

CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 057 – 2020

CONTRATANTE: IPSE

CONTRATISTA: CONSORCIO CONSENER 2020

**PROYECTO: “CONSTRUCCION DE SISTEMAS INDIVIDUALES SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA LAS
UNIDADES COMUNITARIAS DE ATENCIÓN “UCAS” RURALES Y DISPERSAS DE LAS ZNI DEL
MUNICIPIO DE RÍOHACHA, DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA”**

MEMORIA DE CÁLCULOS

Elaborado por:



JOHN JAIRO CORREA GARCÉS

Ingeniero Electricista

M.P. N° 05205-11294

Yopal, Diciembre del 2021

Tabla de contenido

1	Introducción	6
2	Localización del proyecto	11
3	No. de usuarios a beneficiar	12
4	Caracterización de la carga	13
5	Estimación de la radiación solar.....	18
6	Dimensionamiento técnico del SISFV.....	25
6.1	Cálculo del rendimiento energético del SISFV	25
6.2	Datos de entrada.....	26
6.3	Cálculo de la generación fotovoltaica	28
6.4	Cálculo del almacenamiento de energía en batería.....	29
6.5	Cálculo del controlador de carga	29
6.6	Cálculo del inversor	30
6.7	Cálculo de protecciones y conductores	30
6.8	Simulación de la operación del SISFV dimensionado.....	32
6.9	Producción de energía del SISFV dimensionado	35
6.10	Resumen del SISFV dimensionado	36
7	Análisis de riesgos de origen eléctrico y su mitigación	41
8	Distancias de seguridad.....	48
9	Sistema de puesta a tierra.....	49
9.1	Medición de resistividad	49
9.2	Cálculo de la puesta a tierra.....	53
10	Anexos	56
10.1	Certificado de calibración de los equipos	56
10.2	Informe geológico - geotécnico.....	56
10.3	Cálculo estructural soporte paneles.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. No. de UCAS rurales dispersas a beneficiar con SISFV en las ZNI del Municipio de Ríoacha del Departamento de La Guajira	12
Tabla 2. Aparatos eléctricos seleccionados para satisfacer las necesidades básicas energéticas de una Unidad Comunitaria de Atención “UCA” en las ZNI del Municipio de Ríoacha, La Guajira	14
Tabla 3. Estimación del tiempo horario diario de uso de los aparatos eléctricos para una UCA dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira.....	15
Tabla 4. Consumo estimado de energía eléctrica mensual y anual para una UCA rural dispersa en las ZNI de Colombia	16
Tabla 5. Coordenada de la cabecera municipal de Ríoacha, La Guajira.....	19
Tabla 6. Datos meteorológicos y de irradiación solar horizontal inclinada mensual y anual del Municipio de Ríoacha, La Guajira, de la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo”	20
Tabla 7. Radiación solar promedio mensual y anual en superficie plana e inclinada de 12°, y radiación solar diaria promedio mensual y anual inclinada de 12°, a la latitud del municipio de Ríoacha, La Guajira de acuerdo a la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo”	21
Tabla 8. Datos de radiación solar diaria mensual mínima y máxima y promedio anual del Municipio de Ríoacha, La Guajira, de la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo” y del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”	22
Tabla 9. Promedio horario diario mensual de la radiación solar en la Estación Aeropuerto Almirante Padilla en Ríoacha del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”	23
Tabla 10. Cálculo del rendimiento energético de un SSFVI	25
Tabla 11. Datos de entrada para dimensionar el SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI ..	27
Tabla 12. Dimensionamiento del generador fotovoltaico de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI	28
Tabla 13. Dimensionamiento del almacenamiento de energía en batería de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI.....	29
Tabla 14. Dimensionamiento del controlador de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI	29
Tabla 15. Dimensionamiento del inversor de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI ..	30
Tabla 16. Dimensionamiento de las protecciones y los conductores de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI.....	30
Tabla 17. Calculo regulación conductores tensión DC para el SISFV	31
Tabla 18. Calculo regulación conductores tensión AC del SISFV.....	31
Tabla 19. Producción de energía eléctrica del SISFV de 800 Wp dimensionado, en los años 0, 10 y 25 de uso	35
Tabla 20. Resumen del SISFV de 800 Wp dimensionado para suministrar electricidad a una UCA rural dispersa en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira	36
Tabla 21. Descripción de los elementos que componen el SISFV de 800 Wp dimensionado	37
Tabla 22. Especificaciones técnicas del sistema de medición prepago del SISFV.....	39

Tabla 23. Cuadro de cargas instalaciones eléctricas internas de una UCA rural	39
Tabla 24. Características técnicas mínimas de las instalaciones eléctricas internas	40
Tabla 25. Decisiones y acciones para controlar el riesgo según modelo del RETIE	41
Tabla 26. Matriz de riesgos por ausencia de electricidad según modelo del RETIE	42
Tabla 27. Matriz de riesgos por contacto directo e indirecto según modelo del RETIE	42
Tabla 28. Matriz de riesgos por arcos eléctricos según modelo del RETIE	43
Tabla 29. Matriz de riesgos por sobrecarga según modelo del RETIE	43
Tabla 30. Matriz de riesgos por tensión de paso y contacto según modelo del RETIE	44
Tabla 31. Matriz de riesgos por cortocircuito según modelo del RETIE	44
Tabla 32. Matriz de riesgos por electricidad estática según modelo del RETIE	45
Tabla 33. Matriz de riesgos por equipos defectuosos según modelo del RETIE	45
Tabla 34. Matriz de riesgos por rayos según modelo del RETIE	46
Tabla 35. Resumen de la evaluación de cada uno de los riesgos contemplados, sus posibles causas y las acciones de mitigación, según modelo del RETIE	47
Tabla 36. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Jirrawaikat del Municipio de Ríoacha, La Guajira	52
Tabla 37. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena La Laguna del Municipio de Ríoacha, La Guajira	52
Tabla 38. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Cucurumana del Municipio de Ríoacha, La Guajira	52
Tabla 39. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Juliakat del Municipio de Ríoacha, La Guajira	53
Tabla 40. Resumen de las mediciones de resistividad en el Municipio de Ríoacha	53
Tabla 41. Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra para el SISFV diseñado	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Municipio de Ríoacha, Departamento de La Guajira	11
Figura 2. Necesidades energéticas promedio arrojadas por las encuestas para las UCAS rurales en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira	13
Figura 3. Curva de carga horaria diaria inicial de una UCA rural dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira	16
Figura 4. Gráfico del consumo mensual inicial para una UCA rural dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira	17
Figura 5. Trayectoria solar en una superficie situada en el hemisferio norte	18
Figura 6. Curva de radiación solar promedio horaria diaria inclinada a 11° en el mes de noviembre en el Municipio de Ríoacha, La Guajira del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”	24

Figura 7. Simulación de la operación del SISFV de 800 Wp dimensionado en condiciones normales de servicio con 14 días soleados en el año 10 de operación	33
Figura 8. Simulación de la operación del SISFV de 800 Wp dimensionado en condiciones normales de servicio con 1 día sin sol y luego 13 días soleados (autonomía de 1 día) en el año 10 de operación	34
Figura 9. Diagrama de conexión del telurómetro METREL MI-3123 para efectuar la medida de resistividad del terreno en el municipios de Ríohacha, La Guajira, utilizando el método de los cuatro puntos de WENNER.....	49
Figura 10. Medición resistividad terreno comunidad indígena Jirrawaikat del municipio de Ríohacha	50
Figura 11. Medición resistividad terreno comunidad indígena La Laguna del municipio de Ríohacha	50
Figura 12. Medición resistividad terreno comunidad indígena Cucurumana del municipio de Ríohacha.....	51
Figura 13. Medición resistividad terreno comunidad indígena Juliakat del municipio de Ríohacha	51
Figura 14. Sistema de puesta a tierra proyectado para el SISFV de acuerdo al RETIE.....	55

1 Introducción

“El modelo actual de expansión del sector eléctrico representa un gran reto para llevar el servicio de electricidad a la población que vive en las zonas rurales y no interconectadas, por lo tanto, requieren de un entorno institucional y legal que tenga en cuenta las particularidades de la dinámica social, económica y ambiental de dichas zonas, para la implementación de soluciones energéticas estructurales y sostenibles en zonas aisladas y no interconectadas, con baja densidad de población y carencia en infraestructura básica. El numeral 1.3.1.3. del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, en desarrollo de la “Reforma Rural Integral”, señala que, con el propósito de garantizar condiciones de vida digna, el Gobierno Nacional diseñará e implementará un Plan Nacional de Electrificación Rural, PNER, que tendrá en cuenta las diferentes soluciones aplicables en materia energética, las necesidades reportadas por las entidades territoriales y las comunidades, y las condiciones socio ambientales de los hogares, así como alternativas de electrificación individual o colectiva”.

“En este sentido y como respuesta a lo establecido en el Decreto 884 de 2017, “Por el cual se expiden normas tendientes a la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera” el Ministerio de Minas y Energía expidió la Resolución 40809 de agosto 2 de 2018, mediante la cual se adoptaron los lineamientos del Plan Nacional de Electrificación Rural –PNER con focalización en las áreas de posconflicto. Dicho Plan, en su numeral 9.1 “Indicadores generales 2018 – 2031” definió para el IPSE, una estimación indicativa de 21.000 nuevos usuarios para la ampliación del servicio de energía en el periodo 2019 – 2022, focalizados en los municipios PDET, siguiendo los criterios establecidos en los numerales 5.1 a 5.3 para la priorización de recursos y la implementación de proyectos de ampliación de la cobertura, así como los criterios definidos en los supuestos técnicos, financieros, presupuestales, sociales, entre otros.”

“Así mismo, en septiembre de 2015, 193 países incluido Colombia, adoptaron un conjunto de objetivos para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la prosperidad para todos, como parte de la nueva Agenda de Desarrollo, denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, incluidos en el documento CONPES 3918 de 2018, que establece 16 metas trazadoras y el mismo número de indicadores, para realizar el seguimiento al cumplimiento de los mismos.”

“Dentro de los ODS, en su objetivo No 7, se incluyó el de “Energía Asequible y no Contaminante”, consistente en garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, dentro del cual se ha planteado como metas:

- Para 2030, garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos.

- Para 2030, aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía.

- Para 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

- Para 2030, aumentar la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación y las tecnologías energéticas no contaminantes, incluidas las fuentes de energía renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructuras energéticas y tecnologías de energía no contaminante.

- Para 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.”

“Con relación a todo lo anterior y en cumplimiento de su misión, el IPSE adelanta el presente estudio contratado para la estructuración y diseño de proyectos energéticos sostenibles para el mejoramiento de la infraestructura eléctrica en las localidades de las Zonas No Interconectadas.”

“Igualmente, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 2.2.3.6.3.2.2.1. del Decreto 1073 de 2015, denominado “Lineamientos generales del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE”, se preceptúa lo siguiente: “Para el diseño del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, el Ministerio de Minas y Energía tendrá en cuenta aspectos sociales, ambientales, culturales, informativos, financieros y técnicos, a fin de crear las condiciones del Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, según los siguientes criterios:

e) Fomentar la modernización e incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos.

f) Fomentar el uso de energéticos eficientes, económicos y de bajo impacto ambiental.

La meta del Gobierno para el año 2030, es lograr una cobertura del 100%, en la prestación del servicio de energía eléctrica.”

“De conformidad con lo dispuesto en el artículo 2.2.3.6.3.2.2.1. del Decreto 1073 de 2015, denominado “Lineamientos generales del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE”, se preceptúa lo siguiente: “Para el diseño del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, el Ministerio de Minas y Energía tendrá en cuenta aspectos sociales, ambientales, culturales, informativos, financieros y técnicos, a fin de crear las condiciones del Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, según los siguientes criterios:

a) Fomentar la utilización de fuentes energéticas convencionales y no convencionales con criterios de uso racional y eficiente, incluso a través de sistemas de cogeneración.

g) Fomentar la modernización e incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos.

h) Fomentar el uso de energéticos eficientes, económicos y de bajo impacto ambiental.”

“Así mismo, el artículo 2.2.3.3.2.3.1. del Decreto 1623 de 2015, denominado Expansión de la Cobertura del Servicio de energía eléctrica en zonas aisladas, señala: “La ampliación de cobertura del servicio de energía eléctrica a usuarios a quienes no sea económicamente eficiente conectar al SIN, se realizará mediante soluciones aisladas centralizadas o individuales y microredes, las cuales serán construidas y operadas principalmente por OR del SIN, o a través de esquemas empresariales tales como Áreas de Servicio Exclusivo, ASE. Dichas inversiones podrán ser realizadas tanto con recursos públicos como con inversiones a riesgo efectuadas por empresas prestadoras del servicio. En este último caso las inversiones serán remuneradas a través de tarifas.

Parágrafo 1. Para la determinación de las soluciones aisladas mencionadas en este artículo, las empresas deberán priorizar fuentes no convencionales de energía o gas licuado de petróleo, según sea económicamente eficiente.

Parágrafo 2. La vinculación de capital privado en la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica continuará rigiéndose exclusivamente por lo establecido en la Ley 142 de 1994 y en el régimen de ASE.”

“Una de las necesidades, es la identificación, formulación, estructuración y diseño de proyectos desde su fase de perfil, hasta llevarlos a factibilidad y diseño de detalle, priorizando soluciones energéticas sostenibles con fuentes convencionales y no convencionales, que incluye generación y distribución de energía a los usuarios. En este caso, la formulación y estructuración de proyectos permite definir la solución técnica y financiera más adecuada para cada región, ya sea mediante proyectos de interconexión, soluciones centralizadas o soluciones aisladas con fuentes convencionales y no convencionales de energía, que permiten llegar a usuarios dispersos en la geografía nacional. Por lo anterior, la formulación, estructuración y diseño de proyectos que se deriven del eventual contrato que se suscriba, cumplirán en todo con los preceptos de sostenibilidad y eficiencia energética.”

“Además, la estructuración de proyectos permite desarrollar la etapa previa a la implementación de proyectos energéticos, orientados al cumplimiento de las metas fijadas en la Matriz Marco de Implementación de Acuerdos para la Paz – MPI, cuya estrategia de “Garantizar el acceso y la ampliación de la cobertura eléctrica” tiene dos líneas de acción: “Ampliación de cobertura eléctrica” y “Promoción y aplicación de soluciones tecnológicas apropiadas de generación de energía”. Los indicadores asociados a estas líneas de trabajo apuntan al cumplimiento de las metas fijadas en cuanto a nuevos usuarios con servicio de energía eléctrica y capacidad instalada de fuentes no convencionales de energía y de soluciones tipo híbrido en las ZNI, los cuales se reportan al DNP en el Sistema Integrado de Información para el Posconflicto, con el fin de verificar el cumplimiento de los compromisos adquiridos por el IPSE y por el sector minero energético en los acuerdos de paz.”

“Las metas sectoriales definidas en el Plan Nacional de Electrificación Rural - PNER en cuanto a cobertura para las ZNI, se revisaron y actualizaron en mesas de trabajo con funcionarios del Ministerio de Minas y Energía, en donde se estableció para los próximos cuatro años desarrollar proyectos energéticos para 100.000 nuevos usuarios, 90.000 de ellos en áreas rurales, lo cual exige al IPSE, a través de la Subdirección de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, un trabajo coordinado, riguroso, concertado y eficaz en la formulación, estructuración y diseño de proyectos energéticos sostenibles, a fin de ser implementados con recursos asignados al instituto por el PGN o presentados a los diferentes fondos de financiación para asignación de recursos.”

“Por lo anotado anteriormente, se determinó como alternativa viable, en primer lugar, la formulación, estructuración y diseño de soluciones técnica y financieramente viables en zonas rurales de las ZNI, las cuales, en su alcance, llevan como componente esencial el esquema de sostenibilidad y el análisis presupuestal, lo que hace que su ejecución garantice una buena implementación en etapas posteriores.”


“Según se establece en el Índice Cobertura de Energía Eléctrica - ICEE 2018 publicado por la UPME, (que se encuentra en etapa de comentarios), existen aún 504.878 familias, que no cuentan con el servicio básico de energía eléctrica en nuestro país, de las cuales, se contempla que 207.656 corresponden a las Zonas No Interconectadas - ZNI. En este sentido y en concordancia con la misión del IPSE, se hace necesario identificar, formular, estructurar y diseñar las soluciones energéticas más viables técnica y financieramente para estas comunidades, teniendo en cuenta sus posibilidades de desarrollo al contar con el servicio de la energía y sus capacidades para garantizar la sostenibilidad a futuro de cada proyecto.”

“Teniendo en cuenta lo anterior, se hace evidente la necesidad de la formulación, estructuración y diseño de proyectos energéticos sostenibles, ya que, por tratarse de un proyecto de infraestructura, orientado a satisfacer alguna necesidad básica, debe surtir necesariamente las etapas de prefactibilidad, factibilidad y diseño para poder garantizar una buena ejecución posterior, a costos razonables y con criterios de sostenibilidad en el tiempo.”

(Fuente: Pliego de Condiciones IPSE-SPE-CM-001-2020 y Contrato de Consultoría No. 057 – 2020).

En base a todo lo anteriormente expuesto, el IPSE efectúa la contratación de la consultoría para el grupo 2: Región Caribe y Antioquia, con el CONSORCIO CONSENER 2020, para *“Formular, estructurar y diseñar proyectos energéticos sostenibles para la ampliación de la cobertura en las localidades de las zonas no interconectadas del País – Región Caribe y Antioquia”*, para un total de siete mil cuatrocientos treinta y un (7.431) usuarios.

Dentro del contexto anterior este documento expone el diseño técnico necesario para una solución energética mediante la implementación de sistemas individuales solares fotovoltaicos (SISFV), que de acuerdo al análisis técnico, económico y ambiental, arroja ser la fuente energética óptima para implementar en el Municipio de Ríoacha, Departamento de La Guajira, brindando un servicio de energía eléctrica confiable, seguro y continuo (24 horas diarias haciendo uso racional de la energía), satisfaciendo las necesidades básicas, para que sus habitantes gocen de buenas condiciones de vida

 <p>Consortio CONSENER2020 NIT. 901389914-5</p>	<p>Contrato No. 057 de 2020</p> <p>Formular, estructurar y diseñar proyectos energéticos sostenibles para la ampliación de la cobertura en las localidades de las Zonas No Interconectadas del País – Región Caribe y Antioquia</p>
---	---

y confort, de tal forma que puedan acceder a la refrigeración, el proceso de alimentos, la iluminación, el esparcimiento y el acceso a las TICS.

En el presente estudio se contempla el SISFV como la solución más apropiada para las familias de las comunidades asentadas en las ZNI del Municipio de Ríoacha, Departamento de La Guajira, debido a las buenas condiciones de potencial solar en esta zona de Colombia. Según la información recolectada en campo, durante el desarrollo del contrato de consultoría No. 057-2020 celebrado entre el IPSE y el CONSORCIO CONSENER 2020, se levantan ciento ochenta y cuatro (184) usuarios consistentes en Unidades Comunitarias de Atención “UCAS”, distribuidos en ciento veintidós (122) comunidades indígenas del municipio de Ríoacha en el Departamento de La Guajira.

2 Localización del proyecto

En coordinación con la Alcaldía de Ríohacha y su respectiva Oficina de Planeación Municipal, ubicado en el Departamento de La Guajira, junto con el IPSE y el operador de red de la zona, AIR-E S.A.S. E.S.P., se seleccionan los usuarios de las veredas ubicadas en las ZNI del municipio objeto de este estudio, sin servicio de electricidad, para efectuar el levantamiento de los usuarios que las habitan, con el fin de caracterizar su consumo energético y diseñar el SISFV que garantice dicho servicio público a sus pobladores.

En la siguiente figura se detalla el mapa del Municipio de Ríohacha del Departamento de La Guajira, ubicado en la región Caribe Colombiana.



Figura 1. Mapa del Municipio de Ríohacha, Departamento de La Guajira.

Fuente: Wikipedia

3 No. de usuarios a beneficiar

En el proyecto se levantaron ciento ochenta y cuatro (184) usuarios rurales dispersos consistentes en Unidades Comunitarias de Atención “UCAS”, distribuidos en ciento veintidós (122) comunidades indígenas en las ZNI del Municipio de Ríoacha, ubicado en el Departamento de La Guajira, detallados en la siguiente tabla.

UCAS MUNICIPIO DE RÍOACHA, LA GUAJIRA								
No.	COMUNIDAD INDÍGENA	No. USUARIOS	No.	COMUNIDAD INDÍGENA	No. USUARIOS	No.	COMUNIDAD INDÍGENA	No. USUARIOS
1	ALJOTE	4	42	JERREJERREMANA	1	83	PARRALUAIN	1
2	ALPANASIRA	1	43	JIRRAWAIKAT	4	84	PATAGONIA	1
3	AMAMANA	1	44	JOKOMAO	2	85	PORVENIR	1
4	AMUTKOU	1	45	JOPE	1	86	PUENTE PALO	1
5	ANARALITO NUEVO	2	46	JOTOMANA	1	87	PUERTO NUEVO	1
6	ANGOSTURA	2	47	JULIAKAT	1	88	PULITCHAMANA	1
7	ANOUSHIMANA	1	48	JULIANCHON	1	89	RIOHACHA	1
8	ARITAURE	1	49	JULUAIPA	1	90	ROMONERO	1
9	AYATPANA	1	50	JUTPUNARE	1	91	SABANA	2
10	BELEN	1	51	JUTUMANA	1	92	SABANA PIEDRA	1
11	BUENA VISTA	2	52	KAITINMANA	1	93	SANTA CLARA	3
12	CAIMARA	1	53	KALINASIRRA	1	94	SANTA CRUZ	1
13	CAMARONES	2	54	KAMUCHASAIN	3	95	SANTA LUCÍA	1
14	CARDONAL	1	55	KANEWAKAT	1	96	SEIBACAL	1
15	CASCABEL	1	56	KAPUCHIRAPU	1	97	SHURUINPA	1
16	CEIBA	2	57	KASUTALAIN	1	98	SOLVITA	1
17	CERRILLO	1	58	KAULAYAPALE	1	99	SUSULEIN	1
18	CERRO AZUL	1	59	KEWIRRASHI	1	100	TABLAZO	1
19	CERRO PLANO	1	60	KOICHIMA	1	101	TORINCHEN	1
20	CIRUELO	3	61	LA PIEDRECITA	1	102	TRAMPA DEL TIGRE	1
21	CORRAL VIEJO	1	62	LIMONAL	1	103	TRINIDAD	1
22	CUCURUMANA	15	63	LOS REMEDIOS	1	104	ULESHICHON	1
23	DIOS VERA	1	64	MACOYA	2	105	ULISHIMANA	1
24	DIVIDI	1	65	MAISHIMANA	2	106	UNAAPUCHON	13
25	EL COLORAO	2	66	MAISHISHI	1	107	URRAICHI	1
26	EL MOJAN	3	67	MAKUREMA	1	108	USIMANA	1
27	EL POZO	1	68	MALAWAIKAT	1	109	VIA SANTA MARTHA	1
28	ESPERANZA	1	69	MALAWAISAU	1	110	VILLA JULIA	1
29	ETKISHIMANA	2	70	MAÑATU	2	111	VILLA MARTÍN	6
30	GALILEA	2	71	MAWIPA	1	112	VILLA MARTÍN MACHOBAYO	1
31	GELLUPULE	2	72	MIECHIKA	1	113	WACTAKIRAT	1
32	GUACHAQUERO	1	73	MOCHOMANA	1	114	WARRAIKAT	1
33	GUATAPIRO	1	74	MONTE VERDE	1	115	WASIMO	2
34	GUAYABITAL	1	75	MURALAIN	1	116	WAYAWIKAT	1
35	GUAYABITAL2	1	76	NUEVA ESPERANZA	1	117	WERRUKA	1
36	HONCHON	1	77	NUEVA VIDA	1	118	WIRMANA	1
37	IPAMANA	1	78	NUMANAO	1	119	WIVITAIN	1
38	ISHINANA	1	79	OCHO PALMAS	1	120	WUALUAIN	1
39	JASACHON	2	80	OKUSHIMANA	1	121	WUAYUCHINKAL	1
40	JASAISHIAU	2	81	PALMARITO	1	122	YOULECHON	1
41	JAYAPAMANA	1	82	PANTERRAMANA	1	TOTAL		184

Tabla 1. No. de UCAS rurales dispersas a beneficiar con SISFV en las ZNI del Municipio de Ríoacha del Departamento de La Guajira

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las encuestas realizadas a las UCAS para determinar las necesidades energéticas de estos usuarios, se procede a dimensionar sus cargas.

4 Caracterización de la carga

A continuación se detalla la caracterización de la carga de las ciento ochenta y cuatro (184) UCAS, levantadas en las comunidades indígenas del municipio de Ríoacha, objeto del presente estudio, en el departamento de La Guajira, de acuerdo a los aparatos eléctricos seleccionados, y según las necesidades energéticas arrojadas por las encuestas realizadas.

A continuación se detallan las necesidades energéticas promedio arrojadas por las encuestas realizadas a las UCAS del municipio de Ríoacha, La Guajira.

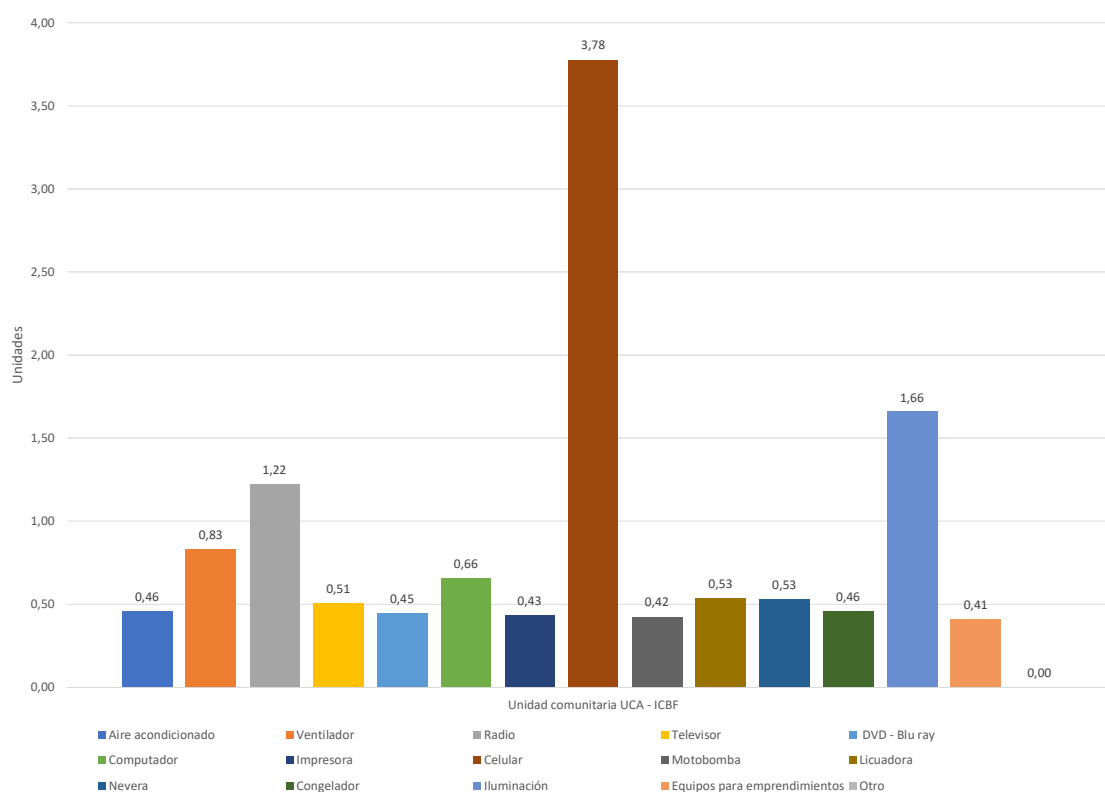


Figura 2. Necesidades energéticas promedio arrojadas por las encuestas para las UCAS rurales en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

Según las encuestas efectuadas a las UCAS, estas arrojan unas necesidades energéticas similares a las establecidas a continuación, de acuerdo a los aparatos eléctricos seleccionados para satisfacer las necesidades energéticas básicas, de acuerdo al tipo de construcción en que se presta dicho servicio, el cual consta de un salón y una cocina, para atender un promedio de quince (15) niños.

Aparatos Eléctricos	Potencia (W)	Cantidad Un
Lámpara LED	9	4
Ventilador	60	1
TV LED	70	1
Nevera	70	1
Congelador	70	1
Radio AM/FM	25	1
Licuada	450	1
Toma multipropósito	30	2
Cargador Celular	5	1

Tabla 2. Aparatos eléctricos seleccionados para satisfacer las necesidades básicas energéticas de una Unidad Comunitaria de Atención “UCA” en las ZNI del Municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla, con base en los aparatos eléctricos utilizados, se caracteriza la carga horaria diaria para cada UCA del municipio de Ríoacha, La Guajira, de acuerdo a la demanda máxima de consumo establecida en la anterior tabla.

Hora	Lámpara LED		Ventilador	TV LED 32"	Nevera 135 Lt	Congelador 150 Lt	Radio AM/FM	Licuadora	Toma		Cargador Celular	Potencia W	Consumo	
	No.	Uso							No.	Uso			Wh-día	KWh-
		9 W	60 W	70 W	70 W	70	25 W	450 W	30 W		5 W			
0					0,1	0,1						140	14	0,43
1					0,1	0,1						140	14	0,43
2					0,1	0,1						140	14	0,43
3					0,1	0,1						140	14	0,43
4					0,1	0,1						140	14	0,43
5					0,2	0,2						140	28	0,85
6					0,3	0,3					1	145	47	1,43
7					0,3	0,3						140	42	1,28
8					0,3	0,3						140	42	1,28
9					0,4	0,4						140	56	1,70
10					0,4	0,4	1					165	81	2,46
11					0,5	0,5	1					165	95	2,89
12			1	1	0,5	0,5		0,1	2	1		780	305	9,28
13					1	1	1					165	165	5,02
14					1	1						140	140	4,26
15					0,5	0,5						140	70	2,13
16					0,5	0,5						140	70	2,13
17					0,4	0,4						140	56	1,70
18	4	1		1	0,2	0,2			2	1	1	284	199	6,05
19	4	1		1	0,2	0,2						219	134	4,08
20					0,2	0,2						140	28	0,85
21					0,2	0,2						140	28	0,85
22					0,2	0,2						140	28	0,85
23					0,2	0,2						140	28	0,85
TOTAL		2	1	3	8	8	3	0,1		2	2	780	1712	52

Tabla 3. Estimación del tiempo horario diario de uso de los aparatos eléctricos para una UCA dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración Propia

Se observa como la carga estimada en la anterior tabla para una UCA es de un consumo diario inicial de 1712 Wh, equivalente a un consumo promedio mensual inicial de 52 KWh. Esto permite facilitar el dimensionamiento del SISFV a implementar, pues se requiere un sistema con la misma capacidad para cada UCA, estandarizando su implementación.

En la siguiente figura se muestra la curva de carga horaria diaria inicial obtenida para una UCA rural del municipio de Ríoacha, La Guajira, de acuerdo a la Tabla 3.

CURVA DE CARGA DIARIA DE UNA UCA EN EL MUNICIPIO DE RÍOHACHA, LA GUAJIRA

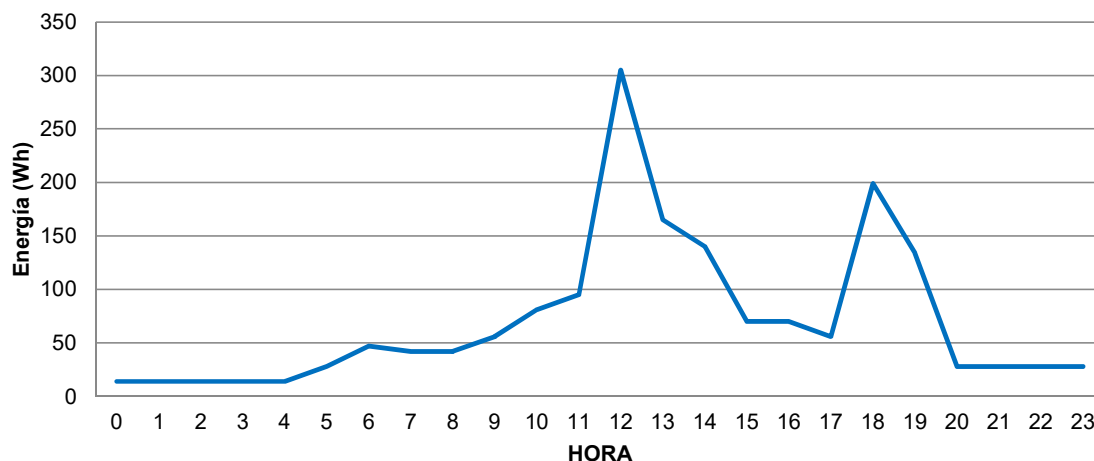


Figura 3. Curva de carga horaria diaria inicial de una UCA rural dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se detalla el consumo mensual y anual inicialmente proyectado para una UCA rural dispersa en el municipio de Ríoacha, La Guajira.

Periodo	Días	KWh
Enero	31	53
Febrero	28	48
Marzo	31	53
Abril	30	51
Mayo	31	53
Junio	30	51
Julio	31	53
Agosto	31	53
Septiembre	30	51
Octubre	31	53
Noviembre	30	51
Diciembre	31	53
Anual	365	625

Tabla 4. Consumo estimado de energía eléctrica mensual y anual para una UCA rural dispersa en las ZNI de Colombia

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente figura se muestra la gráfica del consumo mensual inicial estimado en la anterior tabla.

ENERGIA MENSUAL DEMANDADA UCA EN EL MUNICIPIO DE RÍOHACHA, LA GUAJIRA

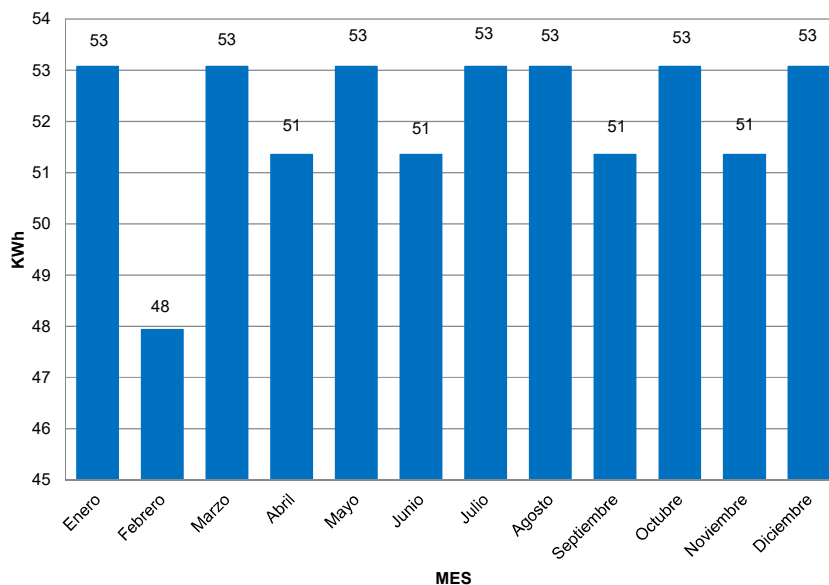


Figura 4. Gráfico del consumo mensual inicial para una UCA rural dispersa en el municipio de RíoHacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se debe dimensionar un SISFV que satisfaga mínimo la demanda promedio de energía eléctrica de 52 KWh/mes a cada UCA, a los diez (10) años de ejecución del proyecto, con una tasa de crecimiento nula porque cada UCA atiende en promedio quince (15) niños durante su tiempo de operación, y en caso de que resulten más niños a lo largo del tiempo, se abren nuevas UCAS, pero no se recargan más las UCAS existentes.

5 Estimación de la radiación solar

La siguiente figura muestra una superficie situada en el hemisferio norte, donde el sol sigue una trayectoria este-sur-oeste. Si se pretende maximizar la captación de energía solar, la superficie tendrá que estar orientada hacia el sur y por lo tanto el ángulo de acimut (α) debe ser nulo. El acimut óptimo para que una superficie fija reciba la mayor cantidad posible de energía solar diaria debe ser cero ($\alpha = 0^\circ$). La superficie se debe orientar hacia el sur si está situada en el hemisferio norte o hacia el norte si es está en el hemisferio sur.

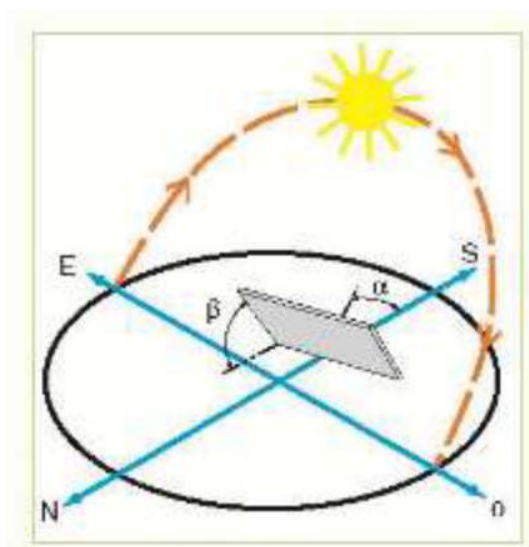


Figura 5. Trayectoria solar en una superficie situada en el hemisferio norte

Fuente: <http://calculationsolar.com/blog/?m=201212>

Para determinar la inclinación óptima (β_{opt}) de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes (ϕ), que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi|$$

De acuerdo al documento “Proyecto Tipo: Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Individuales en Zonas No Interconectadas” elaborado por el DNP – Ministerio de Minas y Energía – IPSE en julio del 2020, se sugiere colocar los paneles SFV con un grado de inclinación igual a la latitud del lugar, y en caso de que esta esté por debajo de los 10° , se debe instalar los paneles con un ángulo de inclinación mínimo de 10° (sur a norte) para así garantizar que los módulos se autolaven con las lluvias.

Para determinar los niveles de radiación solar en las ZNI del municipio de Ríoacha, departamento de La Guajira donde se levantarán los usuarios rurales, se utiliza la herramienta “Meteonorm”, fuente de una base de datos de irradiación solar en la industria de la energía solar, ampliamente usada y aceptada. Lleva más de 30 años de haber sido desarrollada y se ha convertido en la base de datos estándar para las simulaciones con energía solar. También es la base de datos de algunos de los programas de diseño de sistemas solares fotovoltaicos más reconocidos, tales como PVSYST y PVSOL. Fue desarrollada por Meteotest (Suiza) y financiada por la Oficina Federal de Energía de Suiza. La base de datos de “Meteonorm” se alimenta de 8325 estaciones meteorológicas en todo el mundo, de las cuales 800 estaciones meteorológicas están ubicadas en Centro y Sur América, así como de 5 satélites Geoestacionarios con cobertura global. Integra avanzados modelos de interpolación que permiten extraer datos climáticos de cualquier lugar con una gran precisión. El estándar de los datos históricos para irradiación solar es desde 1991 hasta 2010 (20 años). Se utiliza la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo”, la cual es de uso gratuito.

Las coordenadas de la cabecera municipal de Ríoacha, La Guajira, objeto del estudio se detallan en la siguiente tabla.

Coordenadas Ríoacha	Latitud	11°32'18.29"N	11,538414°
	Longitud	72°55'00.42"O	-72,916783°

Tabla 5. Coordenada de la cabecera municipal de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Google Earth

Con las anteriores coordenadas geodésicas, se obtienen los datos promedio mensual y anual de la radiación solar de la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo”, para el municipio como se detalla en la siguiente tabla.

Meteonorm 7 - versión demo v7.3.3

Fichero Sitios Herramientas Ayuda

Sitios Ríoacha

Modificaciones & data importada

Configuración de cálculo 1991-2010

Formato de salida Standard

Resultados y exportación

Resultados y exportación

Ríoacha 11,5°N / -72,9°E, 11 m

Personalizado

Guardar todos los resultados al disco

Abrir directorio de salida

Ríoacha

Radiación Temperatura Precipitación Duración de la insolación

Radiación global diaria Temperatura diaria Tabla de datos

	Gh kWh/m ²	Gk kWh/m ²	Dh kWh/m ²	Bn kWh/m ²	Ta °C	Td °C	FF m/s
Enero	139	153	68	114	27,3	22,3	5,3
Febrero	131	140	67	95	27,5	22	5,9
Marzo	154	157	80	101	27,9	22,4	5,6
Abril	148	145	86	90	28,5	23,5	5
Mayo	155	148	85	100	28,9	24,5	4
Junio	148	139	84	93	29,1	24,5	3,9
Julio	161	152	91	99	29,2	24	4
Agosto	161	156	85	109	29,3	24,4	3,9
Setiembre	146	146	79	94	29,1	24,6	3,1
Octubre	135	140	78	84	28,4	24,8	2,9
Noviembre	121	130	68	86	28,2	24,4	3,1
Diciembre	126	139	65	99	27,8	23,2	4,1
Año	1723	1745	934	1164	28,4	23,7	4,2

Datos de resultado

Incertidumbre de valores anuales: Gh = 5%, Bn = 9%, Gk = 5%, Ta = 1,5 °C
Tendencia de gh / década: - Variabilidad de gh / año: 9,9%
Sitios de radiación interpolados: Datos de satélite (Parte de los datos de satélite: 100%)
Temperature interpolation locations: Maracaibo (174 km), E.cortissoz Airp. (216 km), Rafa

Tabla 6. Datos meteorológicos y de irradiación solar horizontal inclinada mensual y anual del Municipio de Ríoacha, La Guajira, de la herramienta "Meteonorm 7.3 Versión Demo"

Fuente: Meteonorm

La anterior tabla arroja los siguientes datos:

Gh: Radiación global horizontal en KWh/m²

Gk: Radiación global inclinada en KWh/m²

Dh: Radiación difusa surgiendo del hemisferio superior reducida por la radiación solar directa del disco solar y sus alrededores (apertura de 6°) en KWh/m²

Bn: Radiación normal directa surgiendo de un estrecho ángulo de 6° centrado alrededor del disco solar en KWh/m²

Ta: Temperatura del aire a 2 metros de la superficie en °C

Td: Temperatura de rocío en °C

FF: Velocidad del viento en m/s

En la siguiente tabla se resumen los datos obtenidos de la herramienta “Meteonorm” de la radiación solar promedio mensual y anual plana e inclinada a 12° del municipio de Ríoacha, La Guajira. En la última columna de la tabla se calcula la radiación solar promedio diaria mensual y anual inclinada a 12° para la latitud del lugar.

Período	Radiación Solar a Latitud 11,4° / Longitud -72,2° de Meteonorm		
	Plana KWh/m2	Con Inclinación 12° KWh/m2	Promedio Diaria Con Inclinación 12° KWh/m2-día
Enero	134	148	4,77
Febrero	129	136	4,86
Marzo	146	149	4,81
Abril	139	137	4,57
Mayo	143	137	4,42
Junio	143	135	4,50
Julio	155	147	4,74
Agosto	153	149	4,81
Septiembre	141	142	4,73
Octubre	132	137	4,42
Noviembre	119	128	4,27
Diciembre	122	134	4,32
Anual	1657	1678	4,60

Tabla 7. Radiación solar promedio mensual y anual en superficie plana e inclinada de 12°, y radiación solar diaria promedio mensual y anual inclinada de 12°, a la latitud del municipio de Ríoacha, La Guajira de acuerdo a la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo”

Fuente: Meteonorm y Elaboración propia

El valor resaltado en color amarillo en la anterior tabla corresponde al mes donde se presenta el menor nivel promedio diario de radiación solar en el año; el resaltado en color verde corresponde al nivel promedio diario de radiación solar en el año; y el valor resaltado en color crema corresponde al mes donde se presenta el mayor nivel promedio diario de radiación solar en el año.

En la siguiente tabla se detallan los datos promedio mensual mínimo y máximo, y anual de la radiación solar de la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo” obtenidos de la anterior tabla y se comparan con los datos de los rangos de radiación solar del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia” del IDEAM – UPME del año 2014.

Municipio	Radiación Solar									
	METEONORM					Atlas Interactivo de Radiación Solar de Colombia - IDEAM				
	Menor Radiación		Radiación Anual	Mayor Radiación		Menor Radiación		Radiación Anual	Mayor Radiación	
	Mes	Promedio Diario (KWh/m2)	Promedio Diario (KWh/m2)	Mes	Promedio Diario (KWh/m2)	Mes	Promedio Diario (KWh/m2)	Promedio Diario (KWh/m2)	Mes	Promedio Diario (KWh/m2)
Riohacha	Noviembre	4.33	4.78	Marzo	5.06	Noviembre	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	Marzo	5.0 - 5.5

Tabla 8. Datos de radiación solar diaria mensual mínima y máxima y promedio anual del Municipio de Ríoacha, La Guajira, de la herramienta “Meteonorm 7.3 Versión Demo” y del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”

Fuente: Meteonorm, IDEAM – UPME y Elaboración propia

De la anterior tabla se concluye que los datos de radiación solar arrojados por la herramienta METEONORM son más ajustados a un valor fijo obtenido de una amplia base de datos combinados de estaciones y satélites meteorológicos, mientras que los rangos de valores obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM – UPME se limitan a los datos obtenidos de las reducidas estaciones meteorológicas instaladas en el país. Por lo tanto se seleccionan con más confiabilidad los datos detallados por la herramienta METEONORM para efectuar el dimensionamiento de los paneles SFV requeridos, utilizando el método del mes crítico, o sea el mes de menor radiación solar, pues al garantizar la energía necesaria para dicho mes, se estará garantizando por encima la generación de energía para el resto de meses del año.

Por lo tanto, de la Tabla 7 se obtiene que el municipio de Ríoacha arroja la menor radiación solar en el mes de noviembre con 4,33 KWh/m2. Con este valor es que se dimensiona el SISFV para cada uno de los usuarios rurales dispersos de las comunidades indígenas del municipio de Ríoacha, La Guajira, con el fin de estandarizar la solución energética, pues al satisfacer con la suficiente energía a los usuarios en el mes de noviembre de menor radiación solar, el sistema entrega más energía en el resto de meses del año que gozan de mayor radiación.

En la siguiente tabla se muestra el promedio horario de la radiación solar diaria mensual en la Estación Aeropuerto Almirante Padilla en Ríoacha, La Guajira, obtenida del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia” del IDEAM y la UPME, año 2014, siendo la estación más cercana al Municipio de Ríoacha, La Guajira.

ESTACIÓN APTO. ALMIRANTE PADILLA (RÍOHACHA)												
HORA	PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m ²)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1-2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
2-3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-5	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-6	0,3	0,2	0,5	4,3	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
6-7	22,0	27,6	60,8	82,2	104,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,1
7-8	157,7	187,9	239,1	229,8	255,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	192,7
8-9	326,8	369,4	413,2	380,4	457,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	371,6
9-10	451,4	537,0	585,9	508,1	658,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	527,6
10-11	578,8	669,3	718,7	638,8	795,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	627,0
11-12	673,0	762,4	809,5	700,7	796,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	733,4
12-13	610,2	667,9	739,9	641,6	771,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	592,5
13-14	682,8	761,7	712,5	603,2	666,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	663,3
14-15	550,9	557,5	601,3	480,7	494,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	531,2
15-16	323,5	445,9	442,8	336,4	302,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	263,6
16-17	193,9	228,6	247,7	180,6	164,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	148,7
17-18	30,4	53,2	62,7	50,2	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5
18-19	0,0	0,1	0,1	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19-20	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20-21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21-22	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
22-23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
23-0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acumulada diaria	4601,7	5268,7	5634,6	4837,3	5524,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4700,3



Tabla 9. Promedio horario diario mensual de la radiación solar en la Estación Aeropuerto Almirante Padilla en Ríohacha del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”

Fuente: IDEAM - UPME

En la siguiente figura se muestra la curva de radiación solar promedio horaria inclinada a 12° para el mes de noviembre (mes crítico de menor radiación solar) en el Municipio de Ríohacha, La Guajira, calculada en base a los datos de la radiación solar de la Estación Aeropuerto Almirante Padilla en Ríohacha para el mes de diciembre, aplicándole el factor de corrección por inclinación de 12° a una latitud de 12° y haciendo los ajustes necesarios con respecto al nivel de radiación solar obtenido de la herramienta Meteonorm para dicho mes.

Radiación solar horaria diaria inclinada mes crítico de Noviembre en Ríohacha - La Guajira: $G(0^\circ, 12^\circ)$

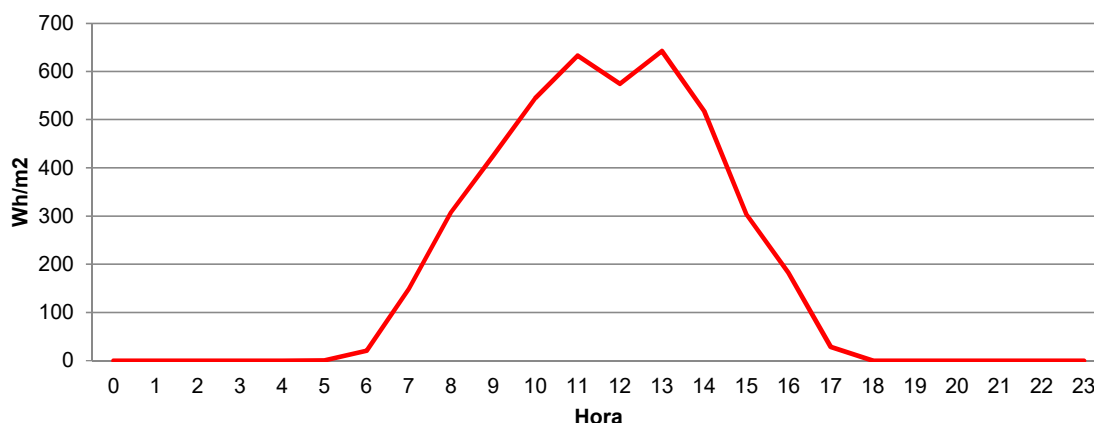


Figura 6. Curva de radiación solar promedio horaria diaria inclinada a 11° en el mes de noviembre en el Municipio de Ríohacha, La Guajira del “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia”

Fuente: IDEAM – UPME y elaboración propia

De la anterior figura se observa que la radiación solar diaria promedio en el Municipio de Ríohacha se asemeja a una campana de “Gauss”, donde a partir de las 6:00 AM, cuando empieza a salir el sol, el nivel de radiación solar va aumentando hasta llegar a su pico máximo al medio día, y luego en la tarde empieza a disminuir hasta las 6:00 PM cuando oscurece y el nivel de radiación solar es nulo. Esta curva es importante para poder efectuar simulaciones del SISFV dimensionado con respecto a la demanda de carga horaria del usuario y poder determinar el comportamiento adecuado de todo el sistema, como se evidencia en el numeral 6.8 de este estudio.

6 Dimensionamiento técnico del SISFV

De acuerdo al análisis del potencial energético y de alternativas energéticas efectuado al Municipio de Ríoacha, La Guajira, se concluye que el sistema energético más viable técnica, económica y ambientalmente, para implementar a los usuarios rurales dispersos, son los sistemas individuales solares fotovoltaicos (SISFV).

6.1 Cálculo del rendimiento energético del SISFV

En la siguiente tabla se muestran los cálculos realizados en Excel para determinar el rendimiento energético de un SISFV.

Cálculo Rendimiento Energético PR ("Performance Ratio") para un sistema individual solar fotovoltaico (SISFV)			
Item	Descripción	Símbolo	Constantes Estructura Fija
1	Constante por pérdidas en sombreado	K_{fs}	0,995
2	Constante por pérdidas en irradiancia en el colector	K_{irr}	0,964
3	Constante por pérdidas en temperatura	K_t	0,91
4	Constante por pérdidas en suciedad	K_s	0,97
5	Constante por pérdidas en dispersión	K_d	0,98
6	Constante por pérdidas óhmicas	K_{ohm}	0,985
7	Constante por pérdidas en baterías	K_{BAT}	0,95
8	Constante por pérdidas en controlador MPPT	K_{CONT}	0,98
9	Constante por pérdidas en inversor "off-grid"	K_{INV}	0,90
10	Rendimiento energético de los módulos SFV		
	$PR_{MOD} = K_{fs} * K_{irr} * K_t * K_s * K_d * K_{ohm} =$	PR_{MOD}	0,817
11	Rendimiento energético total del SISFV		
	$PR_T = PR_{MOD} * K_{CONT} * K_{BAT} * K_{INV} =$	PR_T	0,68

Tabla 10. Cálculo del rendimiento energético de un SISFV

Fuente: CREG

Las constantes por pérdidas de los ítems 1 a 6 de la Tabla 10 se obtienen del estudio "Consultoría para establecer una metodología para el cálculo de energía firme de una planta solar" efectuado por "Fonroche Energies Renouvelables" a la CREG en el año 2015. Las demás constantes se obtienen de los fabricantes.

Se observa como el rendimiento energético de los paneles SFV es del 81,7% y de todo el SISFV es del 68%.

6.2 Datos de entrada

Con base en los datos de radiación solar del mes crítico de noviembre de menor radiación solar en el Municipio de Ríoacha (4,33 KWh/m²-día), obtenido de la Tabla 7, y el consumo energético total diario de una UCA rural dispersa en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira, de 1,71 KWh/día (52 KWh/mes) en el año 10 de operación del sistema, estimado en la Tabla 3, se procede a efectuar los cálculos para dimensionar los SISFV que satisfagan dichos parámetros, pues al cubrir el consumo energético en el mes de menor radiación solar, se garantiza que se satisface el consumo en el resto de meses del año donde la radiación solar es superior, y por lo tanto habrá una mayor producción de energía.

En las siguientes tablas se detallan los datos de entrada para poder dimensionar los SISFV, seleccionando las especificaciones técnicas de los equipos que los componen, tales como los paneles SFV, la batería, el controlador, el inversor, cableado y protecciones.

DATOS DE ENTRADA				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Datos carga			
1.1	Demanda diaria media mensual AC entregada a la carga (inicio del proyecto)	$L_{dm,AC}$	1712	Wh
1.2	Potencia AC máxima	$P_{AC,MAX}$	780,0	W
2	Datos radiación			
2.1	Latitud del lugar	θ	11,54	°
2.2	Angulo de orientación (acimut)	α	0	°
2.3	Ángulo óptimo de inclinación: $\beta = 3.7 + 0.69 * \theta $	β	11,66	°
	Ángulo de inclinación seleccionado		12	°
2.4	Radiación diaria media mensual en posición definida (mes crítico: Noviembre): $G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0^\circ, 12^\circ)$	$G_{dm}(\alpha, \beta)$	4330	Wh/m2
3	Datos módulo fotovoltaico			
3.1	Tipo	Silicio monocristalino		
3.2	Irradiancia en condiciones estándar de medida	G_{CEM}	1000	W/m2
3.3	Potencia máxima	$P_{M,MOD}$	400	W
3.4	Tensión máxima	$V_{M,MOD}$	41,7	V
3.5	Tensión de circuito abierto	$V_{OC,MOD}$	49,8	V
3.6	Intensidad máxima	$I_{M,MOD}$	9,60	A
3.7	Intensidad de cortocircuito	$I_{SC,MOD}$	10,36	A
3.8	Coefficiente de temperatura de $V_{OC,MOD}$	θ_{VOC}	-0,29%	1/°C
3.9	Coefficiente de temperatura de $P_{M,MOD}$	θ_{PM}	-0,37%	1/°C
3.10	Coefficiente de temperatura de $I_{SC,MOD}$	θ_{ISC}	0,048%	1/°C
3.11	Temperatura mínima de operación de los módulos	T_{min}	15	°C
3.12	Temperatura ambiente de los módulos en las condiciones STC	T_{amb}	25	°C
3.13	Temperatura máxima de operación de los módulos	T_{max}	60	°C
3.14	Eficiencia	η_{MOD}	20,17%	
3.15	Rendimiento energético del módulo fotovoltaico	PR_{MOD}	0,817	
3.16	Degradación del módulo fotovoltaico en el horizonte de 10 años	D_{MOD}	7,9%	
4	Datos batería			
4.1	Tipo	Ión - Litio (LiFePO ₄)		
4.2	Profundidad de descarga máxima de la batería	P_{dmax}	70%	
4.3	Autonomía de la batería	$ABAT$	1	Día
4.4	Tensión nominal batería	$V_{N,BAT}$	24	V
4.5	Tensión banco de baterías	$V_{B,BAT}$	24	V
4.6	Constante por pérdidas en baterías	K_{BAT}	0,95	
5	Datos controlador			
5.1	Tipo	Control MPPT para baterías Ión - Litio		
5.2	Tensión máxima entrada DC	$V_{E,MAX,CONT}$	145	V
5.3	Rango Tensión entrada DC	$V_{E,CONT,MIN}$	32	V
		$V_{E,CONT,MAX}$	130	V
5.4	Tensión nominal salida DC	$V_{S,MAX,CONT}$	24	V
5.5	Intensidad máxima salida DC	$I_{S,CONT,MAX}$	40	A
5.6	Constante por pérdidas en controlador MPPT	K_{CONT}	0,98	
6	Datos inversor			
6.1	Tipo	"Off-grid"		
6.2	Tensión entrada DC	$V_{E,INV}$	24	V
6.3	Tensión salida AC	$V_{S,INV}$	120	V
6.4	Frecuencia salida	$f_{S,INV}$	60	Hz
6.5	Constante por pérdidas en inversor	K_{INV}	0,9	
6.6	Salida onda	Senoidal pura		

Tabla 11. Datos de entrada para dimensionar el SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

6.3 Cálculo de la generación fotovoltaica

En la siguiente tabla se desarrolla el algoritmo de cálculo efectuado en Excel, para el dimensionamiento de la generación fotovoltaica del SISFV.

DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Media diaria mensual de energía a producir			
	$L_{dm} = L_{dm,AC} / (K_{CONT} * K_{BAT} * K_{INV} * (1 - D_{MOD})) =$	L_{dm}	2218	Wh
2	Irradiancia media diaria mensual (mes crítico: Noviembre) con inclinación 12°	$G_{dm}(\alpha, \beta)$	4330	Wh/m ²
3	Número total de módulos			
	$N_T = L_{dm} * G_{CEM} / (P_{M,MOD} * G_{dm}(\alpha, \beta) * P_{R,MOD}) =$	N_T	1,57	Un
	Redondear al número entero mayor:		2	Un
4	Número máximo de módulos conectados en serie			
	$N_{MAX,S} = V_{E,MAX,CONT} / V_{OC,MOD} =$	$N_{MAX,S}$	2,9	Un
	$N_{MAX,S} = V_{E,CONT,MAX} / V_{M,MOD} =$		3,1	Un
	Se selecciona el menor valor		3	Un
5	Número de ramas conectadas en paralelo			
	$N_P = N_T / N_{MAX,S} =$	N_P	0,7	Un
	Se redondea al número entero mayor		1	Un
8	Número de módulos conectados en serie			
	$N_S = N_T / N_P =$	N_S	2	Un
9	Intensidad máxima del generador FV			
	$I_{M,G} = I_{M,MOD} * N_P =$	$I_{M,G}$	9,6	A
10	Intensidad de cortocircuito del generador por inversor			
	$I_{SC,G(T_{max})} = I_{SC,MOD} * N_P * (1 + \theta_{ISC} * (T_{max} - T_{amb}))$	$I_{SC,G(T_{max})}$	10,5	A
	Verificar que: $I_{SC,G(T_{max})} < I_{S,CONT,MAX}$	$10,5 < 40$		A
11	Tensión máxima del generador FV:			
	$V_{M,G(T_{min})} = V_{M,MOD} * N_S * (1 + \theta_{VM} * (T_{min} - T_{amb}))$	$V_{M,G(T_{min})}$	86	V
	$V_{M,G(T_{max})} = V_{M,MOD} * N_S * (1 + \theta_{VM} * (T_{max} - T_{amb}))$	$V_{M,G(T_{max})}$	73	V
	Verificar que: $V_{M,G(T_{min})} < V_{E,CONT,MAX}$	$86 < 130$		V
	Verificar que: $V_{M,G(T_{max})} > V_{E,CONT,MIN}$	$73 > 32$		V
12	Tensión de circuito abierto del generador FV			
	$V_{OC,G(T_{min})} = V_{OC,MOD} * N_S * (1 + \theta_{VOC} * (T_{min} - T_{amb}))$	$V_{OC,G(T_{min})}$	102	V
	Verificar que: $V_{OC,G(T_{min})} < V_{E,MAX,CONT}$	$102 < 145$		V
13	Potencia máxima del generador FV			
	$P_{M,G} = N_T * P_{M,MOD} =$	$P_{M,G}$	800	W

Tabla 12. Dimensionamiento del generador fotovoltaico de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

6.4 Cálculo del almacenamiento de energía en batería

En la siguiente tabla se desarrolla el algoritmo de cálculo efectuado en Excel, para el dimensionamiento del almacenamiento de energía en batería del SISFV.

DIMENSIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Profundidad de descarga máxima diaria de la batería			
	$P_{dmax,d} = P_{dmax} / A_{BAT} =$	$P_{dmax,d}$	70%	%
2	Capacidad nominal diaria del banco de baterías			
	$C_{BAT,Wh} = L_{dm,AC} / (K_{BAT} * K_{INV} * P_{dmax,d}) =$	$C_{BAT,Wh}$	2860	Wh
	$C_{BAT,Ah} = C_{BAT,Wh} / V_{B,BAT} =$	$C_{BAT,Ah}$	119	Ah
3	Capacidad nominal de la batería seleccionada			
	Se selecciona la batería comercial más cercana al valor calculado	$C_{BAT,S,Ah}$	120	Ah
4	Número de baterías conectadas en serie			
	$N_{BAT,S} = V_{B,BAT} / V_{N,BAT} =$	$N_{BAT,S}$	1	Un
5	Número de ramas conectadas en paralelo			
	$N_{BAT,P} = C_{BAT,Ah} / C_{BAT,S,Ah} =$	$N_{BAT,P}$	0,99	Un
	Se redondea al número entero		1	Un
6	Número total de baterías			
	$N_{BAT,T} = N_{BAT,S} * N_{BAT,P} =$	$N_{BAT,T}$	1	Un
7	Capacidad nominal del banco de baterías			
	$C_{B,BAT,Ah} = C_{BAT,S,Ah} * N_{BAT,P} =$	$C_{B,BAT,Ah}$	120	Ah
	$C_{B,BAT,Wh} = C_{B,BAT,Ah} * V_{B,BAT} =$	$C_{B,BAT,Wh}$	2880	Wh

Tabla 13. Dimensionamiento del almacenamiento de energía en batería de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

6.5 Cálculo del controlador de carga

En la siguiente tabla se desarrolla el algoritmo de cálculo efectuado en Excel, para el dimensionamiento del controlador del SISFV.

DIMENSIONAMIENTO DEL CONTROLADOR MPPT				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Intensidad del controlador MPPT			
	Intensidad de entrada: $I_{E,CONT} = 1,25 * I_{SC,MOD} =$	$I_{E,CONT}$	13	A
	Intensidad de salida: $I_{S,CONT} = 1,25 * P_{AC,MAX} / V_{B,BAT} =$	$I_{S,CONT}$	40	A
	Se selecciona el controlador MPPT comercial más cercano a la mayor intensidad de corriente calculada (intensidad de salida)		40	A

Tabla 14. Dimensionamiento del controlador de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

6.6 Cálculo del inversor

En la siguiente tabla se desarrolla el algoritmo de cálculo efectuado en Excel, para el dimensionamiento del inversor del SISFV.

DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR "OFF-GRID"				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Potencia Total			
	$P_{T,INV} = 1.25 * P_{AC,MAX} / 1000 =$	$P_{T,INV}$	0,98	KW
	Se selecciona el inversor comercial más cercano por encima del valor calculado		1	KW

Tabla 15. Dimensionamiento del inversor de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

6.7 Cálculo de protecciones y conductores

En la siguiente tabla se desarrolla el algoritmo de cálculo efectuado en Excel, para el dimensionamiento de las protecciones y el calibre de los conductores del SISFV.

DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES Y LOS CONDUCTORES				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Entre los módulos fotovoltaicos en serie y el controlador MPPT			
	Intensidad: $I_{MOD,S} = 1.25 * I_{SC,MOD}$	$I_{MOD,S}$	13	A
	Cable cobre bipolar encauchetado aislado 600 V - 90°C		2 x N° 8	AWG
	Interruptor termomagnético 125 V _{DC} - 10 KA		2 x 16	A
2	Entre el controlador MPPT y el banco de baterías			
	Intensidad: $I_{S,CONT}$	$I_{S,CONT}$	40	A
	Cable cobre bipolar encauchetado aislado 600 V - 90°C		2 x N° 8	AWG
	Interruptor termomagnético 125 V _{DC} - 10 KA		2 x 40	A
3	Entre el banco de baterías y el inversor			
	Intensidad: $I_{S,CONT}$	$I_{S,CONT}$	40	A
	Cable cobre bipolar encauchetado aislado 600 V - 90°C		2 x N° 8	AWG
	Interruptor termomagnético 125 V _{DC} - 10 KA		2 x 40	A
4	Entre el inversor y la carga AC			
	Intensidad: $I_L = 1.25 * P_{T,INV} * 1000 / V_{S,INV}$	I_L	10,4	A
	Cable cobre monopolar aislado THHN 600 V - 90°C		3 x N° 12	AWG
	Interruptor termomagnético 120 V _{AC} - 10 KA		1 x 16	A

Tabla 16. Dimensionamiento de las protecciones y los conductores de un SISFV de una vivienda rural dispersa en las ZNI

Fuente: Elaboración propia

De las anteriores tablas se observa que se seleccionan las protecciones comerciales más cercanas a la intensidad calculada, para garantizar la protección de los equipos del SISFV.

Los dos (2) módulos fotovoltaicos obtenidos en el diseño se conectan en serie utilizando el mismo conductor que traen de fábrica en cable aislado de 4 mm² (equivalente a calibre No. 12 AWG) en una longitud de 1,2 metros con sus respectivos conectores MC4 macho y hembra.

La acometida entre los módulos conectados en serie y el controlador se selecciona en cable de cobre bipolar encauchetado aislado en PVC 600 V - 90°C 2 x No. 8 AWG, no tanto por la corriente que maneja (13 A), pues su capacidad nominal es de 50 A a 75°C, sino por la regulación de tensión que se debe mantener en un nivel bajo para garantizar la calidad del servicio (máximo el 3%), debido a la caída de tensión por la distancia (aproximadamente 15 metros) entre los paneles y el gabinete que alberga los equipos, como el controlador.

En la siguiente tabla se efectúa el cálculo de regulación de los conductores en DC seleccionados.

ITEM	DESCRIPCION	CARGA KW	TENSIÓN DC KV	CORRIENTE A	CONDUCTOR MONOPOLAR CABLE DE COBRE THHN - 90°C - 600 V					LONGITUD ACOMETIDA L (m)	REGULACION		PROTECCIÓN	Ø DUCTERÍA PVC
					CALIBRE AWG		CAP. COR. A	R (75°C) Ω/Km	CONSTANTE REGULACIÓN C		KW* ² L* ³ C %	ACUMULADA %		
					+	-								
1	Cableado entre Paneles SFV y Controlador	0,80	0,0834	9,6	8	8	50	2,55	7,33226E-02	15	0,88	0,88	2x16A	Ø 3/4"
2	Cableado entre Controlador y Batería	0,80	0,024	33,3	8	8	50	2,55	8,85417E-01	1	0,71	1,59	2x40A	
3	Cableado entre Batería e Inversor	0,80	0,024	33,3	8	8	50	2,55	8,85417E-01	1	0,71	2,30	2x40A	

Tabla 17. Calculo regulación conductores tensión DC para el SISFV

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se observa que el calibre del conductor seleccionado en cable de cobre bipolar encauchetado aislado 2 x No. 8 AWG, arroja una regulación acumulada del 2,3%, valor que garantiza un buen nivel de tensión en la entrada del inversor, por debajo del criterio máximo establecido del 3%, y garantizando una capacidad de corriente por encima de la corriente máxima demandada por la carga entre la batería y el inversor (33,3A).

En la siguiente tabla se efectúa el cálculo de regulación en el lado de tensión AC, para lo cual se selecciona el conductor en cable de cobre monopolar THHN 600 V - 90°C No. 12 AWG, el cual cumple ampliamente con el criterio de regulación y la capacidad de corriente demandada.

ITEM	DESCRIPCION	CARGA KW	FP cos Ø	CARGA KVA	TENSIÓN AC KV	CORRIENTE A	CONDUCTOR MONOPOLAR CABLE DE COBRE THHN - 90°C - 600 V						LONGITUD ACOMETIDA L (m)	REGULACION		PROTECCIÓN	Ø DUCTER EMT	
							CALIBRE AWG		CAP. COR. A	R (75°C) Ω/Km	XL Ω/Km	ZL (75°C) Ω/Km		CONSTANTE REGULACION C	KV*1 ³ C %			ACUMULADA %
							FASE	NEUTRO										
1	Cableado entre Inversor y Tablero Distribución	1,00	0,9	1,11	0,12	9,3	12	12	25	6,56	0,223	6,0012	8,33500E-02	5	0,46	0,46	1x16A	Ø 3/4"
2	Circuito Tablero Distribución a Salidas Iluminación	0,04	0,9	0,04	0,12	0,4	12	12	25	6,56	0,223	6,0012	8,33500E-02	12	0,04	0,51	1x15A	Ø 3/4"
3	Circuito Tablero Distribución a Salidas Tomas	0,96	0,9	1,07	0,12	8,9	12	12	25	6,56	0,223	6,0012	8,33500E-02	10	0,89	1,35	1x15A	Ø 3/4"

Tabla 18. Calculo regulación conductores tensión AC del SISFV

Fuente: Elaboración propia

De los resultados de las anteriores tablas se concluye que los conductores seleccionados tanto para el lado de tensión DC como del lado de tensión AC, cumplen con el criterio del porcentaje de regulación de la tensión, el cual debe estar por debajo del 3%, además de soportar ampliamente la capacidad de corriente entregada por el generador SFV y la demandada por la carga.

Además los conductores entre los paneles soportados por la estructura instalada en el exterior de la construcción y el gabinete metálico que alberga el controlador, inversor y batería, instalado en el interior de la construcción, irán canalizados en tubería conduit PVC $\Phi 3/4"$ subterránea, y el afloramiento expuesto del piso al gabinete dentro de la vivienda irá en tubería metálica galvanizada EMT $\Phi 3/4"$. Los conductores entre el gabinete metálico y el tablero de distribución irán en tubería conduit metálica EMT $\Phi 3/4"$ expuesta, mientras que los ramales que alimentan las salidas de iluminación y tomas, irán en tubería conduit metálica EMT $\Phi 3/4"$ expuesta y asegurada a los muros y techos dentro de la construcción del usuario. Para la selección del diámetro de la canalización y dar cumplimiento a la normatividad RETIE, se aplican la tablas detalladas en la norma técnica NTC 2050 – Apéndice C – Tablas C1 (Pgs. 773 a 777) y C11 (Pgs. 836 a 841), donde se escoge el ducto PVC y EMT de $\Phi 3/4"$ para extender el cable de cobre aislado encauchetado de calibre 2 x No. 8 AWG. Las cajas metálicas de las salidas de las instalaciones eléctricas internas, junto con la tubería metálica expuesta, el tablero de distribución y el gabinete metálico deben ser equipotencializados.

Para la selección del calibre y especificaciones de los conductores, de las protecciones, y del diámetro de la tubería, se utilizan las tablas establecidas en la NTC 2050: Tabla 210-24 (Pg. 57); Tabla 310-16 (Pg. 154); Tablas 8 y 9 (Pgs. 728 y 729); Apéndice C – Tablas C1 (Pgs. 773 a 777) y C11 (Pgs. 836 a 841), de donde se concluye que las especificaciones seleccionadas cumplen ampliamente con las exigencias mínimas establecidas en las normas resumidas en dichas tablas.

6.8 Simulación de la operación del SISFV dimensionado

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del SISFV de 800 Wp dimensionado, se analizan dos simulaciones para observar su desempeño con 14 días soleados, y con un día sin sol y luego trece días soleados (autonomía de un día), en el mes crítico de menor radiación solar correspondiente a noviembre y en el año 10 de operación del sistema.

En las siguientes gráficas se observa el desempeño del SISFV de 800 Wp en las 2 condiciones analizadas.

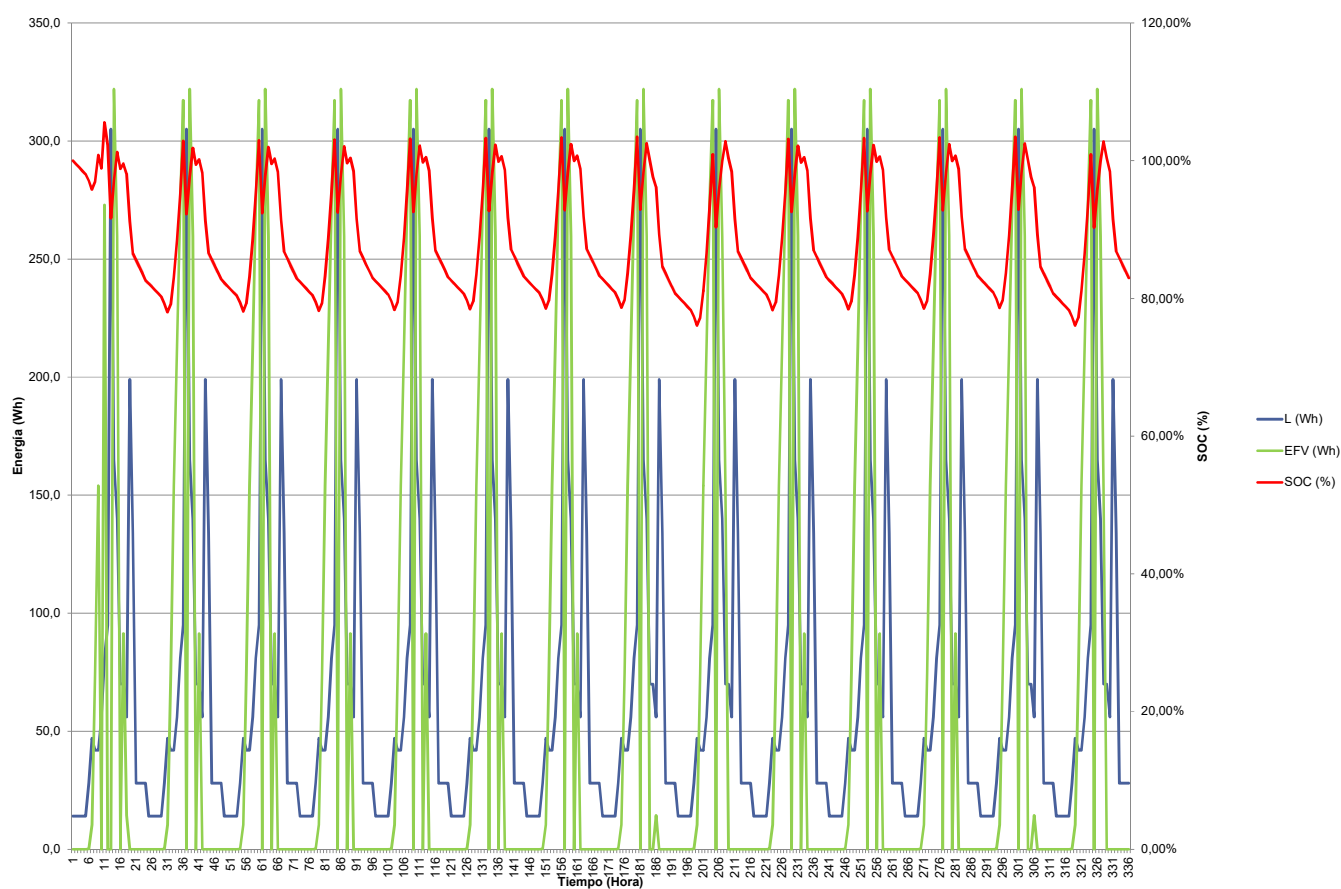


Figura 7. Simulación de la operación del SISFV de 800 Wp dimensionado en condiciones normales de servicio con 14 días soleados en el año 10 de operación

Fuente: Elaboración propia

Dónde: L es el consumo energético horario del usuario rural en Wh.

EFV es la energía suministrada por el SISFV de 800 Wp en Wh.

SOC es el estado de carga de la batería Ión – Litio en %.

De la gráfica se observa como la batería de Ión – Litio llega a un estado de carga mínimo del 76% cuando todos los días son soleados en la año 10 de operación, atendiendo el servicio de energía eléctrica demandado por la carga del usuario rural con el SISFV con acumulación diseñado, con una profundidad de descarga máxima de la batería del 24%, cumpliendo ampliamente con el criterio establecido en el dimensionamiento.

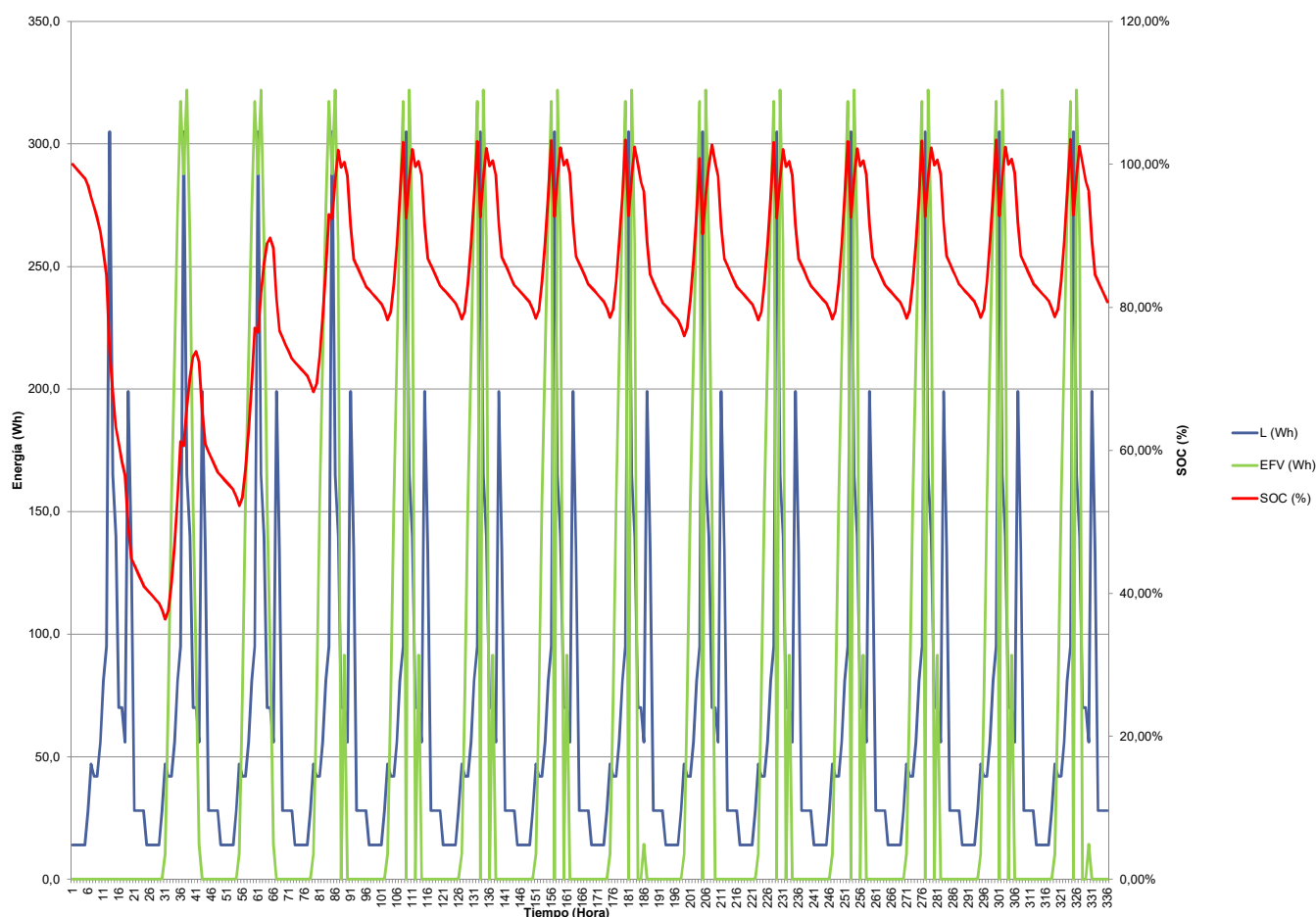


Figura 8. Simulación de la operación del SISFV de 800 Wp dimensionado en condiciones normales de servicio con 1 día sin sol y luego 13 días soleados (autonomía de 1 día) en el año 10 de operación

Fuente: Elaboración propia

Dónde: L es el consumo energético horario del usuario rural en Wh.

EFV es la energía suministrada por el SISFV de 800 Wp en Wh.

SOC es el estado de carga de la batería Ión – Litio en %.

De la gráfica se observa como la batería de Ión – Litio atiende diariamente durante un día sin sol el servicio de energía eléctrica demandado por la carga, con una profundidad de descarga máxima del 64% (estado de carga mínima del 36%) en el año 10 de operación, garantizando una autonomía de un día alimentando la carga, sin que la batería sufra una profundidad de descarga superior al 70%. Además, a medida que pasan los días soleados, la batería va recuperando su estado de carga hasta llegar al 100% en el cuarto día.

En caso de que la radiación solar no sea suficiente y la batería baje a un estado de carga del 30%, el inversor debe desconectar la carga para proteger la batería, permitiendo que a medida que la radiación solar aumente y la batería recupere su estado de carga hasta el 100%, se pueda conectar nuevamente la carga. Se debe capacitar al usuario para que haga uso racional de la energía y esté preparado para racionalizar su consumo de acuerdo al estado de carga de la batería, de tal forma que no permita que baje su estado de carga por debajo del 30%.

6.9 Producción de energía del SISFV dimensionado

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de producción de energía eléctrica de los módulos fotovoltaicos monocristalinos del SISFV de 800 Wp dimensionado, al año de inicio del proyecto, a los diez años de uso del SISFV cuando los módulos han perdido un 7,9% de capacidad debido a la degradación de las células FV, y a los veinticinco años de uso del SISFV cuando los módulos han perdido un 20% de capacidad debido a la degradación de las células FV, de acuerdo a los datos garantizados por los fabricantes.

MES	Radiación Solar con Inclinación 12° a una latitud de 11,5° (KWh/m2-día)	N° días	Producción Energía					
			Año Inicio		Año 10		Año 25	
			KWh / día	KWh / mes	KWh / día	KWh / mes	KWh / día	KWh / mes
Enero	4,94	31	2,69	83,3	2,48	76,7	2,23	69,2
Febrero	5,00	28	2,72	76,2	2,51	70,1	2,26	63,3
Marzo	5,06	31	2,75	85,3	2,54	78,6	2,29	70,9
Abril	4,83	30	2,63	78,8	2,42	72,6	2,18	65,5
Mayo	4,77	31	2,59	80,4	2,39	74,1	2,16	66,8
Junio	4,63	30	2,52	75,6	2,32	69,6	2,09	62,8
Julio	4,90	31	2,67	82,6	2,46	76,1	2,22	68,7
Agosto	5,03	31	2,74	84,8	2,52	78,1	2,27	70,5
Septiembre	4,87	30	2,65	79,5	2,44	73,2	2,20	66,0
Octubre	4,52	31	2,46	76,2	2,26	70,2	2,04	63,3
Noviembre	4,33	30	2,36	70,7	2,17	65,1	1,96	58,7
Diciembre	4,48	31	2,44	75,6	2,24	69,6	2,03	62,8
Anual	4,78	365	2,60	949,0	2,39	874,0	2,16	788,6

Tabla 19. Producción de energía eléctrica del SISFV de 800 Wp dimensionado, en los años 0, 10 y 25 de uso

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la anterior tabla, se puede concluir que los paneles SFV de 800 Wp dimensionados podrán producir durante los 10 años de sostenibilidad que debe garantizar el operador del servicio, la energía requerida por el usuario rural disperso en el municipio de Ríoacha, La Guajira, ya que el sistema al año 10 de operación produce en el mes crítico de noviembre un promedio diario mensual de 2,17 KWh para satisfacer un consumo promedio diario de 1,71 KWh para la UCA rural, con una tasa de crecimiento nula porque cada UCA atiende en promedio quince (15) niños durante su tiempo de operación, y en caso de que resulten más niños a lo largo del tiempo, se abren nuevas UCAS, pero no se recargan más las UCAS existentes.

6.10 Resumen del SISFV dimensionado

En la siguiente tabla se resume el SISFV de 800 Wp diseñado para suministrar electricidad a una UCA rural dispersa en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira.

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONAMIENTO
Potencia módulos fotovoltaicos	800 Wp
Capacidad batería lón - Litio tipo LiFePO ₄	120 Ah
Capacidad almacenamiento batería	2,88 KWh
Profundidad de descarga máxima	70%
Autonomía batería	1 Día
Regulador MPPT	40 A / 24 V _{dc}
Inversor 24 V _{DC} / 120 V _{AC} , 60 Hz, onda senoidal pura	1 KW
Tensión DC SFV	24 V
Tensión AC SFV	120 V
Radiación solar diaria promedio anual	4,78 KWh/m ²
Radiación solar diaria promedio mes crítico (Noviembre)	4,33 KWh/m ²
Radiación solar diaria promedio mes más alto (Marzo)	5,06 KWh/m ²
Energía suministrada anual al inicio	949 KWh / año
Energía suministrada anual en 10 años	874 KWh / año
Energía suministrada mes crítico (Noviembre) al inicio	71 KWh / mes
Energía suministrada mes crítico (Noviembre) en 10	65 KWh / mes
Energía suministrada mes más alto inicio (Marzo)	85 KWh / mes
Energía suministrada mes más alto año 10 (Marzo)	79 KWh / mes
Unidad Comunitaria de Atención "UCA"	1
Nº promedio de Niños	15

Tabla 20. Resumen del SISFV de 800 Wp dimensionado para suministrar electricidad a una UCA rural dispersa en las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se describe la composición del SISFV de 800 Wp diseñado.

Item	Descripción
1	Se instalan dos (2) módulos solares fotovoltaicos monocristalinos de 400 Wp de potencia pico cada uno, conectados en serie. Los módulos son soportados por una estructura instalada a una altura de 3 metros del suelo en el exterior de la UCA. Los módulos solares transforman la energía solar en energía eléctrica.
2	Se instala una (1) batería estacionaria de ión – Litio tipo fosfato de hierro (LiFePO ₄), sellada, libre de mantenimiento, de ciclo profundo, de 120 Ah - 25,6 VDC - 3.650 ciclos hasta el 80% DOD, con BMS integrado. La batería se alberga en el gabinete de conexiones y protecciones. La batería almacena la energía eléctrica generada por los módulos solares para ser usada en horas de baja radiación solar y en la noche.
3	Se instala un (1) regulador o controlador MPPT de 24 V – 40 A con display LCD para baterías de ión - litio, eficiencia mínima del 96%. El controlador se alberga en el gabinete de conexiones y protecciones. El controlador regula la carga y descarga de la batería para garantizar un uso adecuado y la vida útil de la batería.
4	Se instala un (1) inversor de 1000 W de potencia, 24 V _{DC} / 120 V _{AC} , 1Ø, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD, eficiencia mínima del 90%. El inversor se alberga en el gabinete de conexiones y protecciones. El inversor transforma la energía de corriente directa a corriente alterna, para su uso convencional.
5	Se instala una estructura de soporte de los paneles compuesta por un poste metálico galvanizado en caliente por doble inmersión de Φ 4" x 4 metros de largo x 3 mm. de espesor. En la punta superior del poste se fija un soporte metálico galvanizado en caliente por doble inmersión para sostener los dos (2) módulos solares fotovoltaicos a instalar. El poste se entierra a 1 metro de profundidad, sobresaliendo a una altura de 3 metros del piso, y en el fondo el poste tendrá en su base una placa antihundimiento. El poste se cimenta cilíndricamente con un diámetro de 45 cm, un solado en el fondo de 10 cm para evitar su hundimiento, y un acabado de punta de diamante de 5 cm en la parte superior del suelo para que no se empoce el agua de lluvia. El concreto de la cimentación será de una resistencia de 3000 PSI y será reforzado con una malla electrosoldada de 150 x 150 x 6 mm de diámetro. El poste se instala en la parte exterior de la UCA a una distancia entre 5 y 15 metros.
6	Se instala un sistema de puesta a tierra para el SISFV con una varilla de cobre de 5/8" x 2,4 metros, cable de cobre desnudo No. 4 AWG, soldadura exotérmica, suelo artificial y caja de inspección, de acuerdo a lo establecido en el RETIE. El cable de cobre desnudo No. 4 AWG hace un recorrido desde la estructura metálica en la parte superior del poste, entrando por dentro del poste hasta la parte inferior donde sale y luego se conecta a la varilla con soldadura exotérmica, y luego continúa por dentro del suelo a una profundidad de 60 cm hasta llegar a la barra de tierra del gabinete dentro de la UCA.
7	Se instala un gabinete metálico de conexiones y protecciones de dimensiones 1.0x0.8x0.3m de uso interior para albergar la batería, el regulador, el inversor, el medidor prepago, las protecciones y efectuar el respectivo conexionado. El gabinete se instala dentro de la UCA.
8	Se realizan las instalaciones eléctricas internas del usuario, compuestas por un tablero de distribución 1Ø de 4 circuitos con sus protecciones de dos breakers termomagnéticos enchufables de 15 A, 120 V - 10 KA cada uno, para proteger dos circuitos ramales, uno de iluminación y otro de tomas. El circuito ramal de iluminación se compone de cuatro salidas de iluminación y el circuito ramal de tomas se compone de tres salidas para tomacorrientes dobles. Los circuitos ramales se construyen en tubería metálica EMT de Φ 3/4", incluyendo grapas con tornillos para fijarlas a muros y techos, uniones, curvas, terminales, cajas metálicas, aparatos de tomas, suiches y plafones, y conductores en cable de cobre monopolar THHN 600 V - 90°C No. 12 AWG para la fase, el neutro y la tierra. Todos los elementos metálicos como cajas, tubería, tableros y accesorios deben estar equipotencializados.

Tabla 21. Descripción de los elementos que componen el SISFV de 800 Wp dimensionado

Fuente: Elaboración propia

El sistema de medición de la energía en los SISFV estructurados será prepago, o sea el usuario debe comprar la energía que requiera anticipadamente, de tal forma que el operador de los SISFV, le vende el valor de la energía requerida por el usuario. La venta de energía se realizará por medio de datáfonos conectados a un servidor central. El medidor desconectará el paso de la energía del SISFV a las instalaciones eléctricas internas, cuando se agote el valor de la energía comprada por el usuario. Por lo tanto, el usuario debe estar pendiente y planear anticipadamente la compra de su energía, para que no se quede sin energía abruptamente cuando se agote el valor de la energía comprada. De todas formas el usuario puede consultar en su medidor el saldo que le queda de energía, para que compre con anticipación la energía para recargar el medidor. Además el medidor avisará anticipadamente al usuario, de acuerdo a como se programe, mediante un aviso sonoro y lumínico, que debe recargarlo, cuando esté a punto de terminarse el cupo de energía comprado.

El operador de los SISFV debe implementar un sistema para gestionar la venta de energía prepago, mediante el montaje de una plataforma compuesta por un servidor con un software que se encargue de almacenar y procesar toda la información obtenida en el proceso de venta prepago de energía y gestionar la energía comprada por los usuarios a través de datáfonos sincronizados con el servidor con comunicación “on-line” tipo LAN Ethernet o GPRS, ubicados en puntos de venta principales, cercanos a los usuarios. En caso de que los usuarios estén muy alejados de estos puntos de venta principales, donde no hay comunicación posible, el operador puede programar recorridos periódicos y vender la energía a estos usuarios remotos, mediante datáfonos viajeros los cuales no requieren comunicación para efectuar dicha venta, mas sin embargo, al terminar de hacer el recorrido deben comunicarse con el servidor para que se sincronice con este y descargue la información de las ventas efectuadas.

En la siguiente tabla se detalla un resumen de las principales características técnicas mínimas de la medición prepago de los SISFV, de acuerdo con los requerimientos mínimos establecidos por el IPSE y el DNP y la estructuración del proyecto obtenida en este estudio.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MEDICIÓN PREPAGO SISFV UCA	
DESCRIPCIÓN	FACTURACIÓN DE ENERGÍA
MEDICIÓN	PREPAGO
MODALIDAD	VENTA DE PINES DE ENERGÍA
MEDIDOR	MONOFÁSICO BIFILAR 120 V - 5 (80) A CALIBRADO
PROTECCIÓN	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO 1 x 16A, 120 V - 10 KA
SISTEMA DE GESTIÓN CENTRAL	SERVIDOR CON SOFTWARE PARA LA GESTIÓN Y VENTA DE ENERGÍA
VENTA DE ENERGÍA CON COMUNICACIÓN AL SERVIDOR EN PUNTO DE VENTA PRINCIPAL	DATÁFONO CON SOFTWARE "ON-LINE" COMUNICACIÓN TIPO LAN ETHERNET O GPRS
VENTA DE ENERGÍA SIN COMUNICACIÓN EN LUGARES REMOTOS	DATÁFONO VIAJERO CON SOFTWARE "OFF-LINE"
SINCRONIZACIÓN DEL DATÁFONO VIAJERO CON EL SERVIDOR	CUANDO HAYA COMUNICACIÓN TIPO LAN ETHERNET O GPRS
GARANTÍA	MÍNIMO 2 AÑOS
NORMATIVIDAD	VER NUMERAL

Tabla 22. Especificaciones técnicas del sistema de medición prepago del SISFV

Fuente: Elaboración propia

En el numeral 8 de la Tabla 21 se describe detalladamente la composición de las instalaciones eléctricas internas a construir dentro de la UCA rural tipo de los usuarios estructurados en este proyecto.


La norma ICONTEC 2050 y el RETIE establecen los parámetros normativos para la construcción de las instalaciones eléctricas internas.

En el plano No. 2/2, anexo a este estudio, se detallan las instalaciones eléctricas internas para una UCA rural tipo, con su respectivo cuadro de cargas y el diagrama unifilar respectivo con sus especificaciones.

CUADRO DE CARGAS INSTALADAS UNIDAD COMUNITARIA DE ATENCIÓN "UCA" MUNICIPIO DE RÍOHACHA - DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA							
Tablero No.	Circuito No.	Iluminación LED 9 W	Toma Normal	Carga W	Conductor Cobre THHN - 600V	Protección Interruptor Termomagnético	Descripción
TD	C1	4		36	3 x No. 12	1 x 15 A	Iluminación salones, cocina y baño
	C2		3	780	3 x No. 12	1 x 15 A	Tomas salones y cocina
	C3 - C4						Reservas
Total		4	3	816	3 x No. 12	1 x 16 A	Tablero distribución

Tabla 23. Cuadro de cargas instalaciones eléctricas internas de una UCA rural

Fuente: Elaboración propia

 <p>Consorcio CONSENER2020 NIT. 901389914-5</p>	<p>Contrato No. 057 de 2020</p> <p>Formular, estructurar y diseñar proyectos energéticos sostenibles para la ampliación de la cobertura en las localidades de las Zonas No Interconectadas del País – Región Caribe y Antioquia</p>
---	---

En la siguiente tabla se detalla un resumen de las principales características técnicas mínimas de las instalaciones eléctricas internas de los SISFV, de acuerdo con los requerimientos mínimos establecidos por el IPSE y el DNP y la estructuración del proyecto obtenida en este estudio.

DESCRIPCION	INSTALACIONES INTERNAS
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	1Φ - 3H - 4 CIRCUITOS
PROTECCIONES	DOS (2) INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICO ENCHUFABLE 1 x 15A, 120 V - 10 KA
CABLE	COBRE MONOPOLAR AISLADO THHN No. 12 AWG
SALIDAS TOMACORRIENTES	TRES (3)
SALIDAS ILUMINACIÓN	CUATRO (4)
TUBERÍA EXPUESTA Y ACCESORIOS	CONDUIT EMT Φ3/4"
CAJAS METÁLICAS	OCTOGONALES - 2"x4" - 4"x4"
TOMACORRIENTE	DOBLE CON POLO A TIERRA 120 V - 15 A
INTERRUPTOR	SENCILLO 120 V - 15 A
PLAFÓN	DE LOSA
CONECTORES	TIPO RESORTE No. 12 AWG
EQUIPOTENCIALIZACIÓN DE LAS CAJAS METÁLICAS, TUBERÍA Y ACCESORIOS METÁLICOS	SI

Tabla 24. Características técnicas mínimas de las instalaciones eléctricas internas

Fuente: Elaboración propia

7 Análisis de riesgos de origen eléctrico y su mitigación

De acuerdo al Numeral 9.2.1 del Artículo 9 del Capítulo 2 del RETIE 2013, en la siguiente tabla se especifican las decisiones y acciones a tomar para controlar el riesgo de origen eléctrico y su mitigación de acuerdo al nivel de riesgo clasificado por los códigos de colores.

DECISIONES Y ACCIONES PARA CONTROLAR EL RIESGO			
COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	MUY ALTO	Inadmisible para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volverlo a valorar en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el análisis de trabajo seguro (ATS) y autoriza su realización mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	ALTO	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere Permiso especial de trabajo.	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	MEDIO	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	BAJO	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: - ¿Qué puede salir mal o fallar? - ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? - ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	MUY BAJO	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades

Tabla 25. Decisiones y acciones para controlar el riesgo según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

En las siguientes tablas se evalúan las matrices de riesgos de acuerdo al modelo establecido en el RETIE, por ausencia de electricidad, por contacto directo e indirecto, por arcos eléctricos, por sobrecarga, por tensión de paso y contacto, por cortocircuito, por electricidad estática, por equipo defectuoso y por rayos.

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Ausencia suministro por				Ausencia de Electricidad (al) o (en)			SSFV		
	Evento o efecto (ej. Daño perecederos)				Factor de riesgo (CAUSA) (ej. arco eléctrico)			Central de Generación Falla Generador		
Potencial	X	Real			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

EVALUADOR:	John Jairo Correa Garcés	MP:	05205 - 11294	FECHA:	Octubre 9 del 2020
------------	--------------------------	-----	---------------	--------	--------------------

Tabla 26. Matriz de riesgos por ausencia de electricidad según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Electrocución por				Contacto Directo/Indirecto (al) o (en)			Conductores y Tableros		
	Evento o efecto				Factor de riesgo			Fuente		
	(ej: Quemaduras)				(CAUSA) (ej: arco eléctrico)			(ej: Tablero Ppal - Equip.)		
Potencial	X	Real			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: John Jairo Correa Garcés					MP: 05205 - 11294	FECHA: Octubre 9 del 2020				

Tabla 27. Matriz de riesgos por contacto directo e indirecto según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Arcos Eléctricos por				Cortocircuito (al) o (en)			Conductores		
	Evento o efecto				Factor de riesgo			Fuente		
	(ej: Quemaduras)				(CAUSA) (ej: arco eléctrico)			(ej: Tablero Ppal - Equip.)		
Potencial	X	Real			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: John Jairo Correa Garcés MP: 05205 - 11294 FECHA: Octubre 9 del 2020										

Tabla 28. Matriz de riesgos por arcos eléctricos según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Incendio por				Sobrecarga (al) o (en)			Conductores		
	Evento o efecto				Factor de riesgo			Fuente		
	(ej: Quemaduras)				(CAUSA) (ej: arco eléctrico)			(ej: Conductores - Tab		
Potencial	X	Rcal			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: John Jairo Correa Garcés MP: 05205 - 11294 FECHA: Octubre 9 del 2020										

Tabla 29. Matriz de riesgos por sobrecarga según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Electrocución por			Tensión de Paso / Contacto			Partes metálicas			
	Evento o efecto (ej: Quemaduras)			Factor de riesgo (CAUSA) (ej: arco eléctrico)			Fuente (ej: Tablero Ppal - Equip.)			
Potencial	X	Real			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: <u>John Jairo Correa Garcés</u> M P : <u>05205 - 11294</u> FECHA : <u>Octubre 9 del 2020</u>										

Tabla 30. Matriz de riesgos por tensión de paso y contacto según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Electrocución por			Cortocircuito (al) o (en)			Conductores de			
	Evento o efecto (ej: Quemaduras)			Factor de riesgo (CAUSA) (ej: arco eléctrico)			Fuente (ej: Tablero Ppal)			
Potencial	X	Real		FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUYALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: <u>John Jairo Correa Garcés</u> M P : <u>05205 - 11294</u> FECHA : <u>Octubre 9 del 2020</u>										

Tabla 31. Matriz de riesgos por cortocircuito según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Explosiones o chispas			Electricidad estática (al) o (en)			Superficies expuestas			
	Evento o efecto (ej: Quemaduras)			Factor de riesgo (CAUSA) (ej: arco eléctrico)			Fuente (ej: Tablero Ppal)			
Potencial	X	Real		FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa	E	D	C	B	A	
					No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa	
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: John Jairo Correa Garcés MP : 05205 - 11294 FECHA : Octubre 9 del 2020										

Tabla 32. Matriz de riesgos por electricidad estática según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Fallos Generales por			Equipos Defectuosos (al) o (en)			Equipos Energizados			
	Evento o efecto (ej: Quemaduras)			Factor de riesgo (CAUSA) (ej: arco eléctrico)			Fuente (ej: Tab Ppal - Equipos)			
Potencial	X	Real			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: <u>John Jairo Correa Garcés</u> MP: <u>05205 - 11294</u> FECHA: <u>Octubre 9 del 2020</u>										

Tabla 33. Matriz de riesgos por equipos defectuosos según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

MATRIZ PARA ANÁLISIS DE RIESGOS										
Riesgo a evaluar	Incendio o explosión _____ por _____ Evento o efecto (ej: Quemaduras)				Rayos _____ Factor de riesgo (CAUSA) (ej: arco eléctrico)			Equipos Energizados Fuente (ej: Est. panel)		
	Potencial	X	Real			FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al mes en la empresa
	Una o mas muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Danos mayores salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapa-cidad temporal (> 1 día)	Danos severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin inca-pacidad)	Danos importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Danos leves, no interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
EVALUADOR: _____ John Jairo Correa Garcés _____ MP : _____ 05205 - 11294 _____ FECHA : _____ Octubre 9 del 2020 _____										

Tabla 34. Matriz de riesgos por rayos según modelo del RETIE

Fuente: RETIE

En la siguiente tabla se hace un resumen de la evaluación de cada uno de los riesgos analizados en las Tablas 26 a 34, sus posibles causas y las acciones de mitigación.

No.	Tipo de Riesgo	Nivel de Riesgo	Causas	Acciones de Mitigación
1	Por ausencia de electricidad	2D: Bajo	Fallas de los elementos que componen el SSFVI	Mantenimiento preventivo y correctivo. Operación solo con personal calificado. Uso de EPP.
2	Por contacto directo e indirecto	3E: Bajo	Fallas de aislamiento de conductores y maniobras de tableros y equipos del SSFVI	Operación solo con personal calificado. Uso de EPP. Verificación de ausencia de tensión. Instalación de sistema de puesta a tierra, al cual se aterrizan todos los equipos y se equipotencian.
3	Por arcos eléctricos	3E: Bajo	Fallas de aislamiento, cortocircuitos y maniobras de energización y desenergización	Instalación de protecciones termomagnéticas automáticas. Operación solo con personal calificado. Uso de EPP.
4	Por sobrecarga	2D: Bajo	Uso de aparatos eléctricos que superan la capacidad de corriente de los conductores diseñados.	Instalación de protecciones termomagnéticas automáticas. Conectar los equipos establecidos en la caracterización de la carga de diseño. No usar multitomas.
5	Por tensión de paso y contacto	4D: Medio	Fallas de aislamiento. Fallas a tierra. Sobretensiones. Descargas atmosféricas	Operación solo con personal calificado. Uso de EPP. Instalación de sistema de puesta a tierra, al cual se aterrizan todos los equipos y se equipotencian. Mantenimiento periódico al sistema de puesta a tierra. Instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones.
6	Por cortocircuito	3D: Medio	Fallas de aislamiento. Descargas atmosféricas. Conexiones y terminales sueltas.	Instalación de protecciones termomagnéticas automáticas. Apretar los puntos de conexión y terminales.
7	Por electricidad estática	2E: Bajo	Acumulación de cargas eléctricas en los equipos.	Instalación de sistema de puesta a tierra, al cual se aterrizan todos los equipos y se equipotencian.
8	Por equipo defectuoso	2E: Bajo	Fallas en los equipos del SSFVI	Reposición del equipo al cumplir su vida útil. Mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos. Uso de equipos con certificación de conformidad técnica del producto.
9	Por rayos	3D: Medio	Descargas atmosféricas.	Instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones y transitorios. Instalación de sistema de puesta a tierra.

Tabla 35. Resumen de la evaluación de cada uno de los riesgos contemplados, sus posibles causas y las acciones de mitigación, según modelo del RETIE

Fuente: Elaboración propia

8 Distancias de seguridad

El SISFV a instalar para cada usuario rural disperso en las ZNI del Municipio de Ríohacha, La Guajira, cumple ampliamente con las distancias de seguridad requeridas para equipos eléctricos y conductores energizados, de acuerdo al RETIE.

La estructura que soporta los paneles SFV, cumple ampliamente con la distancia de seguridad con respecto a la edificación del usuario rural, pues esta se instala en un rango entre 5 y 15 metros de la fachada de la edificación, superando la distancia mínima de seguridad de 1,7 metros para tensiones menores a 1 KV establecida por el RETIE en la Tabla 13.1.

En cuanto al resto de equipos que componen el SISFV, tales como la batería, controlador, inversor y protecciones, estos se albergan dentro de un gabinete metálico con sus respectivas distancias de seguridad internas adecuadas, y aislándolos de un posible contacto directo con el exterior.

En cuanto a los conductores, estos son aislados y canalizados en tuberías, evitando el contacto directo con el exterior, y por lo tanto, no les aplica algún criterio de distancias de seguridad establecido en el RETIE.

9 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra del SISFV se dimensionará de acuerdo a la resistividad del terreno en donde están ubicados los usuarios beneficiarios, medida con un telurómetro debidamente calibrado.

9.1 Medición de resistividad

La medición de la resistividad del terreno se hizo con el telurómetro marca METREL MI-3123, consistente básicamente en enterrar 4 electrodos dentro del suelo a lo largo de una línea recta, a igual distancia de separación “a”, a una profundidad “b” del 5% de dicha distancia de separación, tal como se muestra en la siguiente figura.

Telurómetro METREL MI-3123

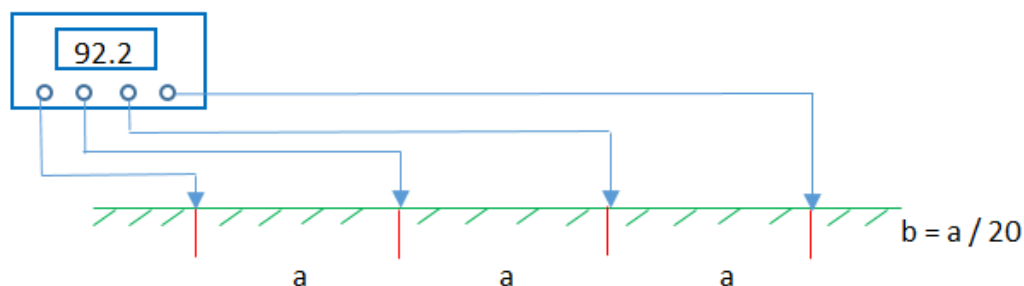


Figura 9. Diagrama de conexión del telurómetro METREL MI-3123 para efectuar la medida de resistividad del terreno en el municipios de Ríoacha, La Guajira, utilizando el método de los cuatro puntos de WENNER

Fuente: Erasmus

A continuación se evidencian las fotografías de las mediciones realizadas en las UCAS de las comunidades indígenas del Municipio de Ríoacha, La Guajira, objeto de este estudio, y su respectivo cálculo de la resistividad del terreno a unas distancias de separación “a” de los electrodos de 1, 2, 3 y 4 metros, tanto en dirección longitudinal como transversal, para así obtener un valor promedio de resistividad.



Figura 10. Medición resistividad terreno comunidad indígena Jirrawaikat del municipio de Ríohacha

Fuente: Elaboración propia



Figura 11. Medición resistividad terreno comunidad indígena La Laguna del municipio de Ríohacha

Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Medición resistividad terreno comunidad indígena Cucurumana del municipio de Ríohacha
Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Medición resistividad terreno comunidad Juliakat del municipio de Ríohacha
Fuente: Elaboración propia

En las siguientes tablas se muestran los cálculos del promedio de resistividad del terreno para las UCAS de las comunidades indígenas del municipio de Ríoacha, La Guajira.

COMUNIDAD INDÍGENA JIRRAWAIKAT - MUNICIPIO DE RÍOHACHA			
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS d (m)	PROFUNDIDAD ELECTRODOS d/20 (m)	RESISTIVIDAD MEDIDA	
		LONGITUDINAL Ω -m	TRANSVERSAL Ω -m
1	0,05	67,8	75,6
2	0,10	70,1	78,7
3	0,15	72,5	80,4
4	0,20	74,6	83,1
PROMEDIO RESISTIVIDAD (Ω -m)		71,3	79,5
PROMEDIO RESISTIVIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (Ω -m)		75,4	

Tabla 36. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Jirrawaikat del Municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

COMUNIDAD INDÍGENA LA LAGUNA - MUNICIPIO DE RÍOHACHA			
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS d (m)	PROFUNDIDAD ELECTRODOS d/20 (m)	RESISTIVIDAD MEDIDA	
		LONGITUDINAL Ω -m	TRANSVERSAL Ω -m
1	0,05	88,9	89,5
2	0,10	86,5	87,2
3	0,15	83,2	84,3
4	0,20	80,4	81,4
PROMEDIO RESISTIVIDAD (Ω -m)		84,8	85,6
PROMEDIO RESISTIVIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (Ω -m)		85,2	

Tabla 37. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena La Laguna del Municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

COMUNIDAD INDÍGENA CUCURUMANA - MUNICIPIO DE RÍOHACHA			
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS d (m)	PROFUNDIDAD ELECTRODOS d/20 (m)	RESISTIVIDAD MEDIDA	
		LONGITUDINAL Ω -m	TRANSVERSAL Ω -m
1	0,05	180	178
2	0,10	184	181
3	0,15	187	183
4	0,20	190	187
PROMEDIO RESISTIVIDAD (Ω -m)		185,3	182,3
PROMEDIO RESISTIVIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (Ω -m)		183,8	

Tabla 38. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Cucurumana del Municipio de Ríoacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

COMUNIDAD INDÍGENA JULIAKAT - MUNICIPIO DE RÍOHACHA			
DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS d (m)	PROFUNDIDAD ELECTRODOS d/20 (m)	RESISTIVIDAD MEDIDA	
		LONGITUDINAL Ω-m	TRANSVERSAL Ω-m
1	0,05	200	215
2	0,10	203	211
3	0,15	207	208
4	0,20	212	204
PROMEDIO RESISTIVIDAD (Ω-m)		205,5	209,5
PROMEDIO RESISTIVIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL (Ω-m)		207,5	

Tabla 39. Cálculo de la resistividad del terreno en la comunidad indígena Juliakat del Municipio de Ríohacha, La Guajira

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra el resumen obtenido del cálculo del promedio de resistividad del terreno para las UCAS de las comunidades indígenas del municipio de Ríohacha, La Guajira, calculados en las anteriores tablas.

No.	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	COMUNIDAD INDÍGENA	RESISTIVIDAD PROMEDIO Ω-m
1	La Guajira	Ríohacha - UCAS	Jirrawaikat	75,4
2			La Laguna	85,2
3			Cucurumana	183,8
4			Juliakat	207,5

Tabla 40. Resumen de las mediciones de resistividad en el Municipio de Ríohacha

Fuente: Elaboración propia

9.2 Cálculo de la puesta a tierra

Para el cálculo del sistema de puesta a tierra se usa la siguiente fórmula, donde la resistencia de contacto de una varilla está dada por la fórmula de Dwight (H. B. Dwight. "Calculation of Resistances to Ground." AIEE Transactions vol 55. Dic 1936. págs. 1319-1328).

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} \left(\ln \left(4 * \frac{L}{r} \right) - 1 \right)$$

Donde:

R: Resistencia en Ω

ρ : Resistividad del terreno en $\Omega\cdot m$

L: Largo de la varilla en m

r: Radio de la varilla en m

De acuerdo al resumen de las mediciones de resistividad efectuado a las UCAS de las comunidades indígenas de las ZNI del municipio de Ríoacha, La Guajira, detallado en la Tabla 40, se selecciona la resistividad promedio obtenida para la comunidad indígena Juliakat, la cual arroja el valor de resistividad más alto de 207,5 $\Omega\cdot m$, ya que al diseñar el sistema de puesta a tierra para este valor más alto, cumplirá ampliamente para los demás sistemas del resto de las comunidades con menos resistividad en sus terrenos.

En la siguiente tabla se detallan los cálculos efectuados para obtener la resistencia de puesta a tierra con una varilla de cobre de 5/8" x 2,4 m y bajante en cable de cobre desnudo No. 4 AWG.

Parámetros Sistema Puesta a Tierra	UCAS Municipio Ríoacha, La Guajira	
	Terreno natural	Suelo Artificial
Resistividad del terreno: ρ ($\Omega\cdot m$)	207,5	20,8
Longitud de la varilla: L (m)	2,4	2,4
Radio de la varilla: r (m)	0,0079375	0,0079375
Resistencia: R (Ω)	83,9	8,4

Tabla 41. Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra para el SISFV diseñado

Fuente: Elaboración propia

El RETIE sugiere que la resistencia máxima a tierra para las redes eléctricas para equipos electrónicos o sensibles, como son los que componen el SISFV, debe ser de máximo 10 Ω .

De los resultados obtenidos en la anterior tabla se observa que al no cumplir con la resistencia máxima recomendada por el RETIE para el sistema de puesta a tierra con terreno natural, se requiere aplicar un suelo artificial para mejoramiento de la resistividad del terreno. Con la aplicación de este suelo artificial se logra disminuir la resistividad del terreno a un 10% aproximadamente de la resistividad del terreno natural, ya que el suelo artificial comercial tiene una resistividad de 0,5 $\Omega\cdot m$, arrojando el sistema de puesta a tierra una resistencia de 8,4 Ω , cumpliendo con lo recomendado en el RETIE.

En la siguiente figura se detalla el sistema de puesta a tierra diseñado para el SISFV, dando cumplimiento al RETIE.

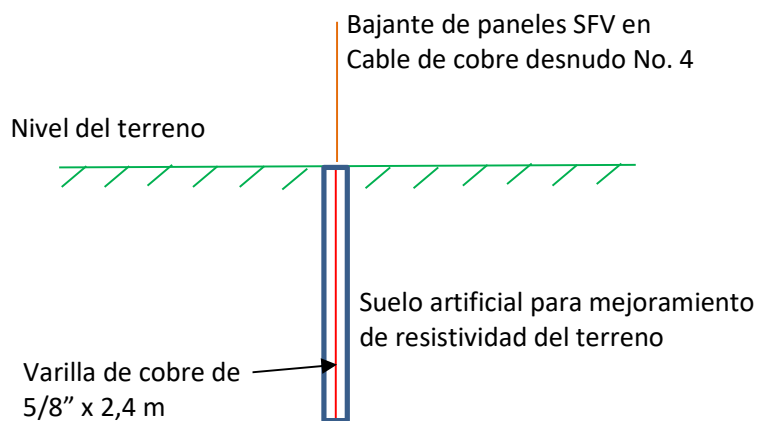


Figura 14. Sistema de puesta a tierra proyectado para el SISFV de acuerdo al RETIE
Fuente: Elaboración propia

10 Anexos

10.1 Certificado de calibración de los equipos

Se anexa el certificado de calibración del telurómetro.

10.2 Informe geológico - geotécnico

Se anexa el informe geológico - geotécnico del proyecto efectuado y debidamente firmado por el Ingeniero Geólogo: Alirio Ernesto Acevedo Alarcón, junto con su tarjeta profesional y su certificado de vigencia de su matrícula profesional.

10.3 Cálculo estructural soporte paneles

Se anexan las memorias de cálculos estructurales del soporte de los paneles, efectuado por el Ingeniero Civil – Especialista en Ingeniería de Estructuras: Alfredo Martín Pérez Jaimes, junto con su memorial de responsabilidad del diseño debidamente firmado, tarjeta profesional y su certificado de vigencia de su matrícula profesional.