico por lo que arroja valores entre 0V y 5V, Arduino Mega 2560 correlaciona esas cifras a una unidad entre 0 y 1023, esos valores corresponden a magnitudes de entrada censadas desde 0V a 25V, por consiguiente, debe aplicarse la Ecuación 2 al dato leído por el puerto análogo.

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{Valor de lectura} * 25}{1023}$$

Ecuación 2.

4.1.5.2. Calibración del sensor de corriente ACS712

El sensor de corriente ACS712, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente de valores entre 0 y 5V, para nuestro caso se utiliza el ACS712 con un rango de corriente de -20A a 20A con una sensibilidad lineal de 100 mV/A. Cuando corriente circulando es 0A el valor del sensor es 2.5V.

La Ecuación 3 es utilizada para determinar la corriente leída por el sensor a partir del valor registrado en el puerto análogo.

$$\text{Corriente} = \frac{\left(\frac{\text{Valor de lectura} * 5}{1023} - 2.5\right)}{0.1}$$

Ecuación 3.

Gracias a que el sensor ACS712 es capaz de medir corrientes tanto positivas como negativas, puede utilizarse para realizar la medición de la intensidad de corriente alterna. Para evaluar dicho fenómeno es necesario registrar los valores tanto máximo como mínimos de una señal sinusoidal que oscila a 60Hz y determinar el valor RMS de dicha magnitud a partir de las ecuaciones 4 y 5.

Valor pico a pico = Valor Corriente máximo – Valor Corriente mínimo
 Ecuación 4.

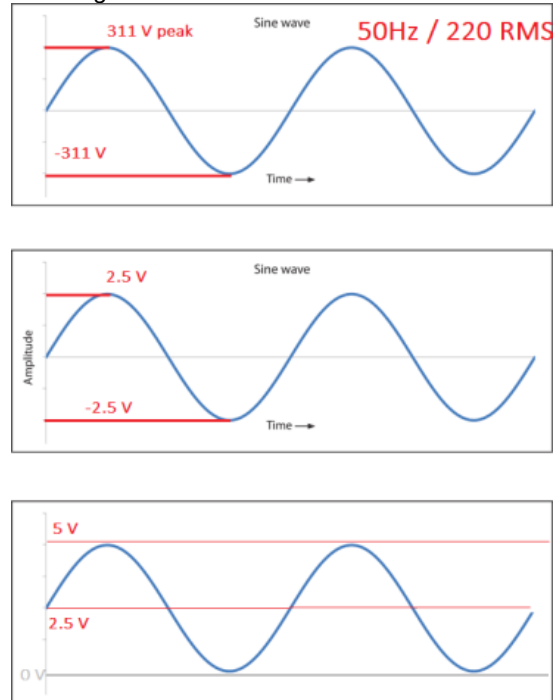
$$\text{Valor corriente RMS} = \frac{\text{Valor pico a pico} * \sqrt{2}}{4}$$

Ecuación 5.

4.1.5.3. Calibración del sensor de voltaje ZMPT101B

Este sensor cuenta con un transformador aislado que permite transformar una señal alterna a valores entre -2.5V y 2.5V y posteriormente agrega un valor de compensación de 2.5V, por ende, entregar a la salida del sensor una onda alterna entre 0V y 5V como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Funcionamiento ZBPT101B.



Fuente: Tomada de (SurtrTech, 2019)

El modulo utiliza un potenciómetro tipo trimmer que permite ajustar la señal obtenida para que esta luzca similar a la señal de entrada y pueda utilizarse una comparación lineal entre el valor máximo de la señal de entrada del transformador y 5V. El sensor proporciona datos de una forma parecida al ACS712, pero en voltaje pues cuando la lectura sea 0V la salida del sensor será 2.5V. En consecuencia, La Ecuación 6 es utilizada a partir de la información captada por el puerto análogo.

$$\text{Voltaje} = \left(\frac{\text{Valor de lectura} * 5}{1023} - 2.5 \right) * \frac{\text{Valor máximo de entrada del transformador}}{5}$$

Ecuación 6.

Después de aplicar la Ecuación anterior se aplican también las ecuaciones 4 y 5, obteniendo finalmente el Voltaje RMS.

4.1.5.4. Calibración de los sensores externos.

Los sensores que determinan la velocidad del viento y la dirección del mismo, fueron calibrados en (Flórez Matamoros, 2019), quien suministro los códigos para la lectura de estos. Además de proporcionar los requerimientos para su aplicación que se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Requerimientos de aplicación sensores externos.

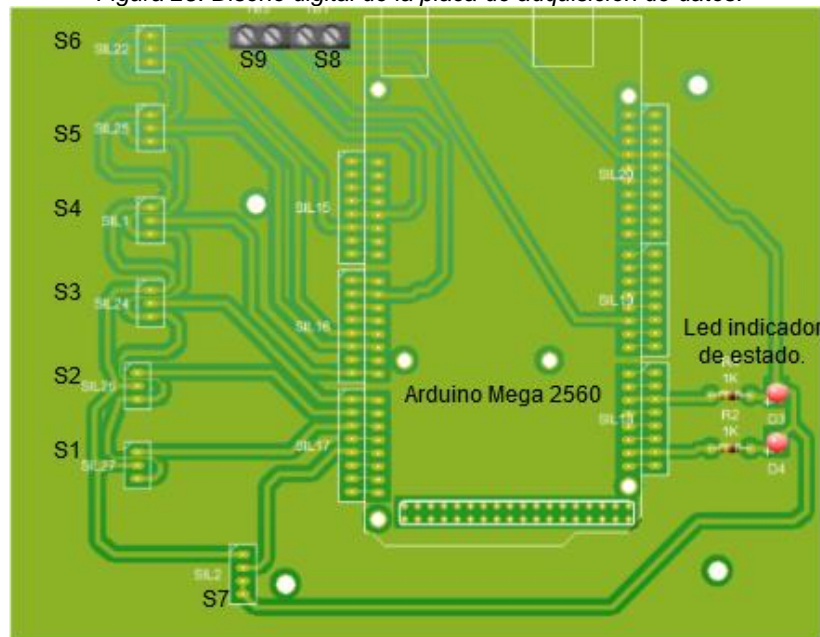
Sensor	Tipo de lectura	Pin	Alimentación
Velocidad del viento	Digital	2	5V
Dirección del viento	Análogo	A1	5V

Fuente: Suministrada por (Flórez Matamoros, 2019).

4.1.6. Implementación de la etapa de adquisición de datos.

La implementación de la etapa de adquisición de datos se llevó a cabo después de diseñar una placa PCB (Figura 25) que permitiera integrar los elementos descritos en el apartado 4.1.4. dicha tarjeta fue diseñada en la herramienta virtual PCBWizard.

Figura 25. Diseño digital de la placa de adquisición de datos.



Fuente: Autor.

En el diseño se utilizaron borneras para adaptar los sensores externos S8 y S9, para los demás sensores se utilizaron 3 pines hembra por cada uno donde se incrustaron los sensores aprovechando los pines machos que estos poseen. También se agregaron 2 leds indicadores de estado, el rojo se enciende cuando el sistema esta encendido y el verde se ilumina cada vez que un paquete de datos es enviado. Para acoplar el Arduino Mega 2560 se utilizaron 48 pines machos y así adherirlo a la placa. La ethernet Shield w5100 permite su montaje sobre el Arduino Mega 2560 directamente (Figuras 26 y 27).

La placa diseñada fue puesta en una caja acrílica con tapa y orificios para la conexión de los sensores, el cable ethernet y el cable de alimentación del Arduino. Las dimensiones de ella son 14cm de ancho, 17cm de largo y 7,5 de altura. El diseño de la caja se muestra en el Apéndice 1.

Figura 26. Placa de adquisición de datos.



Fuente: Autor.

Figura 27. Vista exterior de la etapa de adquisición de datos.



Fuente: Autor.

Antes de la implementación de la etapa de adquisición se realizaron pruebas preliminares con la ayuda de (Flórez Matamoras, 2019) quien suministro el acceso a un servidor provisional para tal propósito, a continuación se utilizó el generador eólico para medir el voltaje AC en su salida cada segundo , dichas pruebas fueron satisfactorias y se procedió a la instalación en el sistema de alimentación del nodo de San José, la caja de conexiones puede verse en la Figura 28.

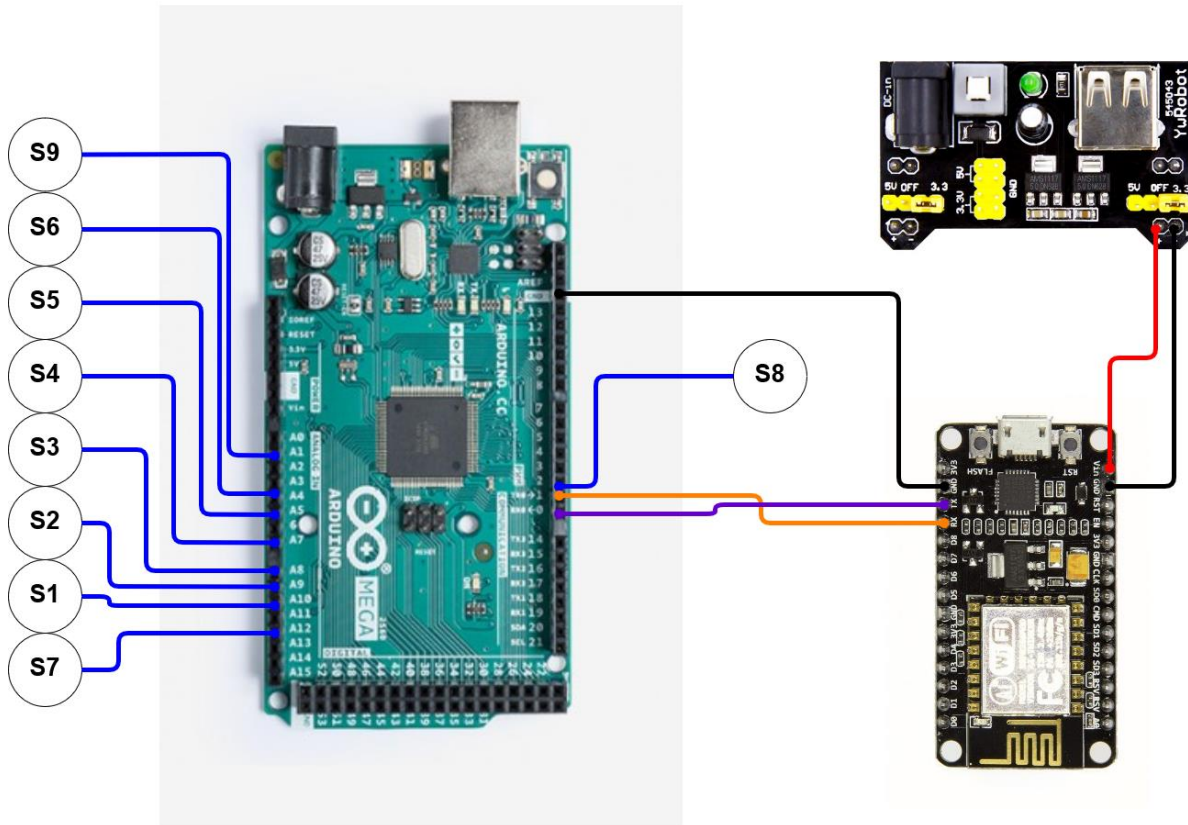
Figura 28. Etapa de adquisición de datos instalada en la caja de conexiones.



Fuente: Autor.

Como se ratifica en (Flórez Matamoros, 2019) el sistema funciono satisfactoriamente hasta que la Universidad de Cundinamarca cambio la configuración de los accesos a los diferentes puertos de red haciendo incompatible la misma con la Shield ethernet w5100. Para dar solución al inconveniente se reemplazó el tipo de conexión a la red pasando así de ser cableada a inalámbrica con la compra e implementación de una tarjeta NodeMcu Lua WIFI v1.0 Basado en ESP8266. Aunque dicho dispositivo opera con 5V la corriente suministrada por el Arduino Mega 2560 es de 50mA, la cual es 3 veces menor a la requerida para que opere la NodeMcu Lua por lo cual tuvo que ser alimentada por una fuente externa de 5V. El diagrama de montaje puede verse en la Figura 29.

Figura 29. Diagrama de conexiones Arduino-Node Mcu Lua.



Fuente: Tomada y modificada de (Arduino, 2019), (Elektorstore, 2019) y (Kuongshun, 2019).

Realizados los nuevos cambios el sistema funciona en estado óptimo y se consideran dos nuevas cargas del sistema de alimentación, por ende, el cuadro de cargas varia como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Cuadro de cargas final.

Carga	Consumo (W/h)	N° de horas en funcionamiento	Consumo diario
Rocket Prism AC	9.5	24	228
Litebeam	4	24	96
Enrutador	6	24	144
Arduino Mega 2560	1.5	24	36
NodeMcu Lua	1	24	24
Computador	45	1	45
Total			573

Fuente: Autor.

De tal manera se logra generar la etapa física de un sistema de adquisición de datos basado en Arduino con conexión Wi-fi, que permita monitorear el sistema energético, con el fin de determinar su capacidad para soportar el funcionamiento ininterrumpido de servicios de telecomunicaciones.

4.2. Segunda fase: Diseño e implementación del sistema de protección eléctrica de la estructura y los equipos.

La segunda fase se concentra en el diseño de los diferentes sistemas de protección necesarias para un sistema de generación energética fotovoltaica y/o híbrida (eólica). Se planteó una actividad y 2 sub-actividades que se evidencian en la Tabla 22 de las cuales se presentaran posteriormente resultados.

Tabla 22. Actividades de la segunda fase.

Actividad general del proyecto	N°	Sub-actividades por realizar
Diseño e implementación del sistema de protección eléctrica para una torre de telecomunicaciones alimentada por energías alternativas.	1	Diseño sistema contra descarga.
	2	Diseño sistema contra rayos.

Fuente: Autor.

Como se muestra en la Tabla 22 la protección del nodo de San José se reflejará en dos ejes principales, el sistema contra descarga, que impedirá los daños ante fallas por contacto indirecto y el sistema contra rayos que tiene como fin disminuir el riesgo de las personas ante descargas atmosféricas.

4.2.1. Diseño sistema contra descarga.

4.2.1.1. Disposiciones preliminares.

Teniendo en cuenta las disposiciones de protección que se muestran en la Tabla 2, el sistema necesita algunos ajustes entre los cuales esta separar los dispositivos de telecomunicaciones (cargas) del sistema de alimentación y su vez de las baterías esto con el fin de evitar el contacto directo con los usuarios del sistema de telecomunicación, además de instalar una caja de control para centralizar las conexiones y hacer solo un punto de conexión a tierra que se ha demostrado más seguro.

4.2.1.2. Protección contra sobrecorriente

La protección contra sobrecorriente se debe instalar con el fin de abrir el circuito si la intensidad de corriente alcanza un valor que causara una temperatura excesiva o peligrosa de los conductores o su aislamiento. La NTC2050 determina que los equipos destinados a interrumpir las corrientes de falla deben poseer una capacidad de interrupción nominal, teniendo en cuenta la tensión nominal del circuito y la corriente de trabajo de cada uno. Por tanto, es necesario realizar un dimensionamiento del calibre de los conductores necesarios para la instalación eléctrica, además este ejercicio provee también la ampacidad máxima de los dispositivos de protección contra sobrecorriente.

Para la realización del dimensionamiento fue necesario revisar las especificaciones técnicas del panel solar (Apéndice 2).

La corriente de cortocircuito de el modulo es 7.44 A; valor que debe ser reemplazado en la Ecuación 1, de tal forma que la ampacidad de los conductores estará dada por la Ecuación 7.

$$125\% (I_n): 1.25 * 7.44 = 9.3A$$

Ecuación. 7

Una vez se obtenido el valor de la ampacidad este debe compararse con los valores determinados en la Tabla 23, donde se presenta el calibre del alambre según su capacidad de corriente.

Tabla 23. Capacidad de corriente para conductores de aparatos.

Sección transversal		Capacidad de corriente (A)
mm²	AWG (calibre de alambre americano)	
0.82	18	6
1.31	16	8
2.08	14	17
3.30	12	23
5.25	10	28

Fuente: Tomada de (ICONTEC, 1998).

Teniendo en cuenta los valores presentes en la Tabla 23, se determina que el calibre de alambre más apropiado para los conductores es el 14 AWG.

Una vez el calibre de los conductores es definido debe realizarse una consideración para la utilización dispositivos de interrupción, que sirven como protección contra sobrecorriente. Para ello se tiene en cuenta la disposición del sistema presentado en la Figura 13, y los parámetros de la sección 240-20 de la NTC2050 que dictan

que debe utilizarse un dispositivo de desconexión en cada conductor no puesto a tierra. Determinando así la existencia de 4 dispositivos, no obstante, como uno de estos se da entre las conexiones de la sección de baterías se considerará innecesario, usando tan solo 3 de estos.

La naturaleza de los dispositivos de protección, no es relevante en cuanto a la normativa se refiere, siempre y cuando cumpla con tres condiciones: primero, la capacidad de abrir el circuito cuando las corrientes sean mayores de las permitidas por la ampacidad del conductor; segundo, que estén debidamente certificados ante las autoridades competentes; tercero, que el valor de corriente nominal del aparato sea el inmediatamente mayor al de la corriente nominal que fluye por ese alambre.

El dimensionamiento de los conductores se muestra a continuación en la Tabla 24.

Tabla 24. Dimensionamiento de conductores y dispositivos de protección.

Descripción	Ampacidad (A)	Cantidad	Fusible	Interruptor	Calibre	Tipo
Batería - Regulador	9.3	1	15A	15A	14	USE -2 600V
Panel - Regulador	9.3	1	15A	15A	14	CT SR
Regulador - Inversor	9.3	1	15A	15A	14	CT SR

Fuente: Autor.

En la Tabla 24 puede se describen los calibres y tipos de cables que deben utilizarse, como también la capacidad de corriente nominal de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, para el caso particular será de 15A como dicta la sección 240-6 de la NTC2050 dada la corriente nominal del sistema de 9.3A, además, pueden ser tanto un fusible o un interruptor, por lo que se dejaron contempladas ambas opciones hasta el momento de su implementación.

Los tipos de alambre utilizado como CT SR y USE-2 son tipos de alambre validos según la NTC 2050, el primero es alambre de cobre con aislamiento y el segundo es cable bifilar con recubrimiento para exteriores.

4.2.1.3. Puesta a tierra

La puesta a tierra es uno de los factores más confusos en las instalaciones fotovoltaicas, pues en ellas existen cargas importantes tanto AC como DC. Para el análisis en la parte DC en sistemas de dos conductores se entiende que no es necesario utilizarse cuando los voltajes son menores de 50V (Hernández & Vidal,

2009), como es el caso del instalado en el nodo de San José del Chocho, que ha presentado voltajes de hasta 28V. No obstante, los daños que se manifestaron en el apartado 4.1.3. que inhabilitaron algunos dispositivos hizo inminente su aplicación.

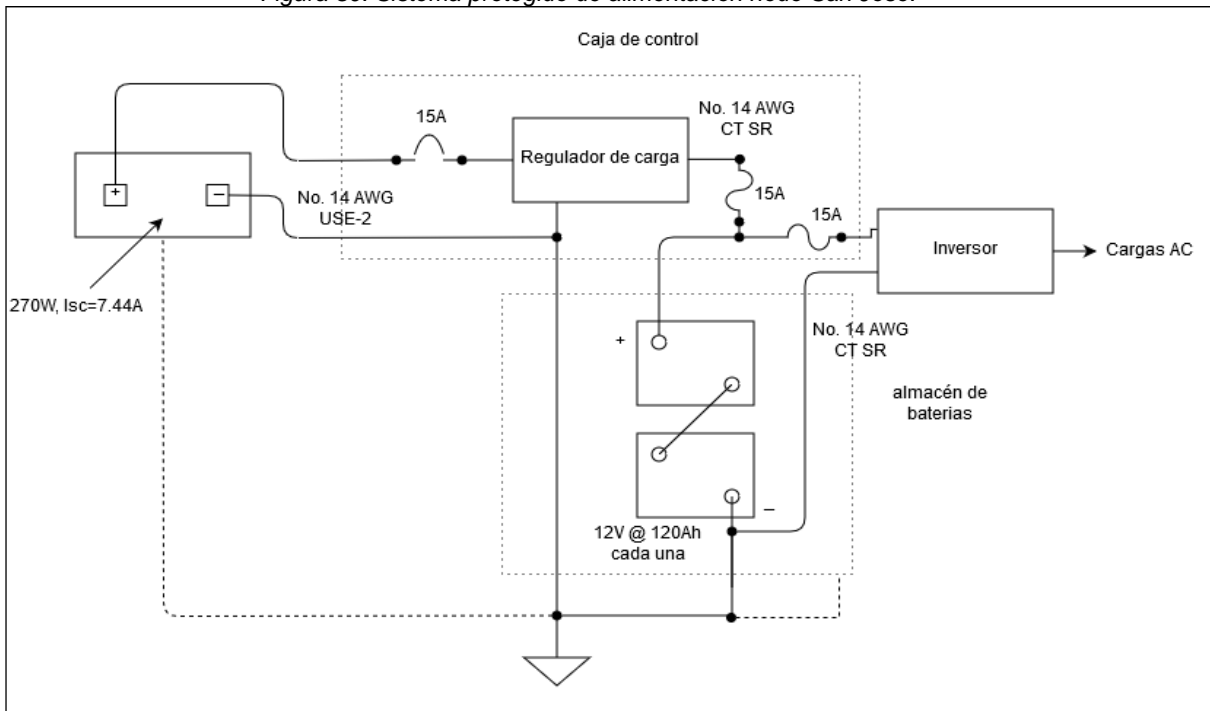
Los requerimientos tenidos en cuenta para la selección de algún esquema de puesta a tierra fueron:

- Seguridad para las personas contra contacto indirecto.
- Bajo mantenimiento y/o supervisión, (solo la periódica obligatoria).
- Costo reducido.
- Adaptable a posibles cambios o expansiones futuros del sistema.
- Utilizable con equipos de telecomunicaciones.

Teniendo en cuenta la Tabla 8 y la Tabla 9, donde se presentan los ámbitos de uso y ventajas y desventajas del cada esquema, se opta por una composición TT. Esto se debe en su mayoría a que los otros sistemas presentan incongruencias importantes como el mantenimiento constante, el cual es un factor importante cuando se hace referencia a que la aplicación está ubicada en una zona rural parcialmente alejada.

En la Figura 30, se hace uso de la información de la sección 4.2.1.2. y se ilustra un plano del sistema, donde, la caja de control, las baterías y el inversor están en lugares diferentes, permitiendo así que los dispositivos de telecomunicaciones puedan ser operados sin peligros de contacto con los conductores vivos, de igual manera las baterías se ubican en un almacén alejado que se recomienda sea resistente a la lluvia y cuente con ventilación apropiada. También se habilita un sistema de puesta a tierra conectando las armaduras de los dispositivos a un conductor de tierra junto con los conductores negativos y estos a un electrodo de tierra.

Figura 30. Sistema protegido de alimentación nodo San José.



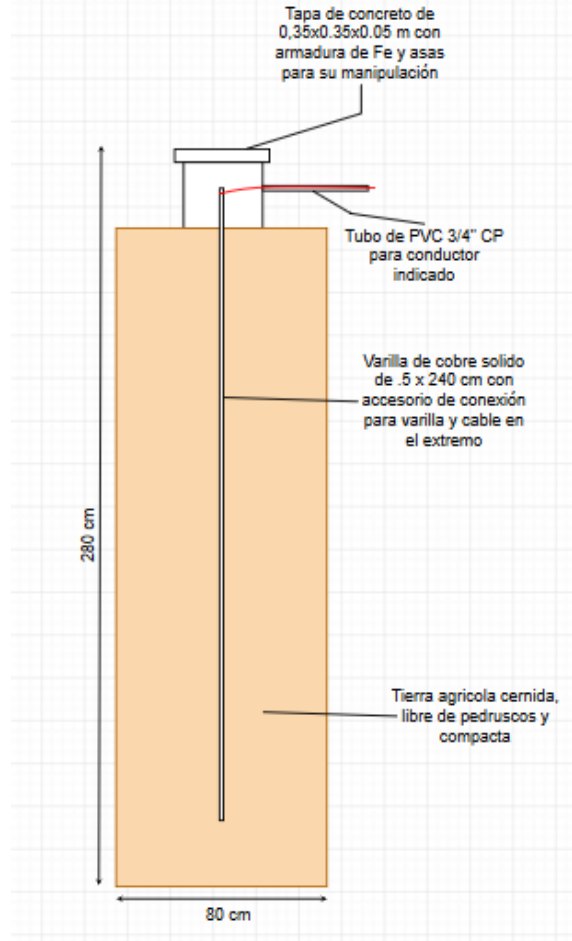
Fuente: Autor.

La puesta a tierra es importante para evitar que el cuerpo de un ser vivo sea conductor y pueda sufrir daños por descarga de corriente. Referente al diseño del sistema de puesta a tierra se tiene en cuenta varios factores dados por la NTC2050 sección 250: primero, deben ir conectados a tierra los conductores negativos de la instalación; segundo, las armaduras también deben estar conectadas a tierra; las conexiones deben realizarse con conductores tipo CT SR calibre 8 AWG; tercero, el electrodo de tierra puede tener una sección mínima de 10mm^2 y esta será la utilizada; cuarto, el tipo de electrodo de puesta a tierra puede ser de varilla o de placa, para este caso se utilizará la varilla, la longitud de esta debe ser de mínimo 2,4m y debe ir completamente entrada en el suelo para evitar daños en las conexiones.

Para evitar los daños en la conexión se opta por crear un gabinete de control en cemento con armadura de hierro de tal manera que la varilla y los puntos de conexión no queden dentro de la tierra, y de igual manera este punto de conexiones no sea fácilmente accesible, dicha estructura cuenta con un tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ " para el acceso del conductor de tierra. El electrodo de tierra debe ser instalado verticalmente como se muestra en la Figura 31, la parte de la varilla enterrada debe estar completamente en contacto con tierra sin pedruscos y compacta, la misma no

debe tener aditivos especiales dada la baja potencia. Se debe comprobar que la barra tenga una impedancia de 25Ω o menos.

Figura 31. Puesta a tierra con varilla de cobre.



Fuente: Autor.

La Figura 30 y Figura 31 muestran los modelos de protección contra descarga que de aplicarse otorgaría al nodo de San José los parámetros requeridos por la NTC2050. No obstante, estos no son suficientes para la correcta seguridad de la estructura.

4.2.2. Diseño sistema contra rayos

Los rayos pueden afectar a una estructura causándole daños a las mismas, a sus ocupantes y su contenido, demás pueden extenderse a los alrededores de la estructura e incluso pueden envolver el medio ambiente local. En casos como torres de telecomunicación y estructuras de generación de energías los efectos del rayo

son comúnmente pérdidas inaceptables de servicio al público. Además, dependiendo del punto de impacto la estructura, pueden presentarse, incendios y/o explosiones, fallas de los sistemas internos por IER.

Para proteger una estructura debe realizarse un manejo de riesgos al objeto a proteger según la NTC4552-1 (ICONTEC, 2008), realizando los siguientes pasos:

- Identificar el objeto a proteger y sus características.
- Identificar todos los tipos de pérdidas en los objetos y riesgos pertinentes.
- Evaluar el riesgo R para cada uno de los tipos de pérdida.
- Evaluar la necesidad de protección, por comparación de riesgos con un riesgo tolerable.
- Evaluar la conveniencia económica de protección por comparación de los costos de las pérdidas totales con y sin medidas de protección.

4.2.2.1. Evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos según la NTC 4552-2 permite determinar el nivel de protección que debe tener un sistema integrado de protección contra rayos (SIPRA), este se evalúa teniendo en cuenta diferentes parámetros presentes en la norma, entre los que destacan, la ubicación de la estructura, estructuras adyacentes, equipos contenidos en la estructura, entre otros. Como se tratan de múltiples procesos matemáticos precisos se hace uso de una herramienta computacional, dicho software cuenta con los estándares de la norma IEC 62305-2 de la cual se basa la NTC 4552-2 para el cálculo de riesgos (ICONTEC, 2008).

Figura 32. Análisis de riesgo para la estructura de San José del Chocho utilizando Software.

The screenshot shows a software window titled "Cálculo del índice de riesgo" with a logo for "APLICACIONES TECNOLOGICAS". The interface is organized into several panels:

- Edificio número:** 1 de 1. **Nombre del edificio:** Nodo San Jose del Chocho.
- Ed. 1:**

Nombre del edificio	Largo	Ancho	Alto	PDC-Malla
Nodo San Jose del Chocho	1.60	0.93	6.00	P
- DIMENSIONES:**
 - Longitud (L): 1.60 m.
 - Anchura (w): 0.93 m.
 - Altura tejado (H): 6.00 m.
 - Altura prominencia (Hp): 6.00 m.
 - Superficie exposición (Ad): 1,072.44 m² (Fijada manualmente).
- CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA:**
 - Tipo de cubierta: A. Metálica.
 - Tipo de estructura: A. Metálica.
 - Riesgo de incendio: A. Bajo.
 - Tipo de cableado interno: A. No apantallado.
- INFLUENCIAS AMBIENTALES:**
 - Situación: B. Altura similar.
 - Factor ambiental: D. Rural.
 - Días de tormenta: 10 Días / año.
 - Densidad anual impactos: 1.00 Impactos / km².
 - Tipo de terreno: A- Limo, arcilla, arena semidensa.
- PÉRDIDAS:**
 - Tipo 1. Pérdidas de vidas humanas:**
 - Por incendios: D. Siempre ocupadas.
 - Por riesgo de pánico: B. Bajo (menos de 100 persc).
 - Consecuencia de los daños: B. Peligro para el entorno.
 - Por sobretensiones: B. Equipos eléctricos de seg.
 - Tipo 2. Pérdidas de servicios esenciales:**
 - Pérdida de servicios: B. Pérdida de servicios.
 - Tipo 3. Pérdidas de patrimonio cultural:**
 - Pérdida de patrimonio: A. No aplica.
 - Tipo 4. Pérdidas económicas:**
 - Riesgos especiales: A. Sin consecuencias.
 - Por incendios: A. Valor común.
 - Por sobretensiones: B. Valor común.
 - Por tensión paso/contacto: A. Sin riesgo de shock.
 - Riesgo tolerable de pérdidas: C. 1 en 1.000 años.
- LÍNEAS DE SERVICIOS:**
 - Suministro eléctrico:**
 - Situación del cable: B. Enterrado.
 - Tipo de cable: A. Apantallado.
 - Transformador MT/BT: B. Sin transformador.
 - Otros servicios aéreos:**
 - Número de servicios: 0.
 - Tipo de cable: B. No apantallado.
 - Otros servicios enterrados:**
 - Número de servicios: 0.
 - Tipo de cable: B. No apantallado.
 - MEDIDAS DE PROTECCIÓN EXISTENTES:**
 - Clase SPGR: E. Sin protección.
 - Protección sobretensiones: A. Sin protección.

Fuente: Autor.

El software utilizado se llama Cálculo del índice de riesgo, fue desarrollado por Aplicaciones tecnológicas S.A. y permite ingresar las variables de la estructura a proteger, este asigna valores que permiten el análisis basado en los utilizados en la norma IEC 62305-2, mismos que aparecen en la NTC 4552-2 y permite obtener los riesgos de pérdida de vidas humana, servicios públicos, patrimonio cultural y perdidas económicas. Los valores ingresados en el software corresponden a los presentados en la Figura 33 y Figura 34, donde el programa determino que el nivel de protección necesario, entre 5 posibilidades: no necesaria, nivel IV, nivel III, nivel II y nivel I. El sistema implementado en San José debe cumplir con parámetros de protección nivel IV.

Figura 33. Resultados del análisis de riegos utilizando software.

DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE PROTECCIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN 62305-2

Ed.	Nombre	Superficie de captura	Riesgo de pérdida vidas humanas	Riesgo de pérdida de servicios públicos	Riesgo de pérdida de patrimonio	Riesgo de pérdidas económicas	Necesidad instalación SEPCR*	Nivel de protección	Necesidad instalación SIPCR**	Tipo SIFPCR
1	Nodo San Jose del Choco	1,072.44	3.12E-06	2.25E-04	0.00E+00	2.29E-06	Necesaria	Nivel IV	Necesaria	Entrada

ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PROTECCIÓN

La protección se realizará mediante PDC Malla

* SEPCR = Sistema Externo de Protección Contra el Rayo
** SIFPCR = Sistema Interno de Protección Contra el Rayo

Edificio: 1 Nodo San Jose del Choco

PROTECCIÓN NECESARIA:
La instalación de un sistema externo e interno es necesaria según la IEC 62305-2.

NIVEL DE PROTECCIÓN:
Nivel de protección: Nivel IV

Fuente: Autor.

4.2.2.2. Diseño del pararrayos

Una vez se determina el nivel de riesgo de rayo se deben diseñar medidas de protección con el fin de disminuir el riesgo. Como puede apreciarse en la evaluación de riegos se requiere aplicar un SIPRA tipo IV, esto implica según la NTC 4552-3 que algunos parámetros de seguridad deben adaptarse, algunos de estos son:

- Los parámetros del rayo.

- Radio de la esfera rodante, tamaño de la malla y ángulo de protección.
- Distancias típicas entre bajantes y entre anillos conductores.
- Distancia de separación contra chispas peligrosas.
- Longitud mínima de los electrodos de puesta a tierra.

Un SIPRA está compuesto en general de dos partes, un sistema de protección exterior SPE y otro interno. Ambos deben funcionar conjuntamente para asegurar la protección de la estructura.

4.2.2.3. Sistema de protección externo SPE

Compuesto por tres partes fundamentales, el sistema de protección externo intercepta los rayos que fuesen a chocar con la estructura, y dispersan su energía a tierra evitando daños térmicos o mecánicos que pudieran provocar incendios o explosiones.

Así mismo las estructuras de protección pueden estar tanto acopladas a la estructura como aisladas de esta, la decisión de este parámetro recae en el contenido de la estructura y si este puede presentar un riesgo de incendio, como se tiene que la estructura almacena baterías, se propone un sistema aislado.

Como se mencionó antes el SPE está formado por tres componentes:

- Sistema de captación.
- Sistema de conductores bajantes.
- Sistema de puesta a tierra.

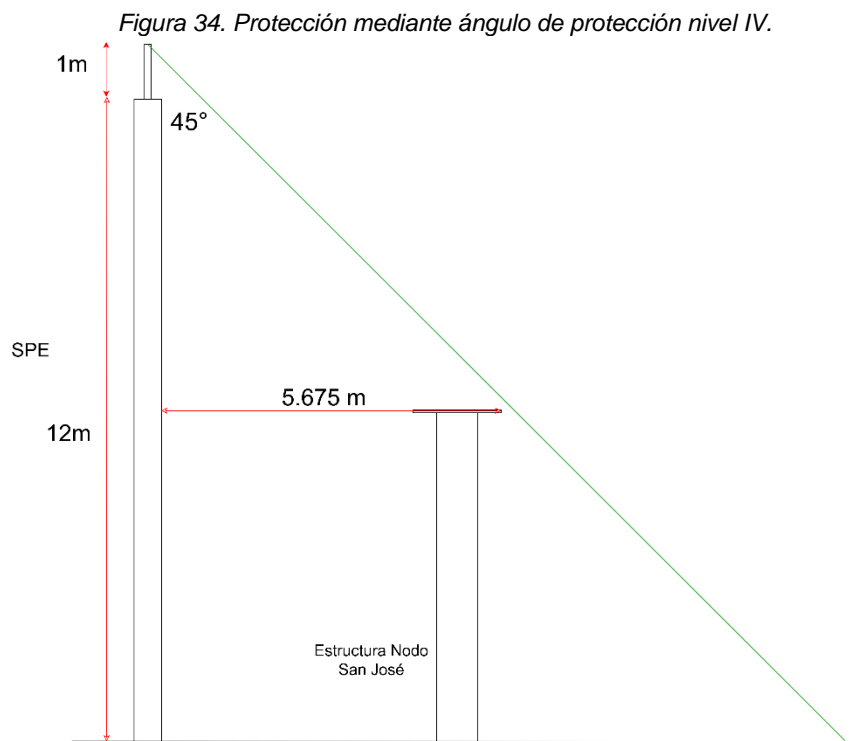
4.2.2.3.1. Sistema de captación:

Es el encargado de interceptar el rayo que vaya a impactar el directamente la estructura y bajar la corriente del mismo por los bajantes de la edificación, es indispensable para garantizar que la energía no penetrara hacia el interior.

El sistema de captación está formado por varillas metálicas, que deben estar dispuestas en sobre las partes superiores de la estructura a no menos de 25cm de altura. Su ubicación puede darse según 3 métodos: esfera rodante, es aplicable para estructuras de menos de 55m de altura; ángulo de protección, de uso en edificaciones de forma simple, se limita a la altura y al tamaño del sistema de captación; en mallado, útil para superficies planas como techos y tajados.

Teniendo en cuenta la forma de la estructura a proteger, se considera que el método más apto es el de ángulo de protección, dicho ángulo se determina entre 0° y 65°

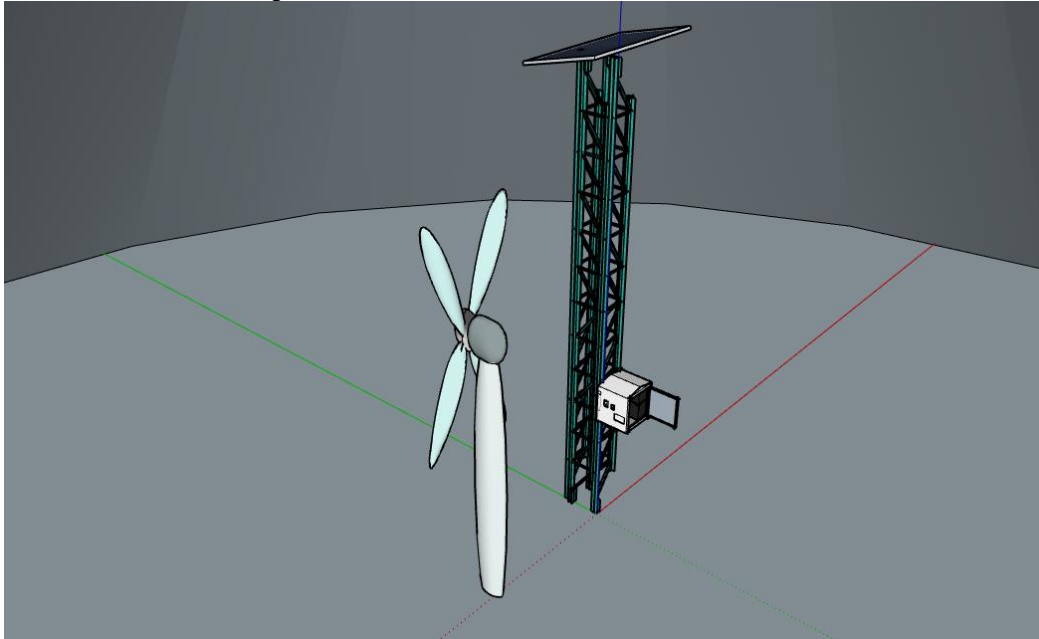
para protección nivel IV para una altura de hasta 10m (ICONTEC, 2008), como se plantea un SPE aislado se debe determinar la altura requerida para el posicionamiento de la varilla, en la Figura 34, se muestra la ubicación del sistema de captación teniendo en cuenta un ángulo de 45° , la línea verde representa el ángulo de protección y puede apreciarse que la estructura a proteger se encuentra completamente dentro del radio de cobertura.



Fuente: Autor.

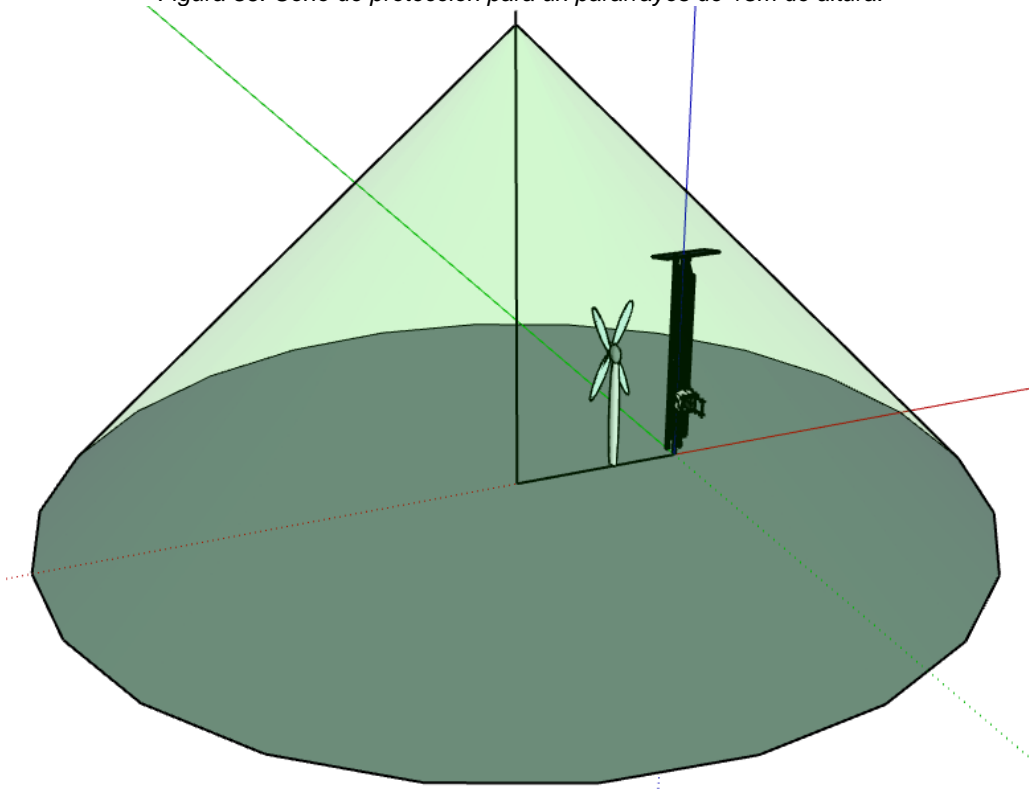
Se utiliza una distancia de 5 metros para separar la estructura a proteger y el SPE, puesto que a una separación menor la estructura del contra rayos estaría ubicada muy cerca y podría provocar percances en el funcionamiento de los generadores. En la Figura 35 se muestra la estructura del sistema de generación actual. En la Figura 36 se muestra el cono de protección generado a partir del ángulo de 45° para un SIPRA de 13 m de alto.

Figura 35. Sistema de alimentación nodo San José.



Fuente: Autor.

Figura 36. Cono de protección para un pararrayos de 13m de altura.



Fuente: Autor.

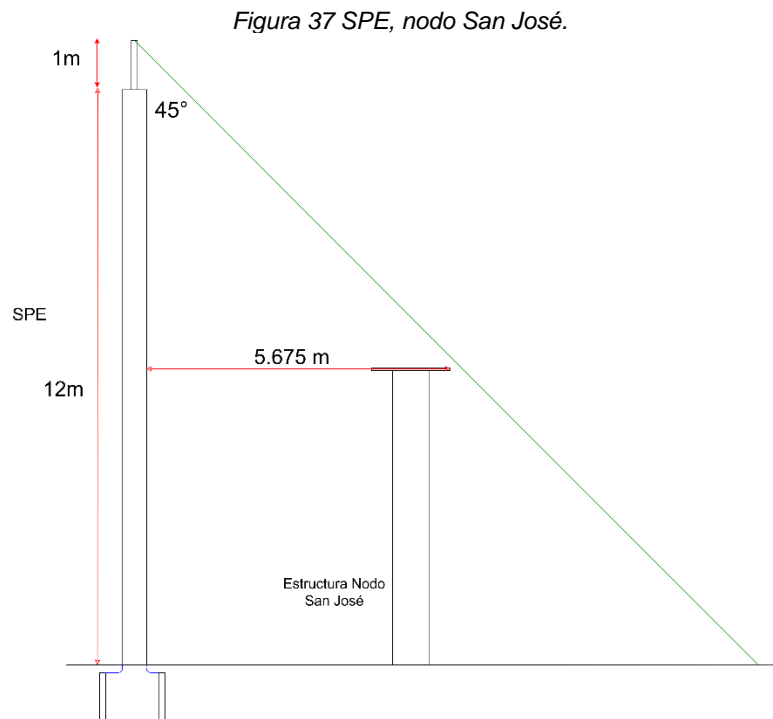
4.2.2.3.2. Sistema de conductores bajantes

Los conductores de bajantes guían la energía desde el punto de impacto hasta tierra, estos conductores deben tener la mínima longitud posible para que el rayo se descargue correctamente y no genere otros daños. La NTC 4552-3 determina que para SPE aislados lo más recomendable es que el mástil que lo soporta sea de un material metálico, pues, no será necesario el uso de bajantes. La anterior premisa se da cuando, el sistema de puesta a tierra y el de captación cuentan con interconexiones de acero.

4.2.2.3.3. Sistema de puesta a tierra

Cuando se utiliza la estructura metálica como bajante esta debe estar conectada a por lo menos 2 electrodos de puesta a tierra enterrados, a no menos de 0.5m de profundidad; las posiciones de los conductores de tierra deben cumplir con la equidistancia entre sí mismos, además los materiales que se utilicen deben tener una resistencia a baja frecuencias menos de 10Ω .

Una vez atendidas las partes del SPE, se considera que la Figura 37 muestra la estructura general de protección contra rayos externo.



Fuente: Autor.

4.2.2.4. Sistema de protección interno

Este sistema aplica exclusivamente a sistemas SPE acoplados a la estructura a proteger, sin embargo, exige que los sistemas de puesta a tierra de ambas estructuras estén unidos equipotencialmente.

Una vez se implemente los diseños planteados en la Figura 37, se considerará que el sistema cuenta con un nivel de protección IV contra descarga atmosférica, que junto a el sistema contra descarga diseñado anteriormente proveerá la seguridad necesaria en el nodo de telecomunicaciones.

4.3. Tercera fase: verificación del sistema

Debido a faltas de financiación en la segunda fase, la implementación de los sistemas de protección diseñados no se llevó a cabo, ocasionando de igual manera, que la tercera fase que pretendía realizar la verificación del funcionamiento de dichas protecciones tampoco se realizara. No obstante, se recomienda que las actividades que no pudieron ejecutarse, sean abordadas en trabajos futuros.

4.4. Cuarta fase: realización de informes y actividades de apropiación social del conocimiento.

En cuarta fase se contemplan actividades en pro de la divulgación del conocimiento adquirido durante el periodo de trabajo, se plantearon 3 actividades que se evidencian en la Tabla 25 de las cuales se presentaran posteriormente resultados.

Tabla 25. Actividades de la cuarta fase.

Actividad general de proyecto	No.
Realización de informe final	1
Participación en socializaciones en espacios afines.	2
Participación en evento científico como ponente.	3

Fuente: Autor.

4.4.1. Realización de informe final


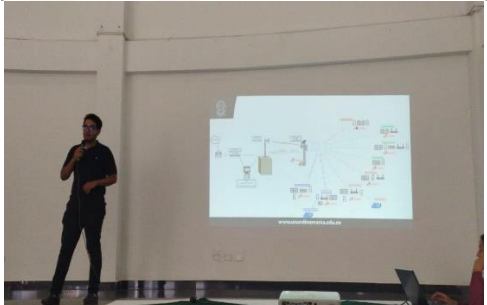
Este documento es el soporte de la realización de las actividades desarrolladas y por tanto se entiende como el entregable de dicha actividad.

4.4.2. Participación socializaciones en espacios afines y participación en evento científico como ponente

Para la realización de estas actividades se realizaron dos ponencias, la primera en el nodo Bogotá de Redcolsi en el 2018 donde la participación fue la presentación de

un poster, en un stand en la Universidad Jorge Tadeo Lozano en Bogotá D.C. La segunda fue la ponencia en el VIII congreso internacional de ingeniería de la Universidad de Cundinamarca donde se presentó un trabajo conjunto con la auxiliar de investigación Jenny P. Flórez Matamoros, titulado “Método de adquisición de datos en pequeñas aplicaciones híbridas eólica-fotovoltaica en la región del Sumapaz”, lastimosamente el certificado de la participación en dicho evento no ha sido expedido por tanto, en la Tabla 26 donde se resumen las participaciones no se agrega el comprobante correspondiente.

Tabla 26. Actividades de apropiación social del conocimiento.

Actividad	Fecha	Evidencia
Participación en el XVI encuentro regional de semilleros de investigación REDCLOSI, Nodo Bogotá-Cundinamarca.	10-11 mayo de 2018 Universidad Jorge Tadeo Lozano	
Participación en el VIII congreso internacional de ingeniería	24 de octubre de 2019 Universidad de Cundinamarca	

Fuente: Autor.

5. Capítulo 5. Análisis de resultados

5.1. Análisis del estado del arte

El estado del arte se realizó analizando tres contextos, el institucional, el nacional y el internacional, analizando exclusivamente aspectos de seguridad eléctrica en sistemas fotovoltaicos y/o eólicos aislados. De dicho ejercicio se obtuvieron 0 referencias institucionales, 5 nacionales y 8 internacionales. No obstante, esta información se tomó de fuentes digitales, el repositorio de la biblioteca de la Universidad de Cundinamarca, Google académico y la base de datos de la IEEE. Por lo cual es posible que existan estudios que recalquen las medidas de protección en formato físico.

Las investigaciones nacionales que fueron consultadas, tuvieron varias similitudes entre ellas, fueron aplicaciones de hasta 1000W o menores, y aplicaron parcialmente las normativas técnicas colombianas dadas por la RETIE y NTC2050.

Los documentos del marco internacional por otra parte trataron temas innovadores ante la protección eléctrica, en varios campos, por ejemplo, sistemas de contra descarga, pararrayos, cultura de protección, pero en aplicaciones más ambiciosas.

5.2. Funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos, funciona registrando los valores que arrojan los sensores y enviándolos a un servidor web desarrollado por (Flórez Matamoros, 2019) cada 20s, así pues, el servidor dejó registro de las mediciones realizadas. Tal bitácora se utilizó para determinar la funcionalidad del sistema, en cuanto a número de muestras obtenidas.

Como la toma y envío de datos debe realizarse cada 20s lo ideal es que en un lapso de una 1 hora que son 3600s se registren 180 lecturas del sistema de adquisición. El Apéndice 3 proporcionado por (Flórez Matamoros, 2019), es la tabla de registro de los sensores utilizados. El sistema envía un solo paquete con la información de los 9 sensores que lo componen. Entre las 6 am y 7 am del 7 de octubre de 2019 existen se registraron 163 muestras por cada sensor que equivaldrían al 90.5% de los datos que deberían estar enviándose para verificar este valor se contaron las muestras entre las 10 am y 11am del 8 de octubre de 2019, arrojando así 161 muestras equivalentes al 89.4%. No solo se registra una variación de un poco más

del 1% entre ambos registros, pues además se estima que un 10% de la información se estaría perdiendo, dicho valor es bastante considerable.

6. Presupuesto

Este proyecto fue financiado a través de convocatoria interna del semillero SIAMEL y grupo de investigación GIGGAT, recursos propios de la Universidad de Cundinamarca y el auxiliar de investigación también manejo recursos propios para correr con los gastos extra, dicha información se presenta de manera más detallada en la Tabla 27.

Tabla 27. Presupuesto ejecutado.

Elemento y características	Costos
Sistema de telemetría	
Módulo ethernet Shield W5100 Para Arduino	
Módulo WIFI Board NodeMcu Lua WIFI v1.0 basado en ESP8266	
Módulo Sensor de Corriente ACS712 de 20 ^a	
Módulo Sensor de Voltaje	\$242.858
Arduino Mega 2560 R3 Compatible	
Cable DuPont Hembra-Hembra 20cmx40	
CABLE UTP 6 METROS PARA EXTERIORES	
Otros gastos: recursos propios	
Ensamble de la caja del sistema de telemetría:	\$113.000
Impresión de la PCB	
Caja del sistema de telemetría	
Transporte:	Gastos por reposición de componentes:
6 pasajes hasta San José del Chocho	Sensores, tornillos y otros
	\$148.000
Total	\$503.858

Fuente: Autor.

7. Conclusiones y trabajos futuros

Las investigaciones acerca de la implementación de sistemas generadores de energía renovables (fotovoltaico, eólico e/o híbrido), se han dado más que todo en pequeña escala lo que conlleva a ignorar parámetros de protección importantes, como el aislamiento de conductores activos entre otros.

En la Universidad de Cundinamarca, no se había manejado algún proyecto dirigido a la investigación o aplicación de protección en sistemas de energías renovables como la fotovoltaica, a pesar de ese método de generación de energía ha sido utilizado en el pasado en varios trabajos investigativos.

El sistema de alimentación del nodo de comunicaciones de San José del chocho es peligroso para las personas que tienen contacto con el mismo y los equipos que lo componen, puesto que no cuenta con las medidas de protección básicas reglamentarias, además de necesitar un sistema integral de protección contra rayos que en estos momentos es inexistente.

Por falta de recursos no pudo determinarse si los diseños en cuanto a protección del sistema eran o no suficientes en San José del Chocho (Silvania - Cundinamarca), no obstante, lo que si es preciso es que el sistema actual es riesgoso, puesto concentra tanto los puntos de conexión de los dispositivos de generación de energía eléctrica con los equipos de telecomunicaciones, los cuales deberían estar aislados entre sí. Por tanto, se recomienda aplicar los diseños generados para proteger a los operarios de los dispositivos de telecomunicaciones de posibles incidentes.

Otras protecciones pueden aplicarse a los servicios de telecomunicaciones, como filtros de señales parasitas, y protectores de alimentación para antenas, lastimosamente dichos dispositivos requieren la presencia de un sistema de puesta a tierra para su funcionamiento.

8. Referencias

- ALLMAX. (30 de Octubre de 2019). *Trinasolar*. Obtenido de TSM-PE05A:
https://static.trinasolar.com/sites/default/files/ES_TSM_PE05A_datasheet_B_2017_web.pdf
- Arduino. (20 de Noviembre de 2019). *Arduino*. Obtenido de Arduino Mega 2560 Rev3: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>
- Arduino. (6 de Noviembre de 2019). *Arduino*. Obtenido de Arduino Ethernet Shield V1: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShieldV1>
- Arrieta, V. (25 de Enero de 2019). *ARCA ELECTRÓNICA*. Obtenido de SENSOR DE VOLTAJE FZ0430 CON ARDUINO:
<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>
- Autosolar. (6 de Noviembre de 2019). *¿Que es un panel solar?* Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar>
- Autosolar. (6 de Noviembre de 2019). *¿Qué es un regulador de carga?* Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>
- AutoSolar. (30 de Octubre de 2019). *AutoSolar*. Obtenido de Batería 12V 120Ah AGM VISION: <https://autosolar.es/baterias-agm-12v/bateria-12v-120ah-agm-vision>
- AutoSolar. (30 de Octubre de 2019). *AutoSolar*. Obtenido de Panel Solar 270W Talesun Policristalino: <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-solar-270w-alesun-policristalino>
- Ayub, A. S., Siew, W. H., & Peer Mohamed, F. (2018). Grounding Strategies for Solar PV Panels. *2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC)*, 418-422.
- Barbera Santos, D. (6 de Noviembre de 2019). *Introducción a la energía fotovoltaica*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3>

%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%
B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf

- Bigtronica, soluciones electrónicas. (5 de Noviembre de 2019). *Bigtronica, soluciones electrónicas*. Obtenido de Sensor Voltaje AC:
<https://www.bigtronica.com/poblado/corriente/936-sensor-voltaje-ac-5053212009366.html>
- BLENDER. (6 de Noviembre de 2019). *Tipos de esquemas de distribución para el suministro de energía eléctrica*. Obtenido de BLENDER:
<https://www.bender-latinamerica.com/informacion-tecnica/tecnologia/sistema-it/comparacion-entre-esquemas-de-conexion-para-el-suministro-electrico>
- Blog Tecnosol. (6 de Noviembre de 2019). *Baterías para energía solar. Conceptos y tipos de baterías*. Obtenido de <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/>
- Camacho Molina, D. J. (2012). *Implementación de un sistema fotovoltaico autónomo móvil de 1000W*. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Carminati, M., & Ragaini, E. (2015). Considerations on DC side grounding configurations of LVDC microgrids . *5th International Youth Conference on Energy (IYCE)*. Pisa, Italia: IEEE.
- Casallas Bohorquez, S., & Espinel Chacon, D. E. (2019). *Diseño de un algoritmo para la planeación incremental de redes rurales inalámbricas aplicado en la red libre de Bosachoque*. Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia: Universidad de Cundinamarca.
- Charalambous, C. A., Kokkinos, N. D., & Christofides, N. (2014). External Lightning Protection and Grounding in Large-Scale Photovoltaic Applications. *IEEE Transactions on electromagnetic compatibility, Vol. 56, No. 2, 427-434*.
- Crow, D. R., Liggett, D. P., & Scott, M. A. (2018). Changing the Electrical Safety Culture. *IEEE transactions on industry applications, Vol. 54, No. 1, 808-814*.
- Cruz Pardo, L. A., & Sanabria Pérez, L. F. (2018). *Evaluación comparativa del rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con carga variable en dc utilizando panel solar monocristalino versus policristalino, en*

condiciones climáticas del municipio de Fusagasugá. Fusagasugá:
Universidad de Cundinamarca.

Elektoystore. (6 de Noviembre de 2019). *Elektoystore*. Obtenido de NodeMCU microcontroller board with ESP8266 and Lua:
<https://www.elektor.com/nodemcu-microcontroller-board-with-esp8266-and-lua>

Energía solar. (6 de Noviembre de 2019). *Inversor de corriente*. Obtenido de
<https://solar-energia.net/definiciones/inversor.html>

Escamilla Rojas, D. F., & Romero Sánchez, D. S. (2017). *Diseño e Implementación de un Prototipo de Suministro de Energía Fotovoltaica a una Vivienda Ubicada en la Vereda Golconda (Anapoima Cundinamarca)*. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca.

Fernández García, A., Gutiérrez Escribano, C., Madrona Seijas, M. M., & Sánchez Smith, C. (2014). *Electrificación rural mediante sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Roraima, Brasil*. Roraima, Brasil.

Flórez Matamoros, J. P. (2019). *Estudio de factibilidad técnica para la implementación de sistemas eólicos y/o híbridos en la vereda San José del Chocho - Municipio de Sylvania (Cundinamarca), a partir de un sistema de adquisición de datos - DAQ*. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca.

Fuentes de energía. (6 de Noviembre de 2019). *Aerogeneradores*. Obtenido de
<https://fuentesdeenergiact.wordpress.com/fuentes-de-energia-renovables/eolica/aerogeneradores/>

Gomez Gil, O. J. (2018). *Diseño de un sistema de suministro eléctrico haciendo uso de energía solar fotovoltaica, para una vivienda unifamiliar rural en la vereda el Frisol del municipio de la Mesa Cundinamarca*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital "Fransisco José de Caldas".

Hernández, J. C., & Vidal, P. G. (2009). Guidelines for Protection Against Electric Shock in PV Generators. *IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 24*, 274 - 282.

ICONTEC. (1998). *Norma Técnica Colombiana 2050*. ICONTEC.

ICONTEC. (2008). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 1: Principios generales*. Bogotá D.C.: ICONTEC.

- ICONTEC. (2008). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 2: Manejo del riesgo*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- ICONTEC. (2008). *Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (rayos). Parte 3: Daños físicos a las estructuras y amenazas a la vida*. Bogotá D.C.: ICONTEC.
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. (2009). *Instalaciones de energía fotovoltaica pliego de condiciones técnicas de instalaciones Aisladas de red*. Madrid, España: IDAE.
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Ciencia canaria*. Madeira, Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Obtenido de Energías renovables y eficiencia energética.
- JD Market. (30 de Octubre de 2019). Obtenido de Multitoma Regleta Litesun Lts-6cxb, 1875w Cable 40cm 6 Tomas: <https://jd-market.com/tienda/multitoma-regleta-litesun-lts-6cxb-1875w-cable-40cm-6-tomas/>
- Kuongshun. (6 de Noviembre de 2019). *Kuongshun*. Obtenido de Módulo vendedor caliente de la fuente de alimentación de Breadboard de MB102 3.3V / 5V para el punto de Breadboard 830 de MB102: <http://www.szks-kuongshun.com/uno/uno-board-shield/hot-selling-mb102-3-3v-5v-breadboard-power.html>
- Man-hj. (30 de Octubre de 2019). *Amazon*. Obtenido de Regulador híbrido Solar del Viento 600W turbina de Viento 400W regulador Solar de la Carga del Panel 200W regulador automático de la batería 12V / 24V con la exhibición Grande del LCD : <https://www.amazon.es/Regulador-h%C3%ADbrido-regulador-autom%C3%A1tico-exhibici%C3%B3n/dp/B07KF4C4B8>
- Ministerio de ciencia y tecnología. (6 de Noviembre de 2019). *Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica*. Obtenido de ITC-BT-08: http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_08.pdf
- Ministerio de minas y energía. (6 de Agosto de 2008). Por la cual se modifica el reglamento técnico de instalaciones eléctricas -RETIE-. *Resolución número 18 1294*. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia: Republica de Colombia.

- National Instruments. (6 de Noviembre de 2019). *¿Qué es Adquisición de Datos?* Obtenido de National Instruments: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- Naylamp mechatronics. (5 de Noviembre de 2019). *Naylamp mechatronics*. Obtenido de Tutorial sensor de corriente ACS712: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html
- Ortiz, J. D. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, 103-117.
- Peña Cifuentes, O. A. (2019). *Prototipo de un cargador solar fotovoltaico autónomo para dispositivos móviles en la "finca la esperanza" de la universidad de Cundinamarca*. Fusagasugá: Universidad de Cundinamarca.
- Radioalpi. (30 de Octubre de 2019). *Mercado Libre*. Obtenido de Aerogenerador Aerocargador Turbina Eólica 400w 12v Regulador: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-713779159-aerogenerador-aerocargador-turbina-eolica-400w-12v-regulador-_JM
- Raspberry Pi Foundation. (6 de Noviembre de 2019). *Raspberry Pi 3 Model B*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Rodriguez Manrique, A. K., Cadena Monroy, Á. I., & Aristizábal Cardona, A. J. (2015). *Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca*. Unviersidad Tadeo Lozano.
- Scribd. (15 de Ocubre de 2013). *Scribd*. Obtenido de Ventajas y desventajas TN TT IT : <https://es.scribd.com/doc/176387614/Ventajas-y-Desventajas-TN-TT-IT?fbclid=IwAR0QUdJvj6bwjPYRIUexMkPSMDgNfUYGUPpJDBAJctVZ-QuezkTuFEL4qrly>
- SDEmx. (6 de Noviembre de 2019). *SDEmx*. Obtenido de ¿Qué es un sistema fotovoltaico?: <http://www.sde.mx/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>
- Sistemas eléctricos en centrales. (6 de Noviembre de 2019). *Criterios de elección de los sistemas TT, TN e IT*. Ediciones Paraninfo. Obtenido de Criterios de elección de los esquemas TT, TN e IT.
- Spacenet. (6 de Noviembre de 2019). *Spacenet*. Obtenido de Patent research: <https://worldwide.espacenet.com/>

- SurtrTech. (21 de Enero de 2019). *SurtrTech*. Obtenido de Easy measure of AC Voltage using Arduino and ZMPT101B: <https://surtrtech.com/2019/01/21/easy-measure-of-ac-voltage-using-arduino-and-zmpt101b/>
- Syrío power. (30 de Octubre de 2019). *Punto Energia*. Obtenido de Inversor 600W 12V onda modificada 1200W AC 230 Camper fotovoltaica coche: <https://www.puntoenergiashop.it/es/inversor-off-grid/3528-inversor-600w-12v-onda-modificada-1200w-ac-230-camper-fotovoltaica-coche-8380000000234.html>
- Tecnología. (6 de Noviembre de 2019). *Tecnología* . Obtenido de Efecto Fotovoltaico: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>
- Tobón Perdomo, A. B. (2018). *Infraestructura de red física, en la vereda Bosachoque del municipio de Fusagasugá*. Fusagasugá: UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.
- U.S. Department of Energy. (20 de Octubre de 2019). *Energy.gov*. Obtenido de Hybrid wind and Solar electric systems: <https://www.energy.gov/energysaver/buying-and-making-electricity/hybrid-wind-and-solar-electric-systems>
- Unión internacional de telecomunicaciones. (1996). *Protección contra incendios*. Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT.
- Universidad nacional del centro del Perú. (2015). *Pararrayos*. Lima: Universidad nacional del centro del Perú.
- Vistronica. (6 de Noviembre de 2019). *Vistronica*. Obtenido de Computador Raspberry Pi 3 Modelo B (EXT IVA): <https://www.vistronica.com/board-desarrollo/board-raspberry-pi-3-modelo-b-detail.html>
- Vistronica. (6 de Noviembre de 2019). *Vistronica*. Obtenido de Arduino Mega 2560 R3 Compatible.
- Vistronica. (6 de Noviembre de 2019). *Vistronica*. Obtenido de Modulo Ethernet Shield W5100 Para Arduino: <https://www.vistronica.com/board-desarrollo/arduino/shield/modulo-ethernet-shield-w5100-para-arduino-detail.html>

Wikipedia. (6 de Noviembre de 2019). *Energía eólica*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

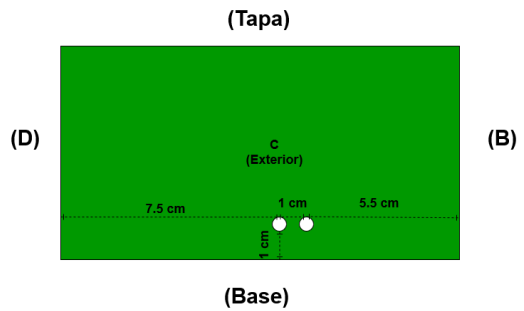
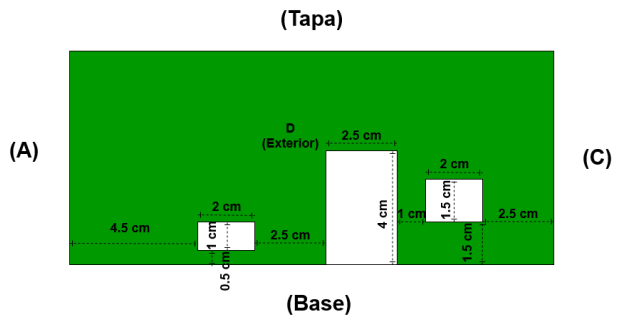
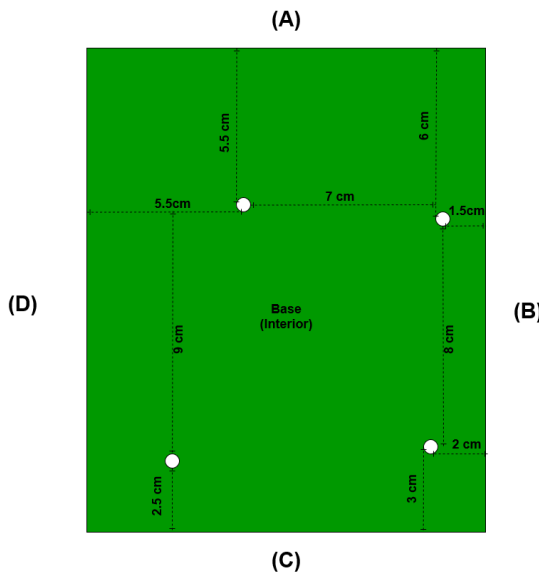
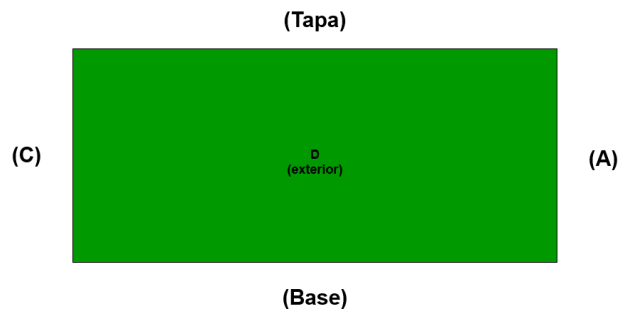
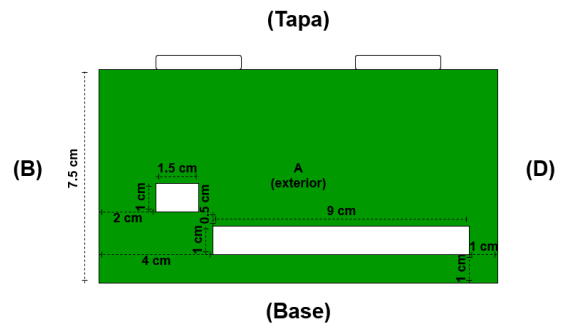
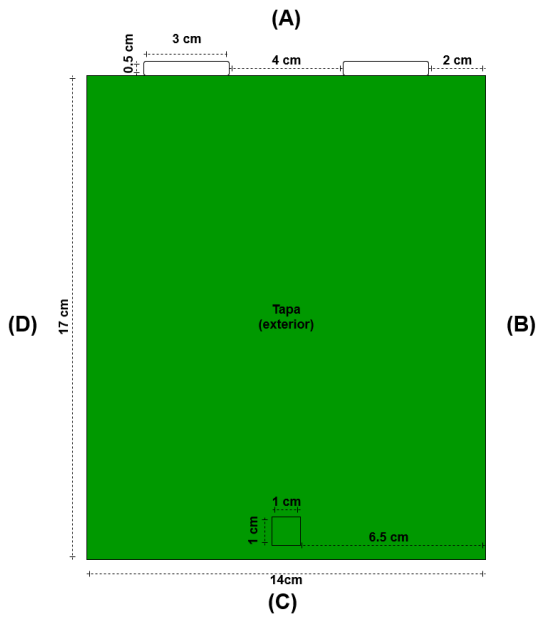
Wikipedia. (6 de Noviembre de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de Energía solar: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

Wiles, J. (2019). *INFORME SAND96-2797 · UC-1290 Sistemas de Energía Fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional: Prácticas Recomendadas*. Las cruces: Southwest Technology Development Institute.

WIPO. (6 de Noviembre de 2019). *PatentScope*. Obtenido de Wipo ip portal: <https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>

Ziar, H., Farhangi, S., & Behzad, A. (2014). Modification to Wiring and Protection Standards of Photovoltaic Systems. *IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS*, VOL. 4, NO. 6, 1603-1609.

Apéndice 1: Diseño de la caja protectora



Apéndice 2: Tabla de especificaciones panel fotovoltaico.

Véase en el archivo anexo 1.

Apéndice 3: Registros de adquisición de datos

Véase en el archivo anexo 2.