

ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS E IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE
SISTEMAS DE GENERACIÓN AISLADA, A PARTIR DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA

SAMUEL SAID SALAZAR BLANCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA

2017

ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS E IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE
SISTEMAS DE GENERACIÓN AISLADA, A PARTIR DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA EN ZONAS NO INTERCONECTADAS DE COLOMBIA

SAMUEL SAID SALAZAR BLANCO

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

DIRECTOR: YECID ALFONSO MUÑOZ MALDONADO (PhD)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

BUCARAMANGA, COLOMBIA

2017

GLOSARIO

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

FAER: Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas.

FAZNI: Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas.

FENOGE: Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía.

FNCE: Fuentes no convencionales de energía.

FNCER: Fuentes no convencionales de energía renovable.

FV: Fotovoltaica.

GEI: Gases de efecto invernadero.

ICEE: Índice de Cobertura de Energía Eléctrica.

IDEAM: Instituto de Estudios Ambientales.

IPSE: Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas.

SFA: Sistema fotovoltaico aislado o autónomo.

SFV: Sistema fotovoltaico.

SIEL: Sistema de Información Eléctrico Colombiano

SIN: Sistema Interconectado Nacional.

SOC: Estado de Carga (State Of Charge).

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética.

RESUMEN

Este trabajo está enfocado en el análisis de los impactos socioeconómicos y aspectos técnicos de los sistemas fotovoltaicos stand-alone dispuestos en el municipio de Hato Corozal, Casanare, como solución individual de generación de energía eléctrica en zona no interconectada de Colombia. Se realizó una revisión del proyecto de energización rural con el fin de identificar la metodología de dimensionamiento, es decir, la estimación de la energía demandada por un usuario típico, la curva de carga de los mismo y las características técnicas de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico implementado; igualmente se hizo una comparación del estado socioeconómico de la comunidad previo y post a la llegada de los SFV, donde se constató cambios de hábitos de vida, reemplazo de energéticos utilizados para sus diferentes actividades, adquisición de equipos eléctricos, etc.

Igualmente se desarrolló un informe de fallas, el cual fue aplicado a los sistemas, donde tuvo como resultado que el inversor es el componente que más ha presentado problemas en su funcionamiento, por ende se propone hacer un análisis detallado de las posibles causas de fallas de este equipo, ya que con un estudio experimental se podría saber por qué fallan los subcomponentes del mismo.

Se caracterizó el consumo eléctrico actual de la población, con el fin de determinar la capacidad de los sistemas de responder a esta demanda de energía, y se estableció un amento de carga de los usuarios debido a la adquisición futura de aparatos eléctricos. Este documento resalta la importancia del software Homer Energy, para la simulación de futuros aumentos de demanda de energía, elaborando un ejemplo con el que se logra mostrar la metodología de su utilización. Este trabajo termina con la propuesta de modelo de sostenibilidad, conformado por aspectos claves que prioriza tanto a la tecnología implementada para el abastecimiento de energía, como en el desarrollo de la comunidad afectada por el acceso a la energía.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	14
4. ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	16
1. MARCO CONCEPTUAL.....	17
1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO STAND-ALONE.....	17
1.2 DESEMPEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	17
1.2.1 Fallos comunes	17
1.2.2 Factores que afectan al rendimiento	21
1.2.3 Mantenimiento de la instalación	23
1.3 IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE ENERGIZACIÓN RURAL CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	25
1.4 ACCESO A LA ENERGÍA	25
1.5 CONSUMO DE SUBSISTENCIA	28
2. DESARROLLO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA	29
2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA	29
3. ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA	32
3.1 ZONAS CONECTADAS AL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	32
3.2 ZONAS NO INTERCONECTADAS	33
3.2.1 Marco regulatorio para su electrificación	35
3.2.2 Marco institucional	37
3.2.3 Normatividad para sistemas fotovoltaicos	38
5. ANTECEDENTES.....	40
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	42
1. METODOLOGÍA DE TRABAJO	43

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN - HATO COROZAL.....	45
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	46
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE HATO COROZAL – CASANARE	46
1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS	48
1.3 ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO PREVIO A LA INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS.....	50
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	54
1. ANÁLISIS DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	55
2. FALLAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS	66
2.1 SISTEMA DE GENERACIÓN.....	66
2.2 SISTEMA DE CONTROL E INVERSOR	68
2.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	70
2.4 CABLEADO DE LA INSTALACIÓN.....	71
3. CONSUMO ESTIMADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR PARTE DE LA COMUNIDAD.....	73
4. CURVA DE CARGA REAL DE USUARIOS.....	78
5. SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA CON LA DEMANDA PROMEDIO DE ENERGÍA ESTIMADA.	82
6. ESTRATEGIAS PARA INCREMENTAR EL IMPACTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS.....	87
6.1.1 Proyectos productivos.....	88
6.1.2 Fondo de apoyo.....	89
6.1.3 Mercado	89
6.1.4 Capacitación a la comunidad	89
6.1.5 Pago de electricidad.....	89
6.1.6 Monitoreo al sistema fotovoltaico	89
6.1.7 Evaluación de impacto.....	89
6.1.8 Planeación ambiental	90
CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS	96

ANEXO A - INFORME DE FALLAS.....	96
ANEXO B - ENCUESTA DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y ACCESO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA	99
ANEXO C – CATÁLOGO DEL MEDIDOR INTELIGENTE LY-SM100	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz Multi-tier para medir el acceso al suministro de electricidad en el hogar..	27
Tabla 2. Consumo de subsistencia en kWh/mes.	28
Tabla 3. Irradiación promedio para diferente región del país.	32
Tabla 4. Marco institucional para Zonas No Interconectadas.	37
Tabla 5. Normas Técnicas Colombianas referentes a sistemas fotovoltaicos.	38
Tabla 6. Normativa y tipo de las NTC.	40
Tabla 7. Estimación de viviendas con y sin servicio de energía eléctrica en Casanare - 2013	46
Tabla 8. Especificaciones del sistema instalado y consumo estimado por vivienda promedio.	49
Tabla 9. Dispositivos eléctricos que posee una vivienda promedio.	74
Tabla 10. Caracterización del consumo estimado de energía eléctrica promedio de una vivienda ubicada en Hato Corozal.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema básico de un sistema fotovoltaico autónomo.	17
Figura 2. Caja de conexión con diodos de bypass destruidos por sobretensión.	19
Figura 3. Punto caliente en una celda debido a malos contactos (Ministerio de Energía de Chile , 2016).	20
Figura 4. Conectores quemados por mala conexión	21
Figura 5. Variación de corriente y voltaje con cambio en la irradiancia.	22
Figura 6. Ejemplo de dependencia de la tensión de circuito abierto y de la corriente de corto de una célula solar con temperatura.	23
Figura 7. Matriz Multi-tier para medir el acceso a los servicios eléctricos domiciliarios. ...	26
Figura 8. Mapa de irradiación global horizontal medio diaria, anual.	31
Figura 9. Matriz de energía eléctrica de Colombia - Marzo de 2017	33
Figura 10. Cobertura de energía eléctrica a 2015.	34
Figura 11. Zonas No Interconectadas de Colombia.	35
Figura 12. Esquema de la metodología empleada.	43
Figura 13. Ubicación geográfica de Hato Corozal – Casanare	47
Figura 14. Ganadería en Hato Corozal – Casanare	47
Figura 15. Mapa de irradiación global horizontal medio diaria del departamento de Casanare.	48
Figura 16. Radiación solar horaria diaria para el mes de junio. $G (0^\circ - 10^\circ)$	48
Figura 17. Esquema de sistema utilizado en las viviendas.	49
Figura 18. Sistemas fotovoltaicos instalados.	50
Figura 19. Material de construcción de vivienda.	51
Figura 20. Material de los pisos de la vivienda.	51
Figura 21. Material en que está construido el techo de la vivienda.	51
Figura 22. Número de personas que habitan su vivienda.	52
Figura 23. Fuente de agua para consumo.	52
Figura 24 Tipo de servicio sanitario.	52
Figura 25. Número de personas que viven en el hogar.	55
Figura 26. Material de fachada (a) y Material del techo (b).	56
Figura 27. Material del piso (a) y servicio sanitario (b).	56
Figura 28. Fuente de agua.	57
Figura 29. Cambio de extracción manual de agua a electrobomba.	57
Figura 30. Dispersión de área construida contra área de terreno total.	58
Figura 31. Infraestructura diferente a la vivienda.	58
Figura 32. Medios de transporte utilizados por la comunidad (a) y Tiempo [horas] que gasta un usuario para ir a su predio (b).	59
Figura 33 Medio de transporte en invierno para ir a la cabecera municipal (a) y Tiempo [horas] gasta en invierno para ir a su predio (b).	59

Figura 34. Reducción de problemas respiratorios (a), Reducción de accidentes (quemaduras, incendios) (b) y Reducción de problemas oculares (c).	60
Figura 35. Hora de apagado de luces, antes de la instalación de los SFV.	60
Figura 36. Hora de apagado de luces, después de la instalación de los SFV.	61
Figura 37. Diferencia entre el uso de luz, antes y después de la llegada de los SFV.	61
Figura 38. Energéticos que antes utilizaba la comunidad.	62
Figura 39. Energético que la comunidad utilizan.	62
Figura 40. Percepción del mejoramiento del nivel de vida (a) y Percepción de ahorro de dinero debido a los SFV (b).	63
Figura 41. Horas diarias que se le dedica a escuchar la radio, antes y después de la llegada de los SFV.	63
Figura 42. Horas que la comunidad ve televisión por día, después de la llegada de los SFV.	64
Figura 43. Aportes económicos extra que ha tenido que efectuar a los SFV.	64
Figura 44. Hora de levantarse de la comunidad antes y después de instalar los SFV.	65
Figura 45. Hora de acostarse de las personas adultas, antes y después de la llegadas de los sistemas.	65
Figura 46. Fallos en el sistema fotovoltaico.	66
Figura 47. Módulo fotovoltaico ubicado en la vereda Las Flores/Santa Bárbara, del municipio de Hato Corozal.	67
Figura 48. Estructura del soporte de los sistemas fotovoltaicos (vereda Las Flores/Santa Bárbara).	67
Figura 49. Soporte de los módulos fotovoltaicos ubicados en la vereda Las Flores/Santa Bárbara.	68
Figura 50. Regulador de carga instalado en una de las viviendas de la vereda La Flores/Santa Bárbara.	69
Figura 51. Porcentaje de sistemas con fallas en el regulador.	69
Figura 52. Fallas en el inversor.	70
Figura 53. Inversor (I-PANDA) dispuesto en la finca San Pablo de la Vereda Las Flores/Santa Bárbara.	70
Figura 54. Porcentaje de fallas en los sistemas de almacenamiento.	71
Figura 55. Sistema de almacenamiento del generador fotovoltaico.	71
Figura 56. Conexiones del arreglo fotovoltaico.	71
Figura 57. Caja de distribución de distribución eléctrica.	72
Figura 58. Electrobomba 110V/60Hz/0,5HP ubicada en la vereda Las Flores/Santa Bárbara, municipio de Hato Corozal – Casanare.	73
Figura 59. Estimación de consumo de energía de los usuarios encuestados.	74
Figura 60. Curva de carga promedio sin uso de electrobomba de una vivienda en Hato Corozal.	76
Figura 61. Curva de carga promedio con uso de electrobomba de una vivienda en Hato Corozal.	76

Figura 62. Carga a añadir por parte de los usuarios.....	77
Figura 63. Equipos a adquirir por parte de los usuarios.....	77
Figura 64. Ubicación de las viviendas de donde se obtuvieron las curvas de carga reales.	78
Figura 65. Medidor inteligente LY-SM100 con su diagrama de conexión.....	79
Figura 66. Medidor inteligente monofásico LY-SM100 GPRS MODULE	80
Figura 67. Curva de carga, día Jueves de la finca El Callao - vereda El Brillante.	80
Figura 68. Curva de carga, día lunes finca el Callao - vereda El Brillante.....	81
Figura 69. Curva de carga, domingo, finca Puerto Leticia - vereda Santa María.	81
Figura 70. Miércoles, finca Puerto Leticia - vereda Santa María.	81
Figura 71 Logo de Homer Energy.	82
Figura 72. Localización geográfica de Hato Corozal, Casanare.	82
Figura 73. Interfaz de Homer Energy para la ingreso de la curva de carga.	83
Figura 74. Curvas de demanda con variabilidad del 10%.....	83
Figura 75. Entrada de datos de radiación diaria.	84
Figura 76. Temperatura promedio mensual según información de la NASA.....	84
Figura 77. Ingreso de información dimensión y costos del panel solar.	85
Figura 78. Ingreso de información dimensión y costos de las baterías.....	85
Figura 79. Ingreso de datos del inversor.	85
Figura 80. Configuración final del programa.....	86
Figura 81. Resultado de simulación.	86
Figura 82. Suministro de energía diario.....	87
Figura 83. Esquema propuesto para la sostenibilidad de proyectos fotovoltaicos para la electrificación de ZNI.	88
Figura 84. App SurveyToGo para Android.	90
Figura 85. SurveyToGo para Windows.	90

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1. INTRODUCCIÓN

El número total de viviendas en Colombia a finales de 2015 fue de 13'993.569, de las cuales el 96,96% tuvieron cobertura de energía eléctrica, es decir 13'568.357 viviendas; donde 95,17% son usuarios del Sistema Interconectado Nacional y 1,79% (250.377 usuarios) son usuarios de Zonas No Interconectadas. Así mismo el déficit de cobertura fue del 3,04% (425.212 viviendas), de este último dato el 92,9% pertenece al sector rural (SIEL, 2016).

El departamento de Casanare a 2015 tuvo 125.475 viviendas, donde el 88,45% son usuarios del SIN y 11,55% (14.489 viviendas) están ubicadas en ZNI del país, de los cuales 13.222 viviendas no tuvieron acceso a la energía eléctrica, es decir el 10,54% (todas pertenecientes al sector rural) del total de viviendas (SIEL, 2016).

Aunque en el país se han desarrollado proyectos para suplir de energía eléctrica en zonas donde no existe la accesibilidad a esta, aún quedan grandes retos para abastecer de energía eléctrica las ZNI en Colombia en cuanto a su sostenimiento y cobertura. Al prestar el servicio por medio de una generadora diésel como es el caso del 98% de las viviendas ubicadas en ZNI, el difícil acceso a estas zonas, los problemas con el transporte y la falta de mano de obra calificada en estos centros poblados generan el abandono de las generadoras; lo cual hace que el producir electricidad por medios de una generadora diésel se una solución de difícil sostenimiento a futuro (A. Cadena, 2012).

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son una alternativa para la electrificación de zonas aisladas del Sistema Interconectado Nacional, debido a la libre disposición del recurso energético y de la autonomía de las instalaciones. Aunque continuos proyectos han surgido para la aplicación de estos sistemas en zonas rurales, existen dificultades en su implantación y su sostenimiento (operación) a largo plazo, causado por la insuficiente calidad técnica en las instalaciones y la escasa atención prestada al mantenimiento, sumado a los problemas sociales, económicos y en algunos casos políticos que influyen en su aplicación (Díaz, 2003).

Finalmente, este proyecto busca realizar un seguimiento de los aspectos técnicos y socioeconómicos con el fin de evaluar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos, para generar estrategias que permitan incrementar el impacto de los sistemas de generación de energía en aplicaciones rurales, involucrando la sostenibilidad y confiabilidad de los mismos. De igual forma el seguir los aspectos socioeconómicos permite evaluar el impacto de las instalaciones fotovoltaicas sobre sus usuarios desde el ámbito económico, donde se observará en que tareas utilizan la energía y si lograron aumentar sus ingresos con la llegada de los mismos; así también su influencia sobre la calidad de vida de los habitantes en regiones rurales donde el servicio de energía eléctrica por medio del SIN no es accesible.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia el uso de las tecnologías para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables es reciente, sin embargo se está presentando una gran acogida para suplir de energía eléctrica a Zonas No Interconectadas (ZNI) del país con este tipo de tecnologías limpias, como lo es el caso de la energía solar, debido a la reducción de los costos de implementación, mitigación de riesgos relacionados con este tipo de fuentes renovables, las experiencias exitosas causadas por los desarrollos técnicos logrados internacionalmente y la presencia de agentes con proyectos para su implementación. A pesar de lo mencionado, hay grandes retos para la sostenibilidad de estos sistemas de energización, ya que existe gran cantidad de costos adicionales causados por el complejo acceso a gran parte de las ZNI del país y por lo que tener un monitoreo constante de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico requiere de tiempo y esfuerzo; resaltando que se trata de sistemas de generación de energía eléctrica para viviendas rurales dispersas.

De igual forma dada a la reciente implementación de este tipo de tecnología, se posee un pobre conocimiento de los impactos sociales y económicos reales que tienen las familias las cuales son beneficiarias de estos sistemas. Es necesario saber a modo de retroalimentación, si la capacidad de los sistemas es capaz de suplir las necesidades energéticas de los usuarios, así como el comportamiento de sus consumos luego de tener acceso a la energía eléctrica.

Se necesita proponer soluciones energéticas referentes a la sostenibilidad con el fin de afrontar los problemas relacionados al difícil traslado de personal calificado, condiciones del clima y la evolución de los consumos. Con esto se diseñaran estrategias con el fin de incrementar el impacto de sistemas de generación de electricidad a partir de energía fotovoltaica en aplicaciones rurales aisladas, asegurando una mayor confiabilidad y sostenibilidad, garantizando el acceso a la energía. Se tendrá información por parte de la empresa OPREC, contratista del Instituto de Planificación de Soluciones Energéticas de Colombia, esta empresa cuenta con equipos in situ en la zona de Hato Corozal Casanare.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el estado actual y el desempeño de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas no interconectadas de Casanare, para la determinación de los impactos socioeconómicos de la energización rural sostenible y generación de estrategias orientadas a obtener el mejor desempeño de los sistemas fotovoltaicos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos instalados en zonas no interconectadas de Casanare.

- Identificar las principales causas de fallas de los sistemas instalados según el histórico de reportes de fallas.
- Determinar los impactos socioeconómicos de los sistemas fotovoltaicos, por medio de la elaboración y aplicación de encuesta.
- Diseñar estrategias con el fin de incrementar el impacto de sistemas de generación de energía renovable fotovoltaica en aplicaciones rurales aislada, asegurando una mayor sostenibilidad y confiabilidad.

4. ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO

El presente proyecto evaluará el desempeño de los sistemas fotovoltaicos instalados por OPREC en Hato Corozal – Casanare, por medio de la medición y seguimiento de 2 de los sistemas dispuestos en esta zona, con el fin de generar estrategias que permitan el incremento del impacto de los sistemas de generación, orientadas a mejorar el desempeño de los mismos. De igual forma con este proyecto se pretende determinar el impacto socioeconómico de la energización rural sobre los usuarios que fueron beneficiados.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO STAND-ALONE

Los sistemas fotovoltaicos autónomos representan una tecnología de gran utilidad práctica para la electrificación de zonas aisladas de las redes eléctricas convencionales, aprovechando las ventajas de la libre disposición del recurso y de la autonomía de las instalaciones. A diferencia de los SFV conectados a red, los SFA necesitan de baterías para acumular la energía captada, que luego será consumida por los usuarios de estos sistemas en los ciclos diarios (Díaz, 2003) (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009). En la Figura 1 se observa el esquema básico de un sistema fotovoltaico autónomo.

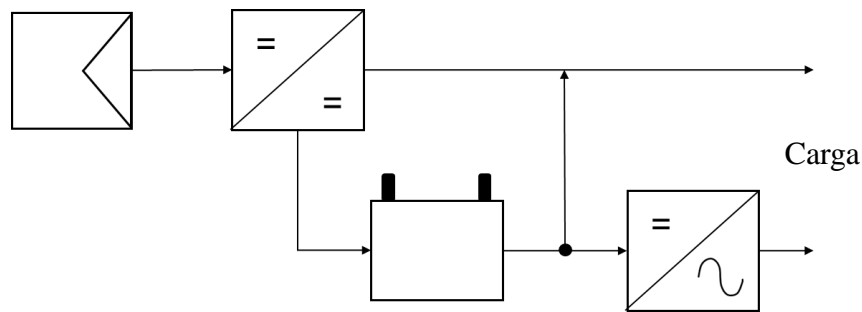


Figura 1. Esquema básico de un sistema fotovoltaico autónomo.

Fuente: Elaborado por el autor.

En los SFA, la corriente generada por los paneles se almacena en un banco de baterías a través del regulador de carga que controla el voltaje y la corriente que entrega los paneles fotovoltaicos. La conexión a las cargas en corriente continua es directa, por lo que si se dispone de equipos que funcionen con corriente alterna, se requerirá de un inversor (Macancela, 2012).

1.2 DESEMPEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.2.1 Fallos comunes

El fallo de un sistema de generación eléctrica, es “aquella situación que impide el suministro normal bajo demanda”. Pero en un sistema fotovoltaico, esta definición está sujeta a situaciones donde la indisponibilidad puntal (horaria, diaria, etc.) de la fuente de energía es un hecho normal e inherente a esta (Díaz, 2003).

Un SFV durante su vida útil, está expuesto a sufrir diferentes fallas, ya sea ocasionada por un error humano, o por fallas técnicas de los equipos. Según un informe de INTELLIGENT ENERGY EUROPE, los fallos más comunes no son provocados por malas prácticas en una determinada etapa del desarrollo del SFV, más bien es una combinación o acumulación de

acciones no óptimas en las diferentes fases o sencillamente causado por la comunicación inadecuada entre los diseñadores e instaladores (PVTRIN, 2011) (Macancela, 2012).

Las fallas más concurrentes en un SFV, se presentan en el inversor; por lo que el mantenimiento de este equipo acumula el mayor porcentaje en costos (cerca al 50% de los costos totales de mantenimiento de todo el SFV). Entre el 60% y el 69% de las fallas se dan por inconvenientes en el inversor (sin tener en cuenta las fallas por problemas en la instalación) esto según estudios a sistemas en Inglaterra, Alemania, Suiza, Japón y Taiwán. La vida útil promedio de los módulos cristalinos está cerca a los 30 años, el de la estructura de montaje hasta 30 años y los inversores 10 años (Ministerio de Energía de Chile , 2016).

A. Inversor

Los periodos en los cuales el inversor esta fuera de operación son considerados las causas de pérdidas más grandes del sistema y pueden ser ocasionadas por varias razones, tales como: Falla de los ventiladores por excesos de material particulado acumulado; colocado en un lugar directamente expuesto a la luz del sol; instalado sobre o cerca de una superficie inflamable; operación de protecciones de la instalación existente; corriente residual demasiado alta; corriente CC demasiado alta; y limitación de potencia debido a altas temperaturas o sobrecarga (Ministerio de Energía de Chile , 2016) (PVTRIN, 2011).

B. Módulos fotovoltaicos

Los paneles son el componente que se encarga de la generación de energía, por ende, cualquier falla en él, afectará el funcionamiento global del sistema. A continuación se describen algunas de las principales causas de fallas en los módulos fotovoltaicos:

- **Degradación del laminado**
Este afecta tanto a la intensidad de energía solar que ingresa a las celdas que luego se transforma en electricidad, como a la generación de corrosión y con este una serie de fallas internas. El laminado al estar expuesto a la intemperie puede envejecerse y tornarse de coloración amarilla y marrón (Ministerio de Energía de Chile , 2016).
- **Delaminación**
Se da por incompatibilidad de materiales, laminado viejo o impureza del vidrio. Aunque en las etapas iniciales no se vea influencia en el rendimiento, con el pasar de los años se nota su influencia sobre la generación de los módulos (PVTRIN, 2011).
- **Interconexión defectuosa**
Si las soldaduras de las conexiones no tienen buen contacto, se puede producir un estrés mecánico acompañado con altas temperaturas, lo que dañaría hasta quemar el laminado y el folio de la parte posterior. Las conexiones defectuosas también se pueden encontrar en o cerca de las cajas de conexiones, las cuales podrían causar daños por sobretensión. En los módulos actuales existen tres diodos de bypass, en

caso que uno de ellos falles, solo funcionará un tercio de la potencia del panel fotovoltaico (Ministerio de Energía de Chile , 2016). En la Figura 2 se muestra una caja de conexión con diodos destruidos por sobretensión.

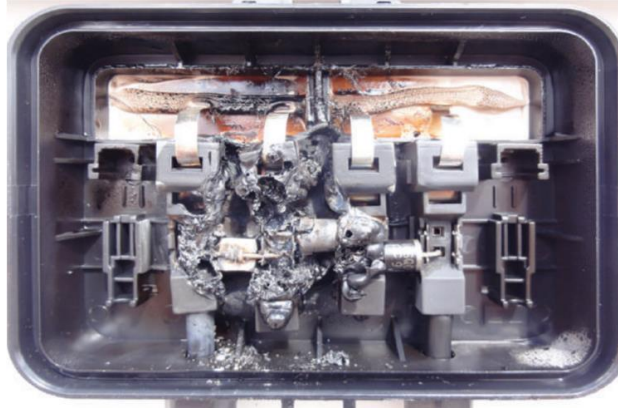


Figura 2. Caja de conexión con diodos de bypass destruidos por sobretensión.

Fuente: (Ministerio de Energía de Chile , 2016)

- Roturas y micro-roturas
Pueden ser causadas por el estrés mecánico o térmico sobre la celda durante su fabricación, transporte, instalación o por condiciones ambientales como viento, Es complicado evitar las micro-roturas con las mejores celdas de la actualidad, su influencia sobre el rendimiento de la celda depende de la cantidad y longitud de la misma (Ministerio de Energía de Chile , 2016).
- Puntos y celdas calientes
Son causados por sombras que cubren una celda, generando sobrecalentamiento, lo que hace que estas actúen como consumidor (disipando calor), alcanzando altas temperaturas. El diodo bypass es el sistema de protección contra puntos calientes, que permite que la corriente pase alrededor de la (s) celda sombreada (s), con el fin de reducir la pérdida de potencia dentro del módulo sombreado, alargando la vida útil del módulo (Ministerio de Energía de Chile , 2016). En la Figura 3, se muestra la existencia de puntos calientes en una celda fotovoltaica.

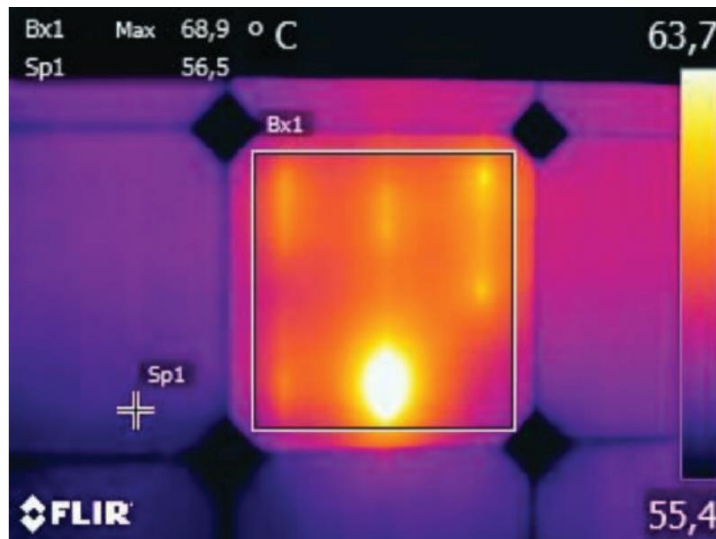


Figura 3. Punto caliente en una celda debido a malos contactos (*Ministerio de Energía de Chile , 2016*).

Fuente: DGS Berlín e. V.

Además, se consideran fallas técnicas, si la potencia real inicial del panel fotovoltaico es inferior a la nominal de etiquetado, si existe pérdida progresiva de potencia por degradación, si la potencia de generación es inferior a la requerida por la carga de diseño o si se genera falla súbita, causada por la rotura del panel (Macancela, 2012).

C. Batería

Las fallas más comunes son: Capacidad inicial baja, pérdida progresiva de capacidad por degradación o falla súbita (por un cortocircuito entre terminales, cortocircuito interno por precipitación de material o rotura de la caja etc.), y pueden ser causadas por no estar instaladas en un recinto aislados, estar instaladas ceca de materiales inflamables y radioactivos, estar expuestas a la luz directa del sol o expuestas a altas temperaturas (Macancela, 2012) (PVTRIN, 2011).

D. Regulador de carga

Algunas de las fallas que se presentan en este equipo son las siguientes: Interrupción de la circulación de corriente (línea de generación o carga); autoconsumo y caídas de tensión excesivas; regulación incorrecta de la batería (por mal ajuste en el diseño inicial o por desajuste en la operación); o ausencia de las funciones de protección (Macancela, 2012).

C. Cableado y conexiones

El cableado en pertinentes condiciones como lo establece la norma, minimiza el riesgo de fallas. Sin embargo, se hace necesario chequear el cableado que está expuesto a la intemperie frecuentemente para identificar roturas en el aislamiento, lo que puede conducir a fallas del

aislamiento, arco eléctrico, caídas de tensión excesivas en líneas de alimentación y consumo, cortocircuitos e incendio (Ministerio de Energía de Chile , 2016) (Macancela, 2012).



Figura 4. Conectores quemados por mala conexión

Fuente: GS Berlín e. V.

1.2.2 Factores que afectan al rendimiento

- Efecto de la irradiancia: La corriente producida por un panel fotovoltaico es directamente proporcional a la iluminación recibida, por lo que un bajo nivel de energía radiante provoca que la corriente también sea baja, la cual como se muestra en la Figura 5, disminuye a medida que se reduce la irradiancia (Figuroa, Parra, & Rodriguez, 2014).

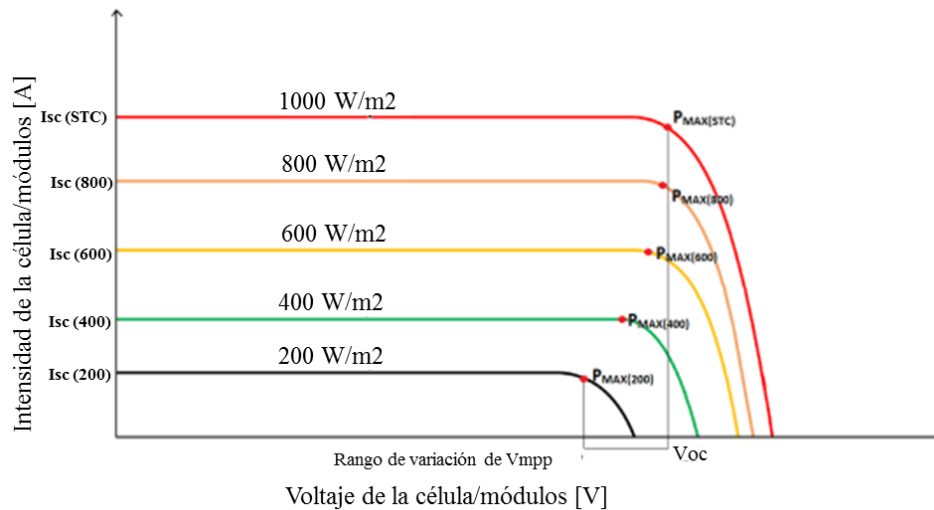


Figura 5. Variación de corriente y voltaje con cambio en la irradiancia.

Fuente: (Ingelibre, 2014)

- Efecto de la sombra: Pequeñas sombras pueden provocar que gran parte del panel no funcione. Ya que este hecho hace que la células situadas en la zona de sombra o con suciedad excesiva pasen a comportarse como receptoras, en lugar de generadoras, aumentado de tal forma su temperatura, inclusive originando daños irreparables (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009).
- Efecto de la orientación e inclinación: En instalaciones fijas, es imposible mantener el panel perpendicular al sol, por lo cual el sistema se debe diseñar de tal forma que su disposición permita aprovechar la mayor cantidad de luz posible (Figuerola, Parra, & Rodriguez, 2014).
- Efecto de la temperatura: El valor de la tensión de circuito abierto se ve afectado importantemente por la temperatura. Al aumentar la temperatura, la corriente tiende a aumentar ligeramente, sin embargo el voltaje cae notablemente, lo que genera una caída en la potencia entregada por el módulo fotovoltaico. además, la eficiencia de las células solares disminuye cuando aumenta la temperatura debido, sobre todo, a la disminución que sufre la tensión de circuito abierto (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009) (Figuerola, Parra, & Rodriguez, 2014). En la Figura 6 se muestra la variación grande que experimenta la tensión de circuito abierto con la temperatura.

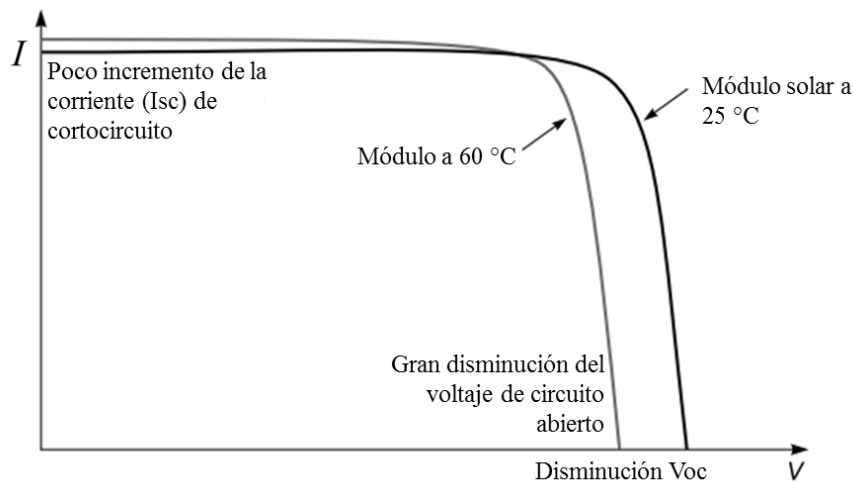


Figura 6. Ejemplo de dependencia de la tensión de circuito abierto y de la corriente de corto de una célula solar con temperatura.

Fuente: (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

1.2.3 Mantenimiento de la instalación

En esta sección se dedica a lo relacionado con el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

A. Mantenimiento preventivo

El objetivo del mantenimiento preventivo es reducir o evitar las consecuencias de fallas de los componentes del sistema y así aumentar la disponibilidad, limitar los costos y alargar la vida útil de cada uno de los equipos de un SFV. Es importante balancear los costos del mantenimiento preventivo, de tal forma que estos no superen a sus beneficios; el procedimiento del mantenimiento depende del sistema, diseño, tamaño y entorno, así como las condiciones ambientales que pueden afectar al sistema (temperatura, humedad, viento, etc.) (FEMP, 2015).

Módulos fotovoltaicos

- Limpieza

La acumulación de polvo y suciedad en los paneles fotovoltaicos, así como hojas, papeles, excremento de animales, ramas, impiden la captación de energía por parte de las células fotovoltaicas, lo que se traduce en una disminución en la energía eléctrica generada. La limpieza es económica y eficiente cuando las pérdidas superan el costo de la limpieza (Ministerio de Energía de Chile, 2016).

Antes de realizar la limpieza es necesario tener en cuenta los siguientes factores de seguridad: Asegurar que el circuito este desconectado del inversor antes de comenzar

la limpieza; confirmar que el cristal del panel no este roto; nunca rociar agua sobre los módulos dañados; no usar limpiador de alta presión (se recomienda una presión de 50 a 70 lbf/in²); verificar si el tipo de agua utilizada no tiene mucho contenido de calcio o componentes que dejen rastros sobre el cristal de los paneles; no se debe caminar sobre los módulos, pues no solo los daña, sino que se corre el riesgo de resbalar (Haney & Burstein, 2013).

Para la limpieza de los módulos, se recomienda usar cantidades abundantes de agua (sin disolventes o detergentes) y un utensilio de limpieza de cerdas suaves, como una esponja, tela o algodón. Es preferible agua des ionizada con el fin de provocar manchas. La frecuencia de la limpieza depende del lugar (Haney & Burstein, 2013).

- Revisión de las condiciones del entorno
Para un buen funcionamiento del sistema fotovoltaico, se debe evitar objetos alrededor que produzcan sombras sobre los paneles. La sombra no solo disminuye la producción de electricidad, además puede ocasionar que los módulos se sobrecalienten, disminuyendo su vida útil (Ministerio de Energía de Chile , 2016).

Inversor

- Los inversores son equipos electrónicos, los cuales están cubiertos de una carcasa, protegidos de la intemperie y de la lluvia, no deben estar en contacto con la radiación solar directa para evitar sobrecalentamiento. Por lo general este equipo no necesita de altos costos de mantenimiento. El mantenimiento preventivo de este componente consiste en verificar que el área de ubicación del inversor se encuentre libre de suciedad, seca, bien ventilada (ventiladores, filtros, disipadores etc.) y que no sea “invadida” por insectos u otros animales (DGS, 2013).

B. Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento corresponde a las operaciones de reparación y/o sustitución de partes necesarias de los equipos, con el fin de asegurar que el sistema funciones correctamente durante su operación. Aunque el objetivo del mantenimiento preventivo es disminuir la necesidad de realizar actividades de reparación no previstas, es importante reconocer los procedimientos de este para poder hacer frente a situaciones que requieran de acciones inmediatas, con el fin de que se reduzcan los costos asociados al tiempo de inactividad o la reducción de la generación (Ministerio de Energía de Chile , 2016).

C. Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento está fundamentado en el uso de información en tiempo real con el fin de definir medidas preventivas como limpieza, o mantenimientos correctivos antes de que sucedan fallas o encontrándolas tempranamente (NREL, 2015). El objetivo es reducir la frecuencia de las medidas preventivas, disminuyendo el impacto sobre los costos del

mantenimiento correctivo. Fundamental para esta labor es el monitoreo en tiempo real del sistema (Ministerio de Energía de Chile , 2016).

1.3 IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE ENERGIZACIÓN RURAL CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Según el GLAERS¹, la energización rural es un proceso continuo y ordenado, donde se usa todo el espectro de portadores energéticos para atender los requerimientos de las actividades domésticas, de transporte, de servicios y productivas, que contribuyan a mejorar las condiciones de vida y la calidad de los productos generados en el medio rural, de manera **tecnológica, económica, ambiental y socialmente sostenible**. Donde la sostenibilidad está basada en emplear las soluciones energéticas más sólidas y viables desde el punto de vista de por lo menos las cuatro dimensiones resaltadas (FAO, 1994).

El fin de los proyectos de energización rural es mejora la calidad de vida de comunidades aisladas, utilizando la energía como objeto para el logro del desarrollo rural integral a largo plazo. Lo anteriormente mencionado se consigue mediante una metodología de gestión de proyectos energéticos en zonas de difícil acceso, a través del establecimiento de relaciones entre varios actores. Entre ellos el más importante es el de las poblaciones organizadas que se han visto fortalecen sus capacidades para mantener en tiempo los proyectos de energía eléctrica para su propio consumo, con un enfoque de sostenibilidad y la realización de emprendimientos productivos y desarrollo socioeconómico local (Arias, 2017).

Muchos de los proyectos de energización rural han sido enfocados en la aplicación y gestión de proyectos tecnológicos, dejando de lado el enfoque hacia la población, lo que creo una barrera; aunque se demostró que las tecnologías de generación de electricidad funcionan, estos proyectos no alcanzaron el impacto sobre la comunicada de desarrollar sus capacidades durante el proceso, derrochando el potencial de desarrollo individual y colectivo de la comunidad (Arias, 2017).

1.4 ACCESO A LA ENERGÍA

Según el ESMAP², el acceso a la energía se define como “la capacidad del usuario final para hacer uso del suministro de energía que se puede utilizar para los servicios energéticos deseados. La mejora en el acceso a la energía se logra mediante la mejora de la usabilidad del suministro de energía con la mejora de los atributos. El acceso a la energía puede definirse como inclusivo o exclusivo del uso de los dispositivos. Cuando se define la inclusión de los dispositivos, se denomina acceso a los servicios de energía, y cuando se define como exclusivo de los dispositivos, se denomina acceso al suministro de energía”.

¹ Grupo de Trabajo Latinoamericano y del Caribe sobre Energización para un Desarrollo Rural Sostenible

² Energy Sector Management Assistance Program (Programa de asistencia para la gestión del sector energético)

El acceso a los servicios modernos de energía es fundamental para el desarrollo sostenible. Se necesita energía asequible para mejorar los niveles de vida, aumentar los ingresos rurales, apoyar la prestación de servicios de salud y educación, con el fin de disminuir la desigualdad social; de igual forma se hace pertinente señalar que el acceso a tecnologías y combustibles limpios es esencial para reducir la contaminación del aire en interiores (uno de los principales peligros para la salud en el mundo, provocando más de 4 millones de muertes prematuras cada año, esto según el mecanismo mundial de salud) (Bhatia & Angelou, 2015). La Tabla 1 y la Figura 7 los niveles Multi-Tier de acceso de energía, para medir el suministro de electricidad en una vivienda.

	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Criterio Tier		Iluminación de tareas y carga del teléfono	Iluminación general y carga del teléfono y televisión y ventilador (si es necesario)	Tier 2 y cualquier dispositivo de potencia media	Tier 3 y Cualquier dispositivo de alta potencia	Tier 2 y todos los electrodomésticos de muy alta potencia

Figura 7. Matriz Multi-tier para medir el acceso a los servicios eléctricos domiciliarios.

Fuente: (Bhatia & Angelou, 2015).

Tabla 1. Matriz Multi-tier para medir el acceso al suministro de electricidad en el hogar.

Atributos del suministro de energía		TIER 0	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4	TIER 5
Capacidad máxima	Clasificaciones de capacidad de potencia (en W o diaria Wh)	Sin electricidad	Min 3 W	Min 50 W	Min 200 W	Min 800 W	Min 2 kW
			Min 12 Wh	Min 200 Wh	Min 1 kWh	Min 3,4 kWh	Min 8,2 kWh
	Servicio eléctrico		Iluminación de 1,000 lmhr/día	Iluminación eléctrica, circulación de aire, televisión y teléfono son posibles			
Disponibilidad (Duración)	Horas por día		Min 4 hrs	Min 4 hrs	Min 8 hrs	Min 16 hrs	Min 23 hrs
	Horas por noche		Min 1 hr	Min 2 hrs	Min 3 hrs	Min 4 hrs	Min 4 hrs
Confiabilidad						Máx 14 interrupciones por semana	Máx 3 interrupciones por semana de duración total <2 h
Calidad						Los problemas de voltaje no afectan el uso de los electrodomésticos deseados	
Asequibilidad					Costo de un paquete de consumo estándar de 365 kWh / año <5% del ingreso familiar		
Legalidad						La factura se paga a la empresa de servicios públicos, vendedor de tarjetas prepagas o representante autorizado	
Salud y Seguridad						Ausencia de accidentes pasados y percepción de alto riesgo en el futuro	

Fuente: (Bhatia & Angelou, 2015)

1.5 CONSUMO DE SUBSISTENCIA

La resolución 355 de 2004 del Ministerio de Minas y Energías, define el consumo de subsistencia, como la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas que solamente pueden ser satisfechas mediante esta forma de energía final.

La UPME, es la entidad encargada de fijar el consumo de subsistencia, así como el periodo de transición en el cual se deberá ajustar. El consumo de subsistencia se establece dependiendo de las regiones, esto según la Ley 143 de 1994.

En 1997 la firma consultora Ignacio Coral determinó el consumo de subsistencia con la siguiente metodología: Primero realizó una aproximación estadística para determinar el consumo relacionado con la tenencia de electrodomésticos, luego asoció el consumo de subsistencia a la satisfacción de necesidades básicas por medio de la jerarquía de Maslow (Donde se ordena por categorías y se clasifica por niveles las diferentes necesidades humanas); todo esto con el fin de relacionar la adquisición de electrodomésticos al cubrimiento de necesidades básicas. En este estudio también se determinó que el piso térmico es la principal variable que afecta el consumo de electricidad.

El estudio mencionado fue actualizado por la UPME en el 2003, incorporando 4 escenarios:

1. Teniendo en cuenta regiones asociadas a los pisos térmicos.
2. Teniendo en cuenta sustitutos energéticos.
3. Teniendo en cuenta una combinación de los dos anteriores.
4. Teniendo en cuenta un nivel único de consumo de subsistencia para todo el país.

Sin embargo el escenario escogido para determinar el consumo de subsistencia fue el número 1, asociada a los pisos térmicos. En la diferenciación se consideran dos pisos térmicos, cálido (Altura por debajo de 1.000 msnm) y templado-frío (Alturas igual o superiores a 1.000 msnm). El consumo unico de subsistencia antes del 1 de agosto de 2004 era de 200 kWh mes y se fue modificando hasta el año 2007, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de subsistencia en kWh/mes.

Año	Alturas inferiores a 1.000 msnm	Alturas superiores o iguales a 1.000 msnm
2004	193	182
2005	186	165
2006	179	147
2007 en adelante	173	130

Fuente: Ministerio de Minas y Energía.

2. DESARROLLO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA

Colombia cuenta con un sistema eléctrico relativamente bajo en emisiones de carbón (debido a la alta participación de generadoras a partir de recurso hídrico), que no depende de energéticos importados, con suficiente capacidad de generación actual y buen desarrollo para cubrir la demanda eléctrica a corto plazo (por lo menos para los próximos 5 años); es por esta razón que la reducción de las emisiones de CO₂, la disminución de GEI, la necesidad de restringir la dependencia en combustible importados o la presión de atender incrementos en la demanda mediante nueva capacidad instalada con base en recursos domésticos, no son un motivo de peso por el cual se tenga que impulsar las fuentes de energía alternativa (UPME, 2015).

En principio pareciera que no hay razones contundentes para acudir a recursos y tecnologías no convencionales y promover el desarrollo de las FNCER. Sin embargo, las tendencias en reducción de costos y mitigación de riesgos relacionados con las fuentes no convencionales de energía renovables, las experiencias exitosas y desarrollos técnicos logrados internacionalmente y la presencia local de agentes con proyectos y programas novedosos para el contexto colombiano, sentaron las bases que justifican la apropiación de una estrategia para el impulso de las FNCER en el país. Los siguientes son algunos de los motivos que según una visión internacional experta, promueven el desarrollo de estos recursos en Colombia (UPME, 2015):

- Riesgo asociado a la energía hidroeléctrica.
- Aumento en los precios de la electricidad y el gas natural.
- Oportunidad de desarrollo económico.
- Tendencias de precios de la energía renovables.

2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA

Actualmente, los proyectos para el desarrollo de sistemas de suministro de energía con sistemas fotovoltaicos se desarrollan prioritariamente en zonas rurales del país como solución de generación aislada, debido a que el acceso por parte del SIN es deficiente.

La generación de electricidad con energía solar a partir de módulos fotovoltaicos ha estado dirigida al sector rural, en donde el alto costo de generación debido principalmente en el precio de los combustibles y los costos de operación y mantenimiento en zonas remotas, hacen que la energía a base de esta fuente renovable resulte una alternativa económica en el largo plazo y confiable. Los primeros proyectos fueron desarrollados por el programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, junto con la Universidad Nacional. En este programa se dispusieron de 2.950 generadores fotovoltaicos de 60 Wp, para alimentar a radioteléfonos ubicados en zonas rurales (Pinzón, 2016) (Fundación Pesenca, 2012).

En la última década no se han realizado estudios sobre el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos. En los programas de electrificación en zonas aisladas, el sistema convencional

para hogares rurales ha estado compuesto de un módulo fotovoltaico de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga; estos pequeños sistemas suministran energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos (Pinzón, 2016).

El Atlas del potencial solar de Colombia es elaborado por medio de información de estaciones meteorológicas del IDEAM³, este es un conjunto de mapas que representan la distribución espacial del potencial solar del país. En el atlas se muestra el valor promedio diario de radiación solar global, radiación ultravioleta y brillo solar por metro cuadrado. En la Figura 8 se observa el mapa de irradiación global horizontal medio diaria, anual.

Colombia dispone de una irradiación promedio de 4,5 kWh/m²/día, lo cual está por encima del promedio mundial de 3,9 kWh/m²/d, y está por muy por encima del promedio recibido en Alemania que es de 3 kWh/m²/día, país que hace mayor uso de este tipo de tecnología (UPME, 2015).

³ Instituto de Estudios Ambientales

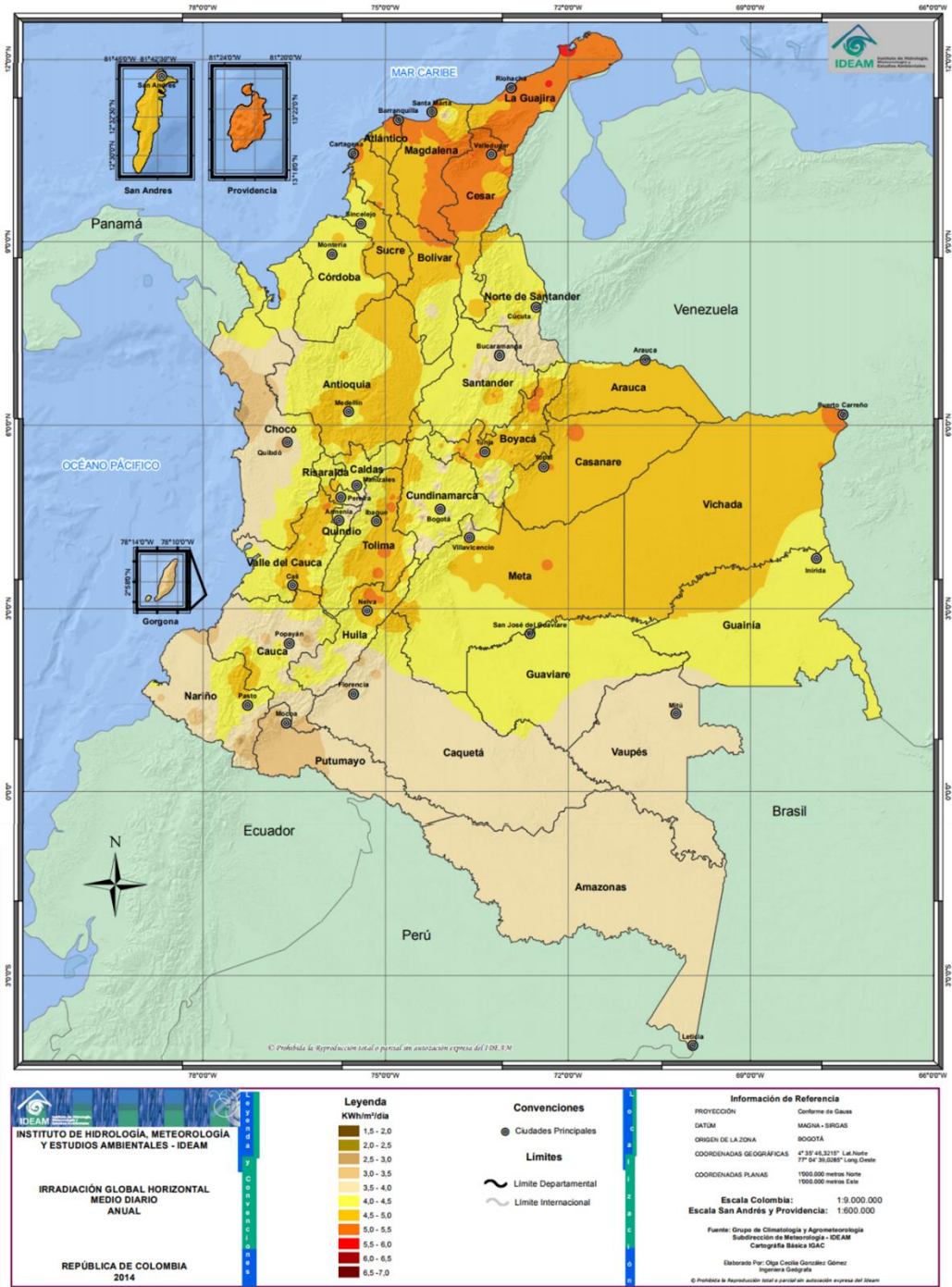


Figura 8. Mapa de irradiación global horizontal medio diaria, anual.

Fuente: (IDEAM, 2014)

En la Tabla 3, se muestra la irradiación promedio en diferentes regiones de Colombia, se observa que la región con mayor valor promedio de irradiación es la Guajira con 6,0 kWh/m²/día, en cambio la región de Orinoquia recibe en promedio 4,5 kWh/m²/día de irradiación.

Tabla 3. Irradiación promedio para diferente región del país.

Región	Promedio irradiación [kWh/m²/día]
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquia	4,5
Amazonía	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

Fuente: (UPME, 2015)

3. ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA

En Colombia cuando se habla de abastecimiento de energía eléctrica, se referencian dos realidades muy diferentes, por un lado se tiene el SIN⁴ (Sistema Interconectado Nacional), conformado por plantas de generación despachadas centralmente y redes de transmisión que llevan esta energía producida a una parte de los usuarios nacionales, por el contrario las ZNI⁵ (Zonas No Interconectadas), denominadas así por tener una baja densidad de población, localizarse en áreas alejadas y difícil acceso, por tal motivo el perfil geográfico y demográfico es diferente al del SIN (Pinzón, 2016).

3.1 ZONAS CONECTADAS AL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

Colombia cuenta con matriz eléctrica basada principalmente en el recurso hídrico del país; una de las razones es que cuenta con vasto potencial de esta fuente renovable. A Marzo de 2017 la canasta eléctrica está dominada por hidroeléctricas con 10.983 MW (que representa el 66% de la capacidad efectiva neta), seguida por las centrales Térmicas con una capacidad de 4.728 MW, generadores menores (provenientes de recursos hidráulicos, térmicos y eólicos) con 786,6 MW, cogeneradores con 116,6 MW y 32,4 MW de autogeneradores (XM S.A. E.S.P, 2017). En la Figura 9 se muestra lo anteriormente señalado.

⁴ Sistema Interconectado Nacional

⁵ Zona No Interconectada

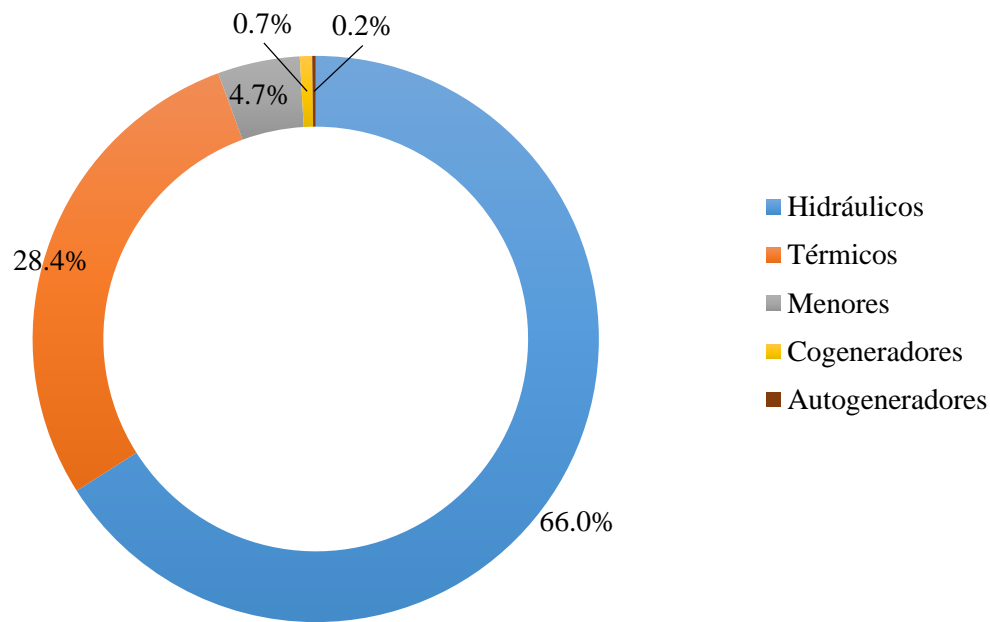


Figura 9. Matriz de energía eléctrica de Colombia - Marzo de 2017

Fuente: Elaboración de autor con datos de XM⁶

3.2 ZONAS NO INTERCONECTADAS

El índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) en Colombia es de 96,96% (SIEL, 2016), pero aunque es un valor importante, existen aún zonas donde este servicio no ha sido implementado, esto debido a que son lugares donde el acceso a la energía es limitado pues no hacen parte del Sistema Interconectado Colombiano, por ende son nombrados como Zona No Interconectadas.

En Colombia las Zonas No Interconectadas son aquellos municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN según el Artículo 1º, Ley 855 de 2003, de los cuales cerca del 63% no poseen acceso a la energía eléctrica (IPSE, 2014). Según el IPSE las Zonas No Interconectadas abarcan el 52% del territorio nacional, con un total de viviendas de 675.589, donde el 83,85% (566.481 viviendas) son de carácter rural (SIEL, 2016). La Figura 10 muestra la cobertura de energía eléctrica de las viviendas ubicadas en el territorio colombiano a finales de 2015.

⁶ Compañía Expertos en Mercados S.A E.S.P.

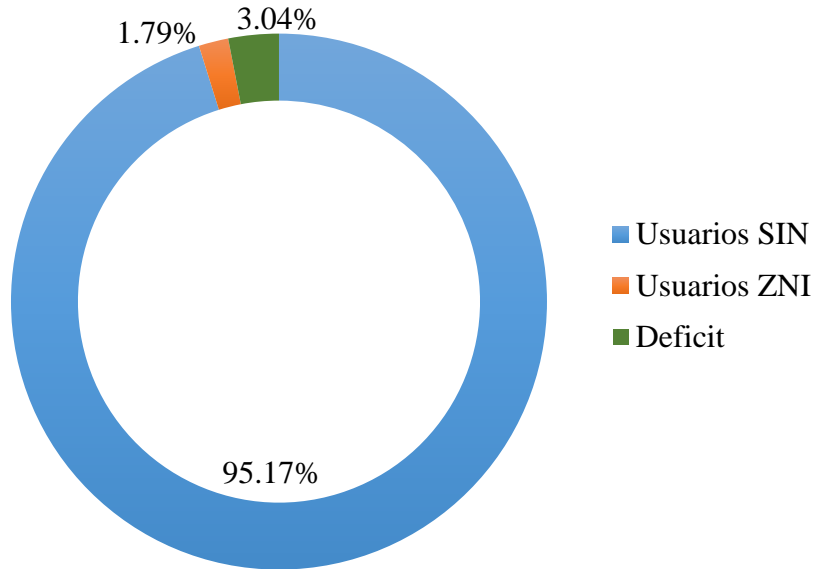


Figura 10. Cobertura de energía eléctrica a 2015.

Fuente: Elaboración de autor con datos del SIEL⁷

Las Zonas No interconectadas se encuentran aisladas energéticamente del resto del territorio nacional debido a su difícil acceso, por lo que la prestación del servicio de energía eléctrica debe propiciarse en cada zona. Por tal motivo, existe la necesidad de disponer de combustibles para la generación eléctrica local y como combustibles domésticos. Las dificultades en el transporte de los energéticos, añadido al déficit de alternativas de generación local, conducen a que, el servicio eléctrico en estas zonas de difícil acceso sea escaso, deficiente y de alto costo, mientras que la capacidad de pago por el recurso sea bajo (Esteve, 2011). Las ZNI corresponden al 52% del territorio Colombiano, tal como se muestra la Figura 11.

⁷ Sistema de Información Eléctrico Colombiano

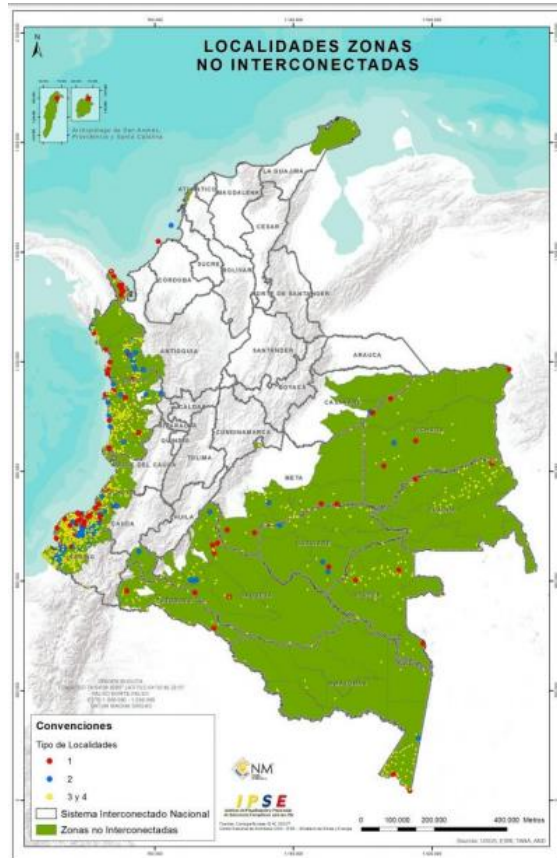


Figura 11. Zonas No Interconectadas de Colombia.

Fuente: IPSE, 2014

El número total de viviendas en Colombia a finales de 2015 fue de 13'993.569, de las cuales el 96,96% tuvieron cobertura de energía eléctrica, es decir 13'568.357 viviendas; donde 95,17% son usuarios del Sistema Interconectado Nacional y 1,79% (250.377 usuarios) son usuarios de Zonas No Interconectadas. Así mismo el déficit de cobertura fue del 3,04% (425.212 viviendas), de este último dato el 92,9% pertenece al sector rural (SIEL, 2016).

3.2.1 Marco regulatorio para su electrificación

A. Leyes y Decretos

Decreto 1124 de 2008

- Por el cual se reglamenta el FAZNI;
- Reglamenta la Ley 1099 del 2006.
- Faculta para asignar los recursos del FAZNI a los planes, programas y proyectos para la prestación del servicio de energía eléctrica en las ZNI.
- Establece la metodología de asignación de recursos del FAZNI.

Ley 1117 de 2006

- Por lo cual se expiden normas sobre normalización de redes eléctricas y de subsidios para estratos 1 y 2;
- Establece que el MME⁸ definirá las condiciones y porcentajes bajo los cuales se otorgan los subsidios del sector eléctrico a los usuarios de las ZNI, teniendo en cuenta la capacidad de pago de los usuarios.

Decreto 257 de 2004

- Por el cual se modifica la estructura del IPSE⁹;
- Se establece que el IPSE es exclusivo para las ZNI y que procurará satisfacer las necesidades energéticas de dichas zonas.
- Se determina objeto y funciones del IPSE.

Ley 633 de 2000

- Por la cual se expiden normas en materia tributaria, se dictan disposiciones sobre el tratamiento a los fondos obligatorios para la vivienda de interés social y se introducen normas para fortalecer las finanzas de la Rama Judicial;
- Se crea el FAZNI.
- Se establecen disposiciones sobre el recaudo de recursos y la destinación de los mismos.

B. Resoluciones

Resolución 091 (CREG)

- El objeto de esta es establecer las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y la fórmula tarifaria general para determinar el costo unitario de prestación del servicio público domiciliario de energía en ZNI.
- Esta resolución también establece que el la remuneración de generación del sistema fotovoltaico es cobrado dependiendo exclusivamente de los Watts pico (Capacidad) instalados.

Resolución 180660 (MME)

- Se establece la fórmula de cálculo del subsidio máximo otorgado a usuarios residenciales de las ZNI.
- Se establece el monto de la energía (kWh/mes) que será sujeta de subsidio (desde enero de 2014, ningún consumo que supere el consumo de subsistencia).

Resolución 181891 de 2008 (MME)

⁸ Ministerio de Minas y Energía

⁹ Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas

- Por la cual se adiciona la resolución 182138 de diciembre 26 de 2007, por la cual se expide el procedimiento para otorgar subsidios del sector eléctrico en las ZNI;
- Se establece condiciones para otorgar subsidios a las ZNI.

Resolución 232 de 2015

- Por la cual se adoptan los ajustes necesarios a la regulación vigente para dar cumplimiento al artículo 190 de la Ley 1753 de 2015.
- Artículo 190. Fondos eléctricos. El FAZNI, administrado por el Ministerio de Minas y Energía, recibirá recursos que recaude el ASIC correspondientes a 1,9 pesos colombianos por cada kilovatio hora despachado en la Bolsa de Energía Mayorista, de los cuales 0,4 pesos serán destinados a financiar el Fondo de Energías no Convencionales y Gestión de la Energía (FENOGE).

3.2.2 Marco institucional

En la Tabla 4 se parecía el Marco institucional definido para las Zonas No Interconectadas de Colombia.

Tabla 4. Marco institucional para Zonas No Interconectadas.

Entidad	Interés
<i>Ministerio de Minas y Energía (MME)</i>	Promover, organizar y asegurar el desarrollo y seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía, así mismo, determinar subsidios.
<i>Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)</i>	Planeación energética de todos los recursos, incluyendo los renovables y financiación de proyectos de energización de las ZNI a partir de fuentes renovables.
<i>Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)</i>	Regular el servicio de energía eléctrica, definir formulas tarifarias y fijar costos de prestación del servicio.
<i>Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE)</i>	Identificar, fomentar y desarrollar soluciones energéticas viables financieramente y sostenibles a largo plazo.
<i>Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía (CIURE)</i>	Asesorar y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en la coordinación de políticas sobre uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales en el sistema interconectado nacional y en las zonas no interconectadas.
<i>Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI)</i>	Financiar planes, programas y/o proyectos priorizados de inversión para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica y para la reposición o la rehabilitación de la

	existente, con el propósito de ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las Zonas No Interconectadas.
<i>Fondo Nacional de Regalías (FNR)</i>	Financiación de proyectos de energización en las ZNI.

Fuente: Elaboración de autor a partir de información de (Esteve, 2011).

3.2.3 Normatividad para sistemas fotovoltaicos

Colombia con normas técnicas denominadas NTC¹⁰, la cuales hacen referencia a sistemas fotovoltaicos, pero no establecen los dimensionamiento, ni estándares para la implementación de este tipo de generación. Entre las NTC relacionadas, se encuentran (Issa, 2013):

Tabla 5. Normas Técnicas Colombianas referentes a sistemas fotovoltaicos.

Norma Técnica	Título	Interés
NTC 1736 (2005)	Energía solar. Definiciones y nomenclatura.	Define los términos generales y nomenclatura utilizada en normas relativas a energía solar.
NTC 2775 (2005)	Energía solar fotovoltaica. Terminología y definiciones.	Establece las principales definiciones utilizadas en las normas técnicas relativas a energía solar fotovoltaica.
NTC 2883 (2006)	Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo.	Indica los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre y para una utilización de larga duración en climas moderados al aire libre, según la norma IEC 60721-2-1.
NTC 5287 (2004)	Celdas y baterías secundarias para sistemas de energía solar fotovoltaica. Requisitos generales y métodos de ensayo.	Presenta información general relacionada con los requisitos de las baterías secundarias usadas en sistemas de energía solar fotovoltaica (FV) y los métodos típicos de ensayo usados para verificación del funcionamiento de las baterías.
NTC 5433 (2004)	Informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos.	Proporciona la información mínima para configurar un sistema con módulos fotovoltaicos óptimo y seguro.

¹⁰ Norma Técnica Colombiana

NTC 5509 (2007)	Ensayo ultravioleta para módulos fotovoltaicos (FV).	Define un ensayo en el que se determina la resistencia del módulo cuando se expone a radiación ultravioleta (UV).
NTC 2959 (1991)	Guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos.	Establece un método para presentar la información técnica con la selección de baterías de almacenamiento para sistema fotovoltaicos. Y la precisión que debe tener esta información
NTC 4405 (1998)	Eficiencia energética. evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes	Establece una metodología para la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, reguladores y acumuladores.
NTC 2631 (2006)	Energía solar. medición de transmitancia y reflectancia fotométricas en materiales sometidos a radiación solar	Describe el cálculo de la transmitancia y reflectancia luminosas (fotométricas) a partir de los datos obtenidos mediante el método de ensayo ASTM E903 para el espectro de transmitancia y reflectancia de los materiales.
NTC 5549 (2007)	Sistema fotovoltaicos (FV) terrestres. Generadores de potencia. Generalidades y guía	Es una guía y da una visión general de los sistemas fotovoltaicos (FV) terrestres generadores de potencia y de los elementos funcionales que los constituyen.
NTC 5710 (2009)	Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía	Establece los métodos para la protección contra las sobretensiones en sistemas fotovoltaicos productores de energía tanto si son autónomos como si están conectados a la red de distribución.
NTC 5464 (1997)	Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre. Calificación del diseño y homologación.	Indica los requisitos IEC ¹¹ para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos de lámina delgada apropiados para operar durante largos periodos de tiempo en climas moderados (al aire libre)

¹¹ Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission)

		según se define en la Norma IEC 721-2-1.
GTC 114 (2004)	Guía de especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia.	Establece directrices sobre las especificaciones y características técnicas que se deberán tener en cuenta en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos que se emplean en la energización rural dispersa en Colombia y los servicios que deberían proporcionar las empresas proveedoras para garantizar el suministro de energía.

Fuente: Elaboración de autor con información de NTC - INCONTEC y (Álvarez & Serna, 2012)

Las normas relacionadas con las especificaciones requeridas para la implementación de sistemas fotovoltaicos se presentación en la Tabla 6:

Tabla 6. Normativa y tipo de las NTC.

Tipo	Norma Colombiana
Definiciones	NTC 2775
Evaluación de SFV	NTC 4405
Calificación de diseño	NTC 2883
Baterías	NTC 5287 – NTC 2959
SFV zona rural	GTC 114
Protecciones	NTC 5710

Fuente: (Issa, 2013)

5. ANTECEDENTES

En el 2012 se llevó a cabo el proyecto titulado “Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto YANTA ii ETSARI”, por parte la universidad de Cuenca; este estuvo enfocado en mostrar los aspectos técnicos y el métodos de cálculo empleado para lograr el diseño de los SFV que fueron implementados en la primera etapa del proyecto antes mencionado. En el mismo se describe el diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos y el cumplimiento de la normativa para los diferentes componentes; acompañado del señalamiento de los tipos de fallas que ocurren durante la operación, y el mantenimiento recomendado para cada uno de los componentes. El documento finaliza con la determinación del grado de satisfacción de los beneficiarios del

SFV y una descripción de beneficios y problemas por resolver en los sistemas fotovoltaicos implementados (Macancela, 2012).

La revisión de la tesis doctoral presentada el año 2003 en la Universidad politécnica de Madrid, titulada “Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural”, da como aporte un análisis de confiabilidad de los sistemas autónomos, abordando aspectos como la identificación y estudio de los modos de operación y fallo más comunes en los sistemas fotovoltaicos autónomos; realizado gracias al trabajo de campo y laboratorio desarrollado. Esto con el fin de contribuir a la mejora de calidad técnica de las instalaciones fotovoltaicas autónomas; estableciendo herramientas de análisis y modelado de la confiabilidad de los SFV. De igual forma se tratan temas como la aplicación práctica a diversos escenarios representativos de la energización en zonas rurales, fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos relacionados con fallos y el posterior tiempo de parada por mantenimiento o reparación, la fiabilidad asociada al dimensionamiento real de los componentes del sistema fotovoltaico y la incertidumbre del consumo eléctrico por parte de los usuarios de las instalaciones (Díaz, 2003).

Christophe J.J. Bello realizó en el año 2011 el proyecto “Uso de sistemas solares fotovoltaicos para la electrificación rural en el norte Argentino, en un contexto de crisis energética mundial”. Este se enfoca en mostrar la disponibilidad de los principales recursos energéticos presentes en la matriz mundial y las preocupaciones ambientales relacionadas con su uso, con el objetivo de fortalecer las energías renovables como una alternativa fuerte para el futuro cercano. Uno de los temas descritos por la tesis y que es fundamental para el actual proyecto es la importancia de los sistemas fotovoltaicos autónomos para la energización rural, el cual se desarrolló gracias a los sistemas instalados en el Norte Argentino. (Bello, 2011)

En el año 2007 se hizo un estudio sobre el impacto social del programa Karnali Ujjyalo (KUP); este consistió en la electrificación de la zona de Karnali de Nepal con paneles solares, donde el gobierno de Nueva Zelanda invirtió 31.000 pequeños sistemas fotovoltaicos a los cuales nombraron “Solar Tuki”. El objetivo principal fue el reemplazar los combustibles como queroseno para iluminar por sistemas de iluminación para los hogares, concentrándose en zonas remotas de bajos ingreso, tal como se hace en el presente proyecto. El documento relata un análisis de: impactos socioeconómicos, estado actual de los sistemas y la efectividad del programa en la comunidad beneficiada, así como un planteamiento de perspectivas a futuro, las cuales se dan por medio de recomendaciones para incorporar un monitoreo técnico del rendimiento de los Sistemas Fotovoltaicos (Jawalakhel, 2012). Lo anteriormente mencionado contribuyó a la realización de este trabajo de grado pues varios de los puntos evaluados a nivel de calidad de vida de la sociedad afectada, fueron tomados de este estudio.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de este proyecto está enfocado en el análisis de los aspectos técnicos e impactos socioeconómicos de sistemas de generación aislada, a partir de energía fotovoltaica en el municipio de Hato Corozal – Casanare, estipulado como zonas no interconectada de Colombia, para poder lograr la ejecución del mismo fue necesario realizar a caracterización del proyecto de electrificación rural, donde se determinaron, el fin del proyecto, el número de viviendas beneficiadas con el servicio, el consumo estimado de los usuarios y las especificaciones técnicas de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico implementado. De igual forma se realizó una revisión de información primaria proveniente de encuestas preliminares a la instalación de los generadores, con las cuales se definieron el estado de la población antes de la instalación de los sistemas fotovoltaicos desde el punto de vista socioeconómico.

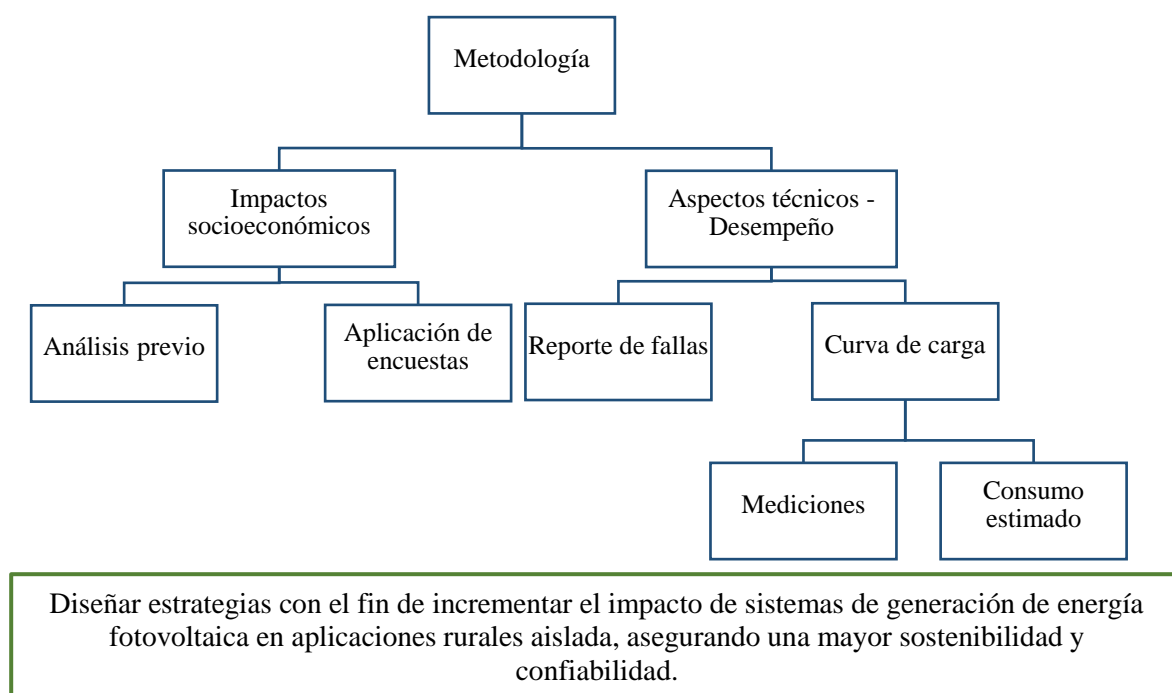


Figura 12. Esquema de la metodología empleada.

Para determinar los impactos socioeconómicos de los SFVs sobre la población, se elaboró un cuestionario estructurado (este se encuentra en el **ANEXO B - ENCUESTA DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y ACCESO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA**) por medio de la revisión de referentes internacionales, la cual fue aplicada a la comunidad beneficiaria del proyecto, con el de recopilar datos e información primaria; con esta se establecieron las condiciones sociales, económicas y energéticas de la población después de tener acceso a energía eléctrica por medio de fuentes renovables como lo es la fotovoltaica y los efectos relacionados a los requerimientos de las actividades domésticas, de transporte, de servicios y productivas, que contribuyan a mejorar las condiciones de vida. Para la ejecución de esta actividad se han realizado visitas sobre a campo, observaciones de campo y encuestas de hogares para recopilar datos e información primaria.

Habiendo consolidado la información recolectada por medio de encuestas, se evaluó el desempeño de los sistemas fotovoltaicos, determinando la capacidad de estos a responder a la energía demanda por los usuarios, apoyado de la realización de un reporte de fallas. El histórico de reporte de fallas de los SFV, entregó una visión con la cual se identificaron las fallas más comunes de los sistemas fotovoltaicos en estas condiciones y su operación en un tiempo determinado.

Este trabajo termina con la propuesta de modelo de sostenibilidad, conformado por aspectos claves que prioriza tanto a la tecnología implementada para el abastecimiento de energía, como en el desarrollo de la comunidad afectada por el acceso a la energía.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN - HATO COROZAL

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El departamento de Casanare según la UPME a 2015 tuvo 125.475 viviendas, donde el 88,45% son usuarios del SIN y 11,55% (14.489 viviendas) están ubicadas en ZNI del país, de los cuales 13.222 viviendas no tuvieron acceso a la energía eléctrica, es decir el 10,54% (todas pertenecientes al sector rural) del total de viviendas (SIEL, 2016).

El proyecto de suministro de energía eléctrica, fue realizado por la Gobernación de Casanare en el año 2013 para viviendas estrato 1 ubicadas en zonas rurales, que no tuvieran servicio de energía eléctrica. En Casanare el 50% de la población rural no tenía acceso a la energía eléctrica (13.886 viviendas); de estas según la estimación hecha por la Gobernación de Casanare el 34,3% (4.763 viviendas) son del estrato 1; como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Estimación de viviendas con y sin servicio de energía eléctrica en Casanare - 2013

N° Viviendas en Casanare - 2013					
Servicio	Urbano	Rural			Total
		Residencial		Subtotal	
		Estrato 1	Otros Estratos		
Sin Energía Eléctrica	6.949	4.763	9.123	13.886	20.835
Con Energía Eléctrica	68.116	4.836	9.263	14.099	82.215
Total	75.065	9.599	18.386	27.985	103.050

Fuente: (Avella, 2014)

El objetivo fue buscar una solución para suplir de energía por medio de sistemas fotovoltaicos para las 4.763 viviendas rurales del estrato 1 ubicadas en zonas rurales del departamento de Casanare.

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE HATO COROZAL – CASANARE

Hato Corozal está ubicado al norte del departamento de Casanare, oriente colombiano. El municipio tiene 1,6 Km² de área urbana y extensión rural de 5.516 Km². 11.500 habitantes, con una altura 250 msnm.

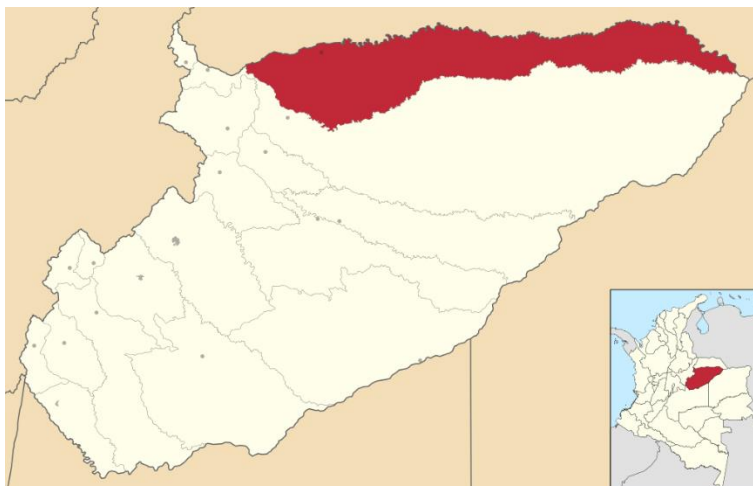


Figura 13. Ubicación geográfica de Hato Corozal – Casanare

Fuente: (Alcaldía de Hato Corozal, 2017)

Las actividades económicas del municipio de Hato Corozal corresponden principalmente al sector primario de la economía, donde sobresalen: la ganadería y en menor escala la agricultura a la que no se le imprime el carácter de comercial (Alcaldía de Hato Corozal, 2017), como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Ganadería en Hato Corozal – Casanare

Fuente: (CONSENER S.A.S., 2016)

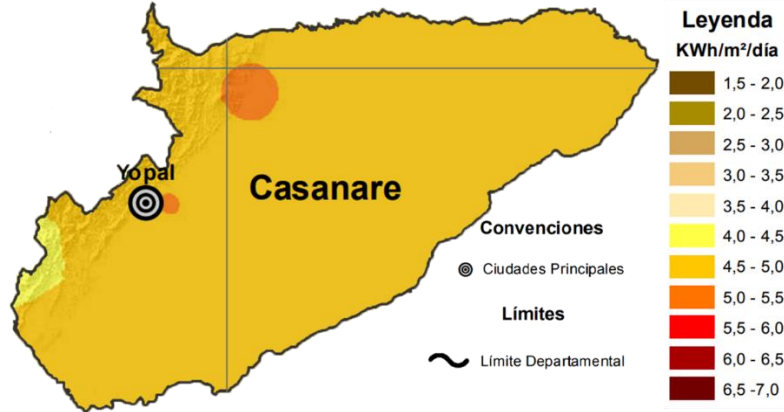


Figura 15. Mapa de irradiación global horizontal medio diaria del departamento de Casanare.

Fuente: Figura modificada por el autor de (IDEAM, 2014).

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS

Para lograr establecer el consumo de los usuarios objetivos de los sistemas fotovoltaicos se tomó información de ENERCA S.A. E.S.P. con respecto a la facturación del último trimestre de 2013, con el que se estableció un consumo de 80 kWh/mes (2,67 kWh/día); aunque este dato fue comparado con información de la UPME, finalmente se decidió tomar el de ENERCA S.A. E.S.P. para el dimensionamiento de los SFV, ya que se ajustaba al departamento de Casanare. Finalmente para el municipio de Hato Corozal la empresa OPREC S.A.S., encargada de la instalación de los sistemas; por medio de encuestas y aforo de cargas caracterizó la demanda de energía de 80 kWh/mes promedio de las viviendas rurales. En Hato Corozal, la energía consumida por los usuarios de los sistemas puede ser producida por la instalación fotovoltaica incluso en junio, el cual en el mes crítico con una generación de 82 kWh/mes. El gráfico de radiación solar horaria diaria estimada para el mes crítico se muestra en la Figura 16.

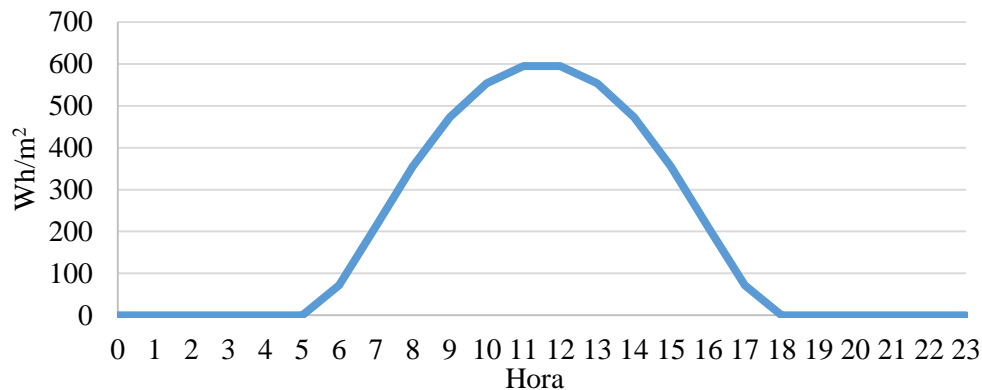


Figura 16. Radiación solar horaria diaria para el mes de junio. G (0° - 10°).

Fuente: (CONSENER S.A.S., 2016).

Finalmente, en Hato Corozal – Casanare, se instalaron 206 sistemas de energización a partir de SFV, compuesto por paneles fotovoltaicos, regulador de carga, inversor y un rack de baterías para viviendas dispersas. Estos tienen una potencia pico de 1110 W. La Figura 17 muestra el esquema del sistema utilizado en las viviendas.



Figura 17. Esquema de sistema utilizado en las viviendas.

Fuente: (CONSENER S.A.S., 2016)

En la Tabla 8 se muestran las especificaciones de los sistemas fotovoltaicos que fueron instalados, los días de autonomía estimados son 2 días, esto teniendo en cuenta las características meteorológicas de la región

Tabla 8. Especificaciones del sistema instalado y consumo estimado por vivienda promedio.

DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN
Potencia módulos fotovoltaicos	1110 Wp
Capacidad banco de baterías	200 Ah
Capacidad almacenamiento baterías	9,6 KWh
Profundidad de descarga baterías	60%
Autonomía baterías	2 Días
Regulador MPPT	30 A / 48 VDC
Inversor 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda sinodal pura	1 KW
Tensión DC SFV	48 V
Tensión AC SFV	120 V
Radiación solar diaria promedio anual	4886 Wh/m ²
Radiación solar diaria promedio mes crítico (Junio)	3915 Wh/m ²
Energía suministrada anual	1251 KWh / año

Energía suministrada mes crítico (Junio)	82 KWh / mes
Vivienda Rural Estrato 1	1
Nº de Habitantes	4

Fuente: Adecuada de (CONSENER S.A.S., 2016)



Figura 18. Sistemas fotovoltaicos instalados.

Fuente: (CONSENER S.A.S., 2016)

5.3 ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO PREVIO A LA INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS

El 100% de la población beneficiaria del proyecto de energización es de estrato 1, ubicada en el municipio de Hato Corozal – Casanare. Como ya se mencionó, el proyecto de energización rural consistió en la instalación de 206 sistemas fotovoltaicos, con 1110 Wp de potencia y un consumo estimado por medio de un aforo de cargas de 80 kWh/mes.

Igualmente a la comunidad favorecida se le realizó una encuesta previa a la instalación de los sistemas de energización, con el fin de establecer el estado socio-económico de las familias a las cuales se les iba a suministrar el servicio de energía eléctrica. A continuación se presentan los resultados de dicho análisis, por medio de gráficas y comentarios de estas, dispuestas para efectuar una comparación con el estado socio-económico que las familias tenían antes de la llegada de los SFV.

Las siguientes figuras muestran aspectos socioeconómicos de la comunidad, como fuente de agua para consumo, tipos de servicio sanitario y materiales de construcción de vivienda, donde se observa el 94% de la comunidad tenían sus casas hechas de bloque o ladrillo, techos

de zinc y piso de cemento, con inodoro o pozo séptico como de servicio sanitario, lo dicho anteriormente se observa a continuación:

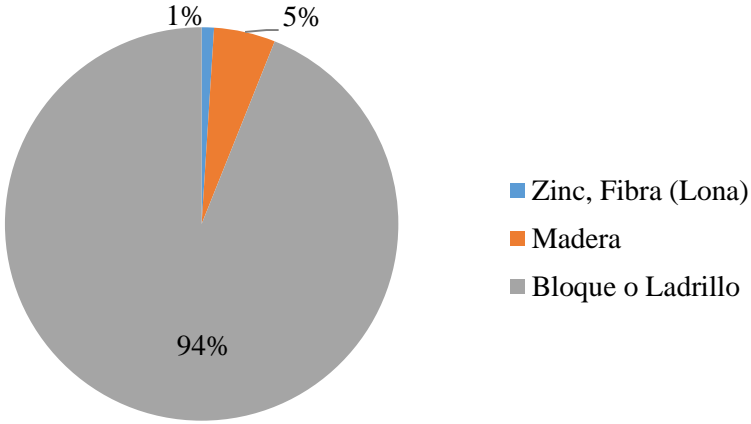


Figura 19. Material de construcción de vivienda.

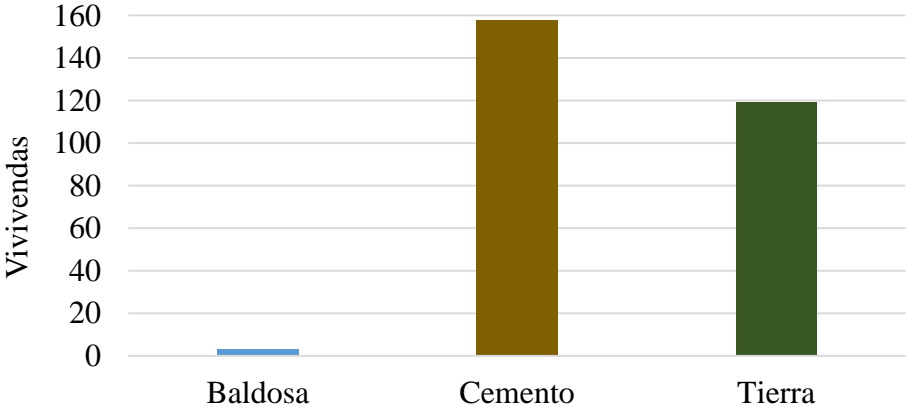


Figura 20. Material de los pisos de la vivienda.

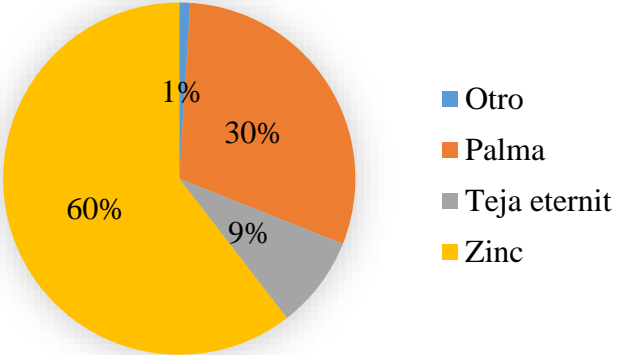


Figura 21. Material en que está construido el techo de la vivienda.

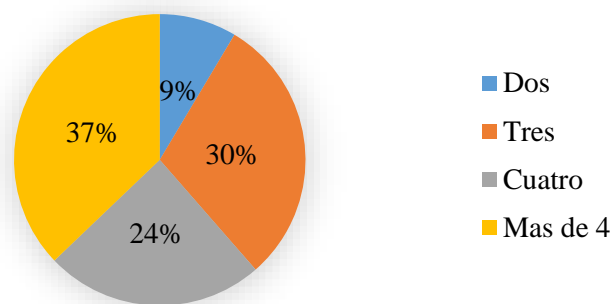


Figura 22. Número de personas que habitan su vivienda.

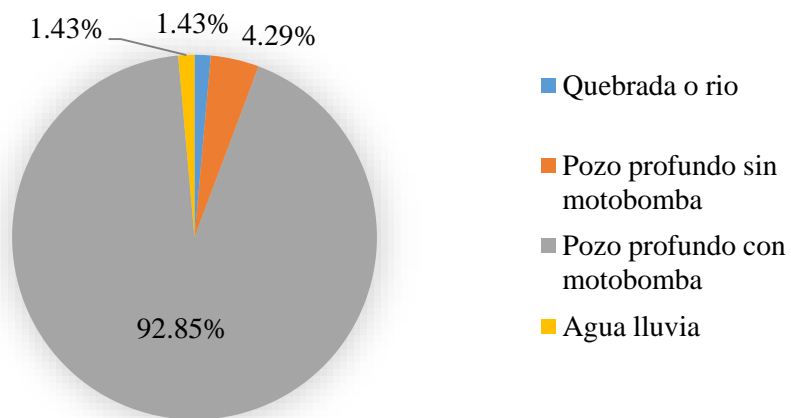


Figura 23. Fuente de agua para consumo.

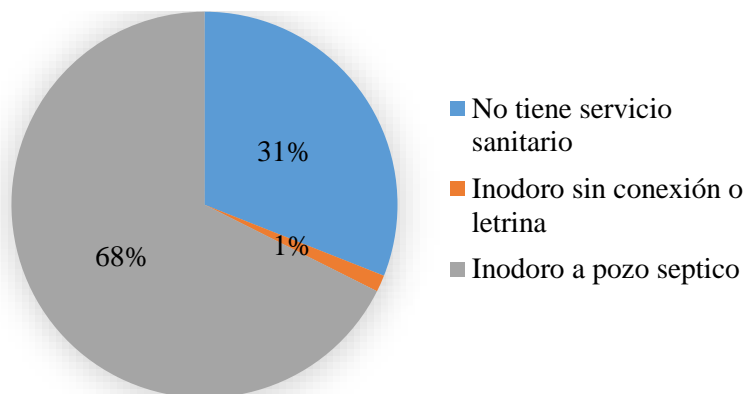


Figura 24 Tipo de servicio sanitario.

Debido a la lejanía y la falta de desarrollo de la estructura del SIN, aún existen zonas donde no tienen acceso a la electricidad. Por otra parte la extensión de la red a estos lugares implica elevados costos, y las personas pertenecientes a esta comunidad tienen ingresos muy bajos, por lo tanto no podían pagar por un SFV o planta diésel. Eso obliga a confiar en lámparas a base de derivados del petróleo, madera seca ya sea para cocinar o iluminar etc., los cuales afectan el entorno que los rodea, así como su salud.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

1. ANÁLISIS DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El principal objetivo de esta sección es evaluar el impacto socioeconómico generado por la instalación de sistemas fotovoltaicos en la comunidad de Hato Corozal – Casanare, así como señalar la perspectiva particular acerca de este tipo de tecnología limpia para la generación eléctrica de cada habitante encuestado, evaluando su situación social, satisfacción de la demanda del consumidor, medios de subsistencia, impacto sobre las actividades económicas de los usuarios, reducción de la contaminación en los hogares y perspectivas futuras de consumo.

El análisis de impactos socioeconómicos asociados a aplicación de los sistemas de energización fue hecho por medio de un cuestionario estructurado, el cual se hizo con una previa revisión bibliográfica acerca de estudios similares; se utilizó una muestra de 41 familias para la recolección de datos primarios (equivalente al 20% de los hogares de usuarios de los sistemas fotovoltaicos), con nivel de confianza del 97% y margen de error del 15%.

El formato de las encuestas aplicadas se encuentra en el ANEXO B - ENCUESTA DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y ACCESO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA, el cual fue hecho a partir de las siguientes referencias bibliográficas: (Jawalakhel, 2012), (Macancela, 2012) y (Meier, Tuntivate, & Douglas, 2010)

La Figura 25, muestra el número de personas que viven en cada uno de los hogares encuestados, en promedio hay cuatro personas por vivienda, el 7,3% de las familias a las cuales se les hizo la encuesta viven solas. Con este resultado se puede hacer un acercamiento a la energía promedio demandada por las viviendas ubicadas en esta zona no interconectada de Colombia. Todos son propietarios de sus casas, ninguno usa su propiedad para desarrollar algún tipo de negocio, y tampoco planean implementar alguna actividad productiva.

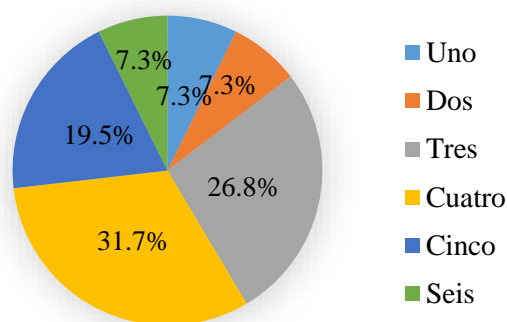


Figura 25. Número de personas que viven en el hogar.

Como factor importante para determinar el estado socioeconómico de las familias que están ubicadas en esta zona, se tomó los materiales en los que están construidas sus viviendas, y que tipo de servicio sanitario poseen a la fecha de la realización del cuestionario, lo cual se muestra en la Figura 26 y Figura 27; la mayoría de los beneficiarios cuentan con tapia pisada/bareque como material de fachada y techo de zinc, en estos dos primeros aspectos no

ha habido una variación significativa si se le compara con el estado anterior a la instalación de los sistemas fotovoltaicos; de igual forma, aunque la mayoría de los usuarios tienen su piso en cemento, existe aún un gran porcentaje con piso de tierra. Cabe resaltar que la población no dispone de servicio sanitario, por lo cual la tenencia de pozos sépticos es mayoritaria.

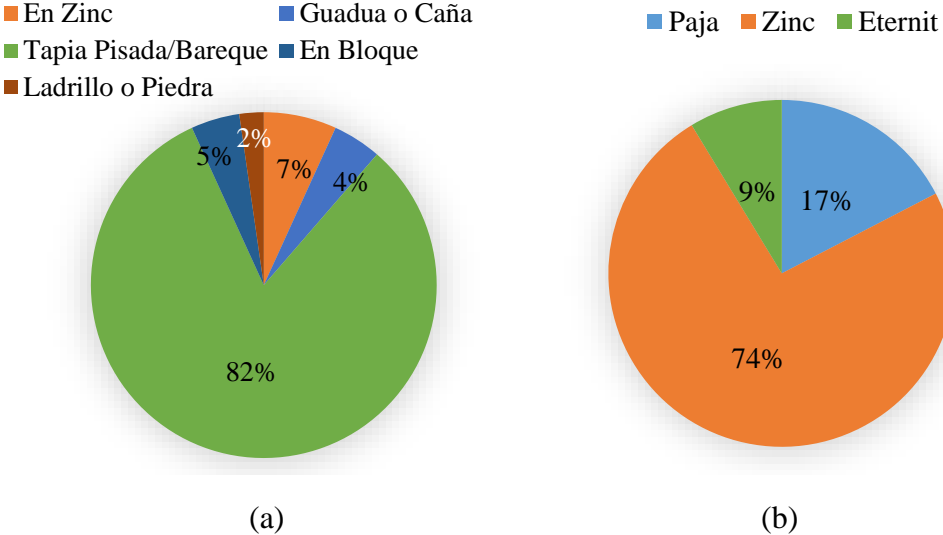


Figura 26. Material de fachada (a) y Material del techo (b).

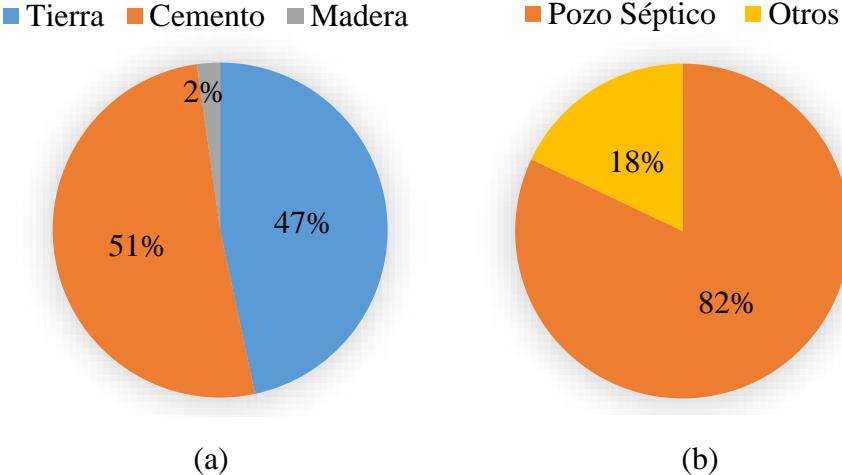


Figura 27. Material del piso (a) y servicio sanitario (b).

La población carece de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado, teléfono y recolección de basuras, solo cuentan con energía eléctrica proporcionada por los sistemas fotovoltaicos instalados en Hato Corozal. La disponibilidad del recurso hídrico es primordial para clasificar el nivel de calidad de vida de la población, en la Figura 28 se observa de donde obtienen el agua las familias, el pozo profundo con Motobomba/Electrobomba es el predominante, pero a diferencia al estado anterior a la tenencia de los SFV el 24% de estas son electrobombas, pues ya cuentan con el recurso eléctrico que les permite adquirir este tipo

de equipos, además el 2% de las familias que poseen motobomba, declararon el cambio a futuro a electrobomba.

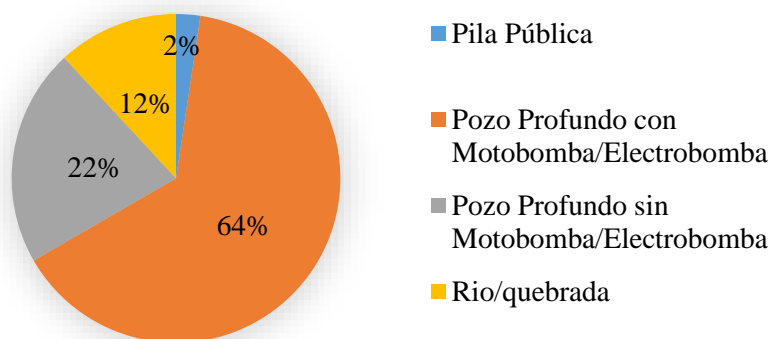


Figura 28. Fuente de agua.

Muchas de las familias tenían que extraer agua de sus pozos de forma manual tal como se ve en la Figura 29, que muestra el cambio a una electrobomba, esto se da gracias a la llegada de los sistemas fotovoltaicos; como parte de la caracterización, todos los equipos para la extracción de agua que han adquirido los usuarios son de ½ HP de potencia.



Figura 29. Cambio de extracción manual de agua a electrobomba.

En la Figura 30, se observa la comparación entre el área construida contra el área total del predio de cada una de las personas encuestadas, aunque hay familias que tienen un área total por encima de 500 hectáreas, existen beneficiarios que poseen terrenos por debajo de 250 hectáreas y algunos con 100 hectáreas; lo que indica una gran desigualdad en términos de posesión de tierras entre las familias que habitan esta zona del país.

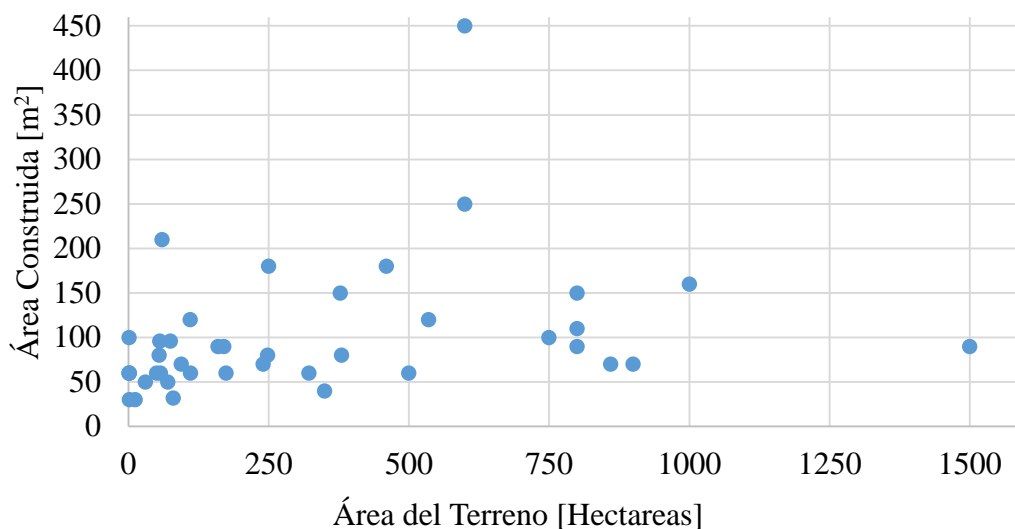


Figura 30. Dispersión de área construida contra área de terreno total.

Aunque la mayoría de los beneficiarios no tiene infraestructura diferente a vivienda, hay un 13% de las familias que cuentan con caballeriza y un 6% con galón o trapiche; lo anteriormente dicho se puede ver en la Figura 31.

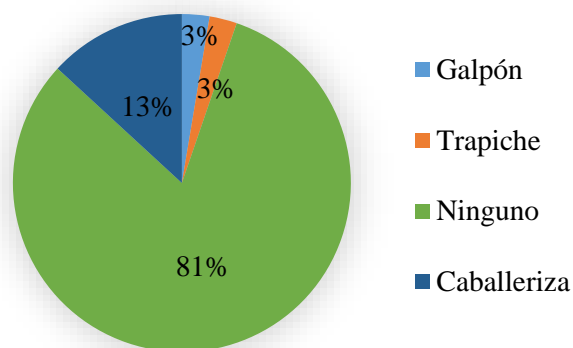


Figura 31. Infraestructura diferente a la vivienda.

Debido a que la población está ubicada en una zona distante de la cabecera municipal, y el uso de camioneta o carro no es accesible ya que no disponen de carreteras para desplazarse, solo ocupa el 12% de los medios de transporte utilizados por la comunidad, mientras el transporte fluvial abarca el 16% de las opciones de transporte que la comunidad de Hato Corozal utiliza, mientras el 72% es ocupado por el transporte terrestre a caballo o moto, y en promedio toman 3 horas con 30 minutos para trasladarse a la cabecera municipal, esto se muestra en la Figura 32.

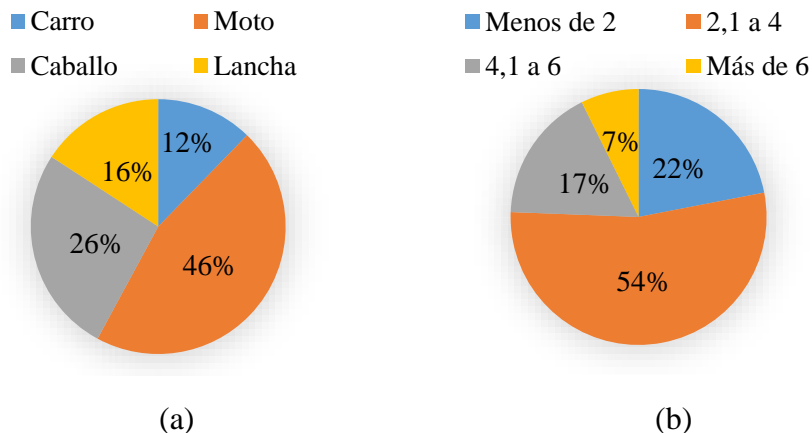


Figura 32. Medios de transporte utilizados por la comunidad (a) y Tiempo [horas] que gasta un usuario para ir a su predio (b).

Por el contrario, cuando es temporada de invierno, el transporte fluvial es el más utilizado por las personas que viven en esta zona del país, en promedio tardan 4 horas de ir desde su residencia hasta la cabecera municipal o viceversa, tal como se ve en la Figura 33.

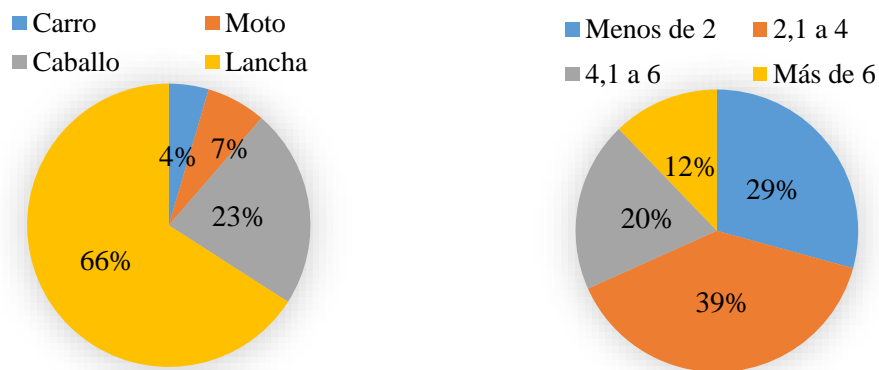


Figura 33 Medio de transporte en invierno para ir a la cabecera municipal (a) y Tiempo [horas] gasta en invierno para ir a su predio (b).

La Figura 34 muestra la percepción de los habitantes de la reducción de problemas respiratorios y reducción de accidentes con la llegada de los sistemas. Es importante saber que luego de que la comunidad tuvo el acceso a energía eléctrica por medio de los paneles fotovoltaicos, se dejaron de adquirir combustibles fósiles que los usuarios usaban para realizar sus diferentes actividades (98% de la población encuestada redujo el tiempo dedicado a la búsqueda de combustibles después de la llegada de los SFV); se observa que se percibió tanto una disminución de los problemas respiratorios y oculares, como reducción de accidentes como quemaduras o incendios.

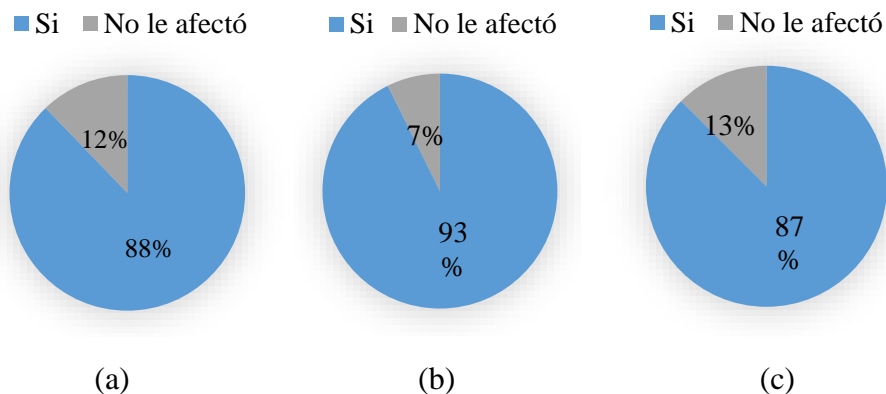


Figura 34. Reducción de problemas respiratorios (a), Reducción de accidentes (quemaduras, incendios) (b) y Reducción de problemas oculares (c).

Uno de los principales usos de la energía eléctrica por parte de las familias beneficiarias de este proyecto es la iluminación, la cual la usan para diferentes actividades como cocinar, ver la televisión o coser. Este tipo de actividades se pueden realizar con mayor facilidad después de la llegada de la electricidad. Por ende, el factor a revisar es hasta que hora de la noche utilizan la iluminación, comparada entre antes y después de la instalación de los sistemas. La Figura 35 muestra la hora de apagado de las luces previo a la llegada de los arreglos fotovoltaicos, se observa que la mayoría de las familias la utilizaban hasta las 19:00 horas y que algunas hasta las 20:00 horas.

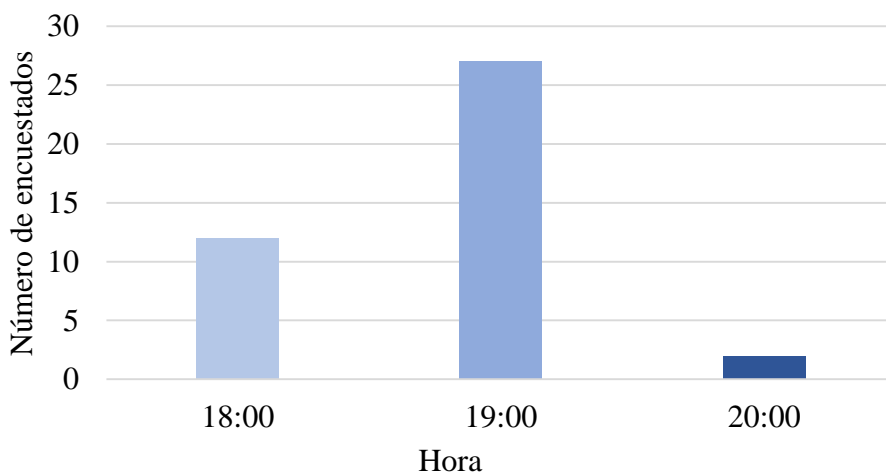


Figura 35. Hora de apagado de luces, antes de la instalación de los SFV.

En cambio con la llegada de los sistemas, se observa en la Figura 36 un aumento en la hora en la que utilizan la iluminación, pues de usarla hasta las 20:00 horas, ahora hay familias que incluso las apagan a las 23:00 horas; ya que gracias a la acceso a la electricidad, permitió el desarrollo de actividades que involucraban iluminación hasta altas horas de las noches; de tener iluminación por medio de combustibles fósiles, que exigían un costo y riesgo por su uso, se pasó a bombillos, aumentando la calidad de vida de las familias.

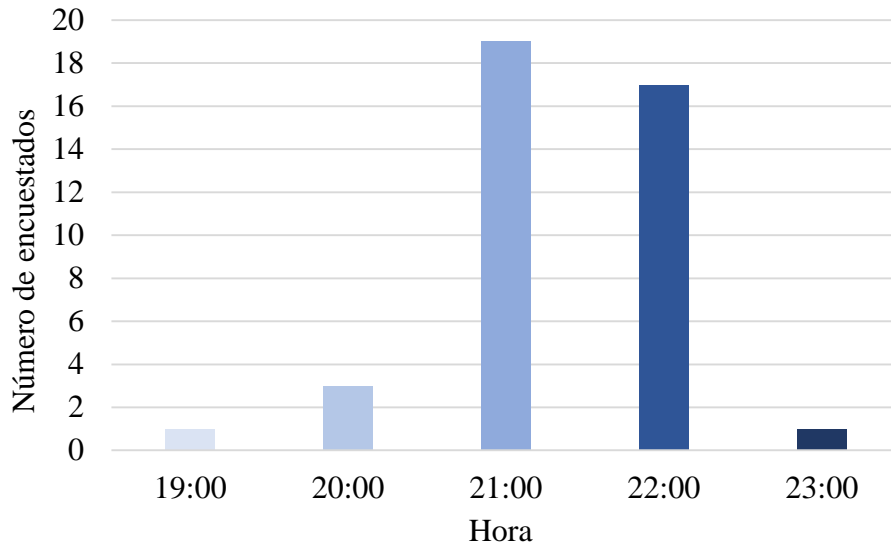


Figura 36. Hora de apagado de luces, después de la instalación de los SFV.

La Figura 37 muestra la comparación de las 41 viviendas encuestadas, entre el uso de la luz antes (color azul) y después (color naranja) de la instalación de los generadores fotovoltaicos, el aumento del uso de la luz en las horas de la noche es de 2 horas y 35 minutos en promedio. Cabe resaltar que todos aumentaron la hora en la que utilizan la iluminación, indicando lo primordial para las familias el tener este recurso disponible para lograr ejecutar sus diferentes actividades y labores en la noche.

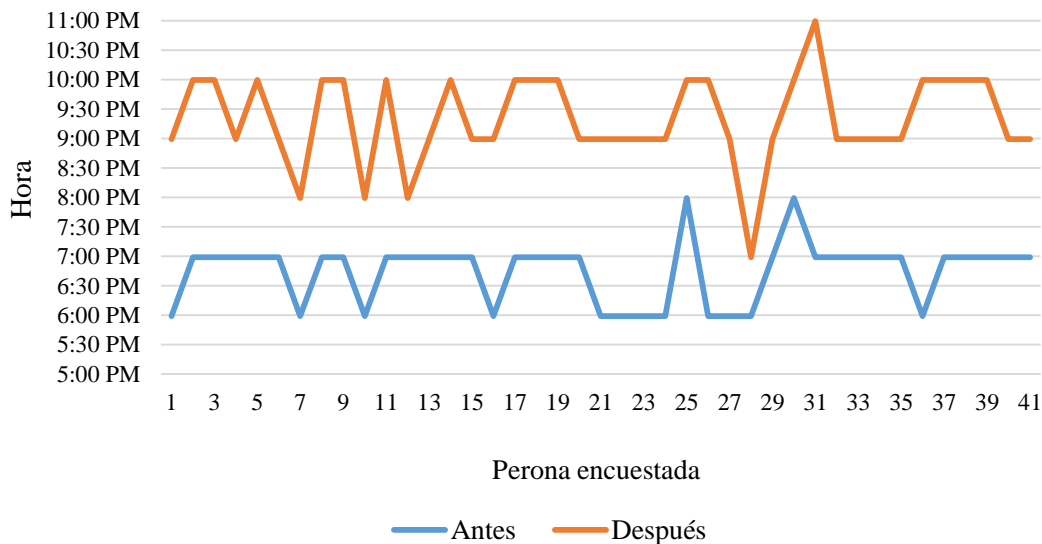


Figura 37. Diferencia entre el uso de luz, antes y después de la llegada de los SFV.

Si nos referimos a los energéticos utilizados para cocinar los alimentos, tenemos que mencionar que no cambio de forma significativa con respecto a antes de la instalación de los sistemas, la población sigue usando en su mayoría leña para esta actividad y algunos

combustibles fósiles. En cambio la utilización de energéticos para actividades diferentes a cocinar por parte de la comunidad, si se vio afectada con la implementación de los módulos solares, pues, como muestran en la Figura 38 y Figura 39, hubo un cambio de energéticos, se pasó de utilizar gasolina, queroseno y otros combustibles como ACPM, madera o residuos agrícolas, a usar energía eléctrica. Es importante resaltar que el 100% de la población encuestada ilumina actualmente con bombillos eléctricos sus viviendas.

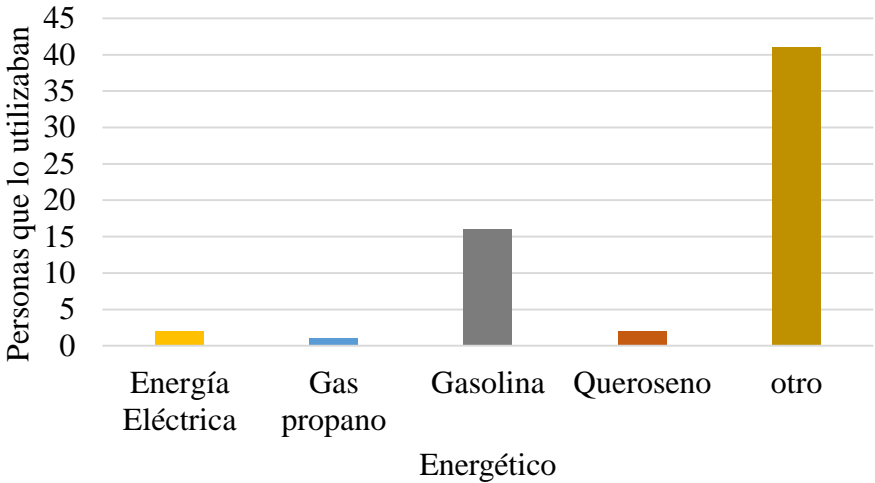


Figura 38. Energéticos que antes utilizaba la comunidad.

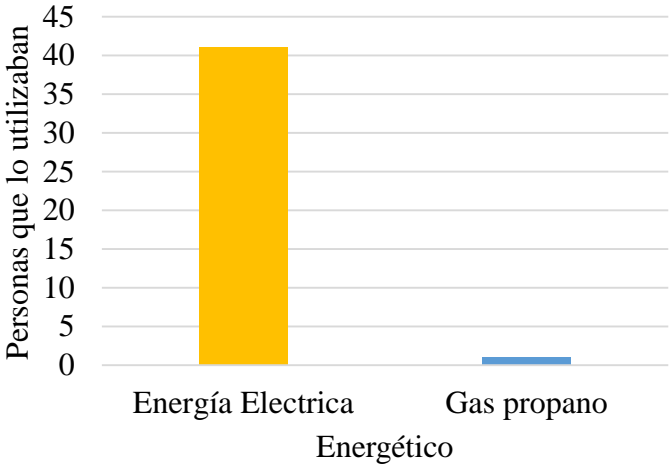


Figura 39. Energético que la comunidad utilizan.

El 98% personas indicaron que luego de la instalación de los SFV es menos trabajo realizar labores domésticas como: Limpiar, cocinar, lavar o leer; ninguno de los encuestados declaró un desmejoramiento del nivel de vida o disminución de ingresos a causa de los sistemas fotovoltaicos. La Figura 40 muestra tanto la percepción de la comunidad sobre el mejoramiento del nivel vida, como el ahorro de dinero debido a los SFV's.

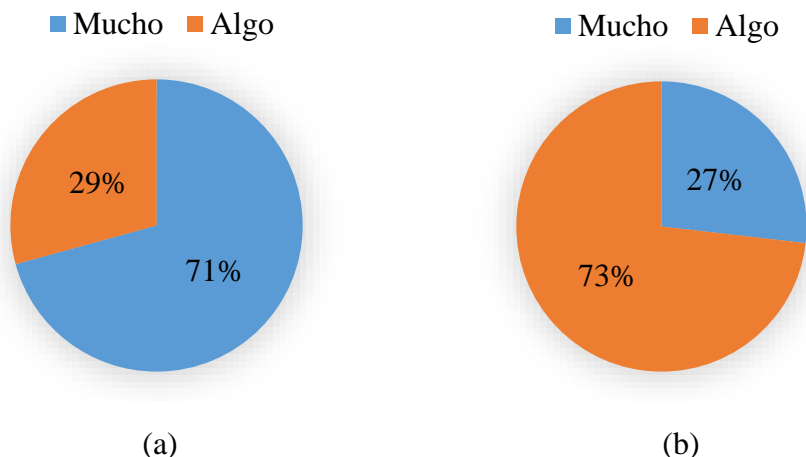


Figura 40. Percepción del mejoramiento del nivel de vida (a) y Percepción de ahorro de dinero debido a los SFV (b).

Luego de la instalación de los SFV's se evidenció una disminución en las horas las cuales la población se dedicaba a escuchar radio, tal como se observa la Figura 41. Por el contrario, con la llegada de los módulos fotovoltaicos, las horas en las que ven televisión paso de cero a los valores que se muestran en la Figura 42.

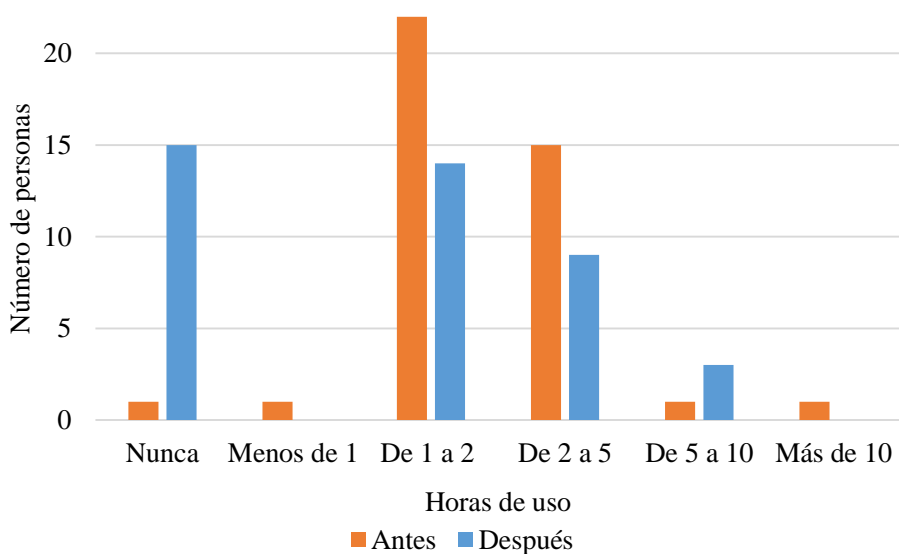


Figura 41. Horas diarias que se le dedica a escuchar la radio, antes y después de la llegada de los SFV.

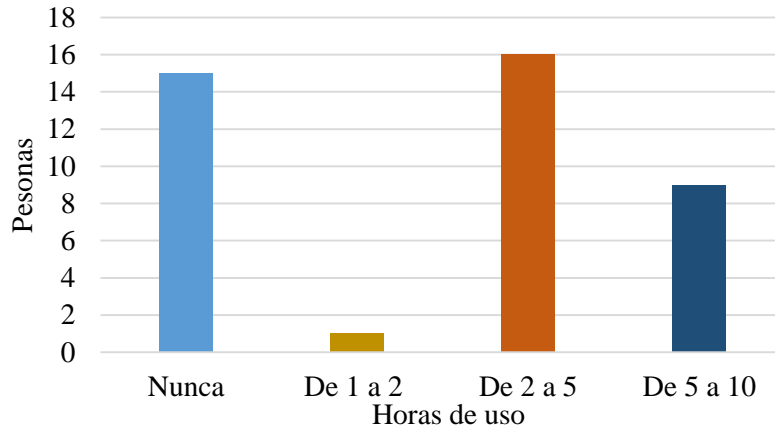


Figura 42. Horas que la comunidad ve televisión por día, después de la llegada de los SFV.

Los resultados del cuestionario muestran que a la fecha de la recolección de información, ninguna de las familias beneficiarias utiliza la energía eléctrica para desarrollar algún trabajo productivo. Por otra parte, algunos de los beneficiarios aportaron 400.000 pesos Colombianos en la reparación de sus sistemas, 300.000 en el inversor más 100.000 pesos en transporte. La Figura 43, muestra que el 5% de la muestra ha realizado algún aporte económico a su SFV.

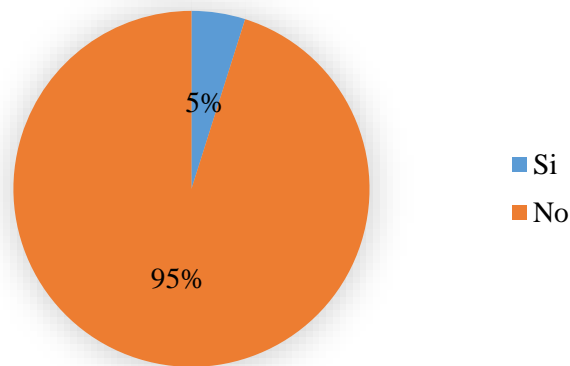


Figura 43. Aportes económicos extra que ha tenido que efectuar a los SFV.

Igualmente se decidió hacer una comparación entre la hora de levantarse de las familias, antes (colos azul) y después (coloar naranja) de la llegada del recurso eléctrico a la región; la Figura 44 muestra dicha comparación, donde se observa que el acceso a la energía eléctrica no afecta este factor, es decir que aunque las familia ahora tienen el servición eléctrico, no cambiaron la hora de levantarse.

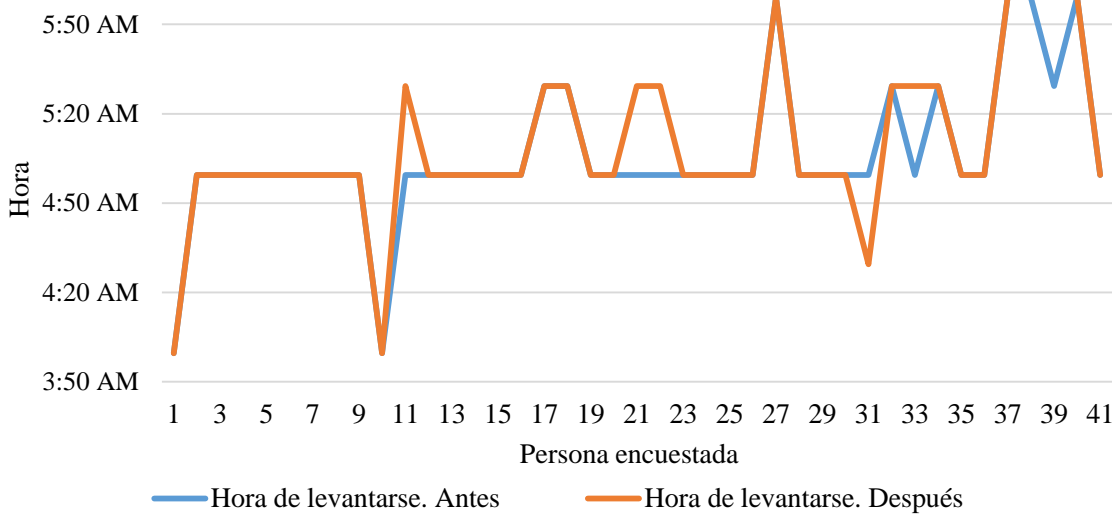


Figura 44. Hora de levantarse de la comunidad antes y después de instalar los SFV.

A diferencia de la hora de levantarse de los usuarios, la hora en la se acuestan a dormir si se vio afectada con la implementación de los sistemas fotovoltaicos, tal como se muestra en la Figura 45, esto está relacionado con la hora en la cual hacen uso de la iluminación, por consiguiente, el disponer de iluminación, televisión y el poder realizar actividades en las noches cambia un hábito de vida, como lo es la hora en la que se van a descansar las familias.

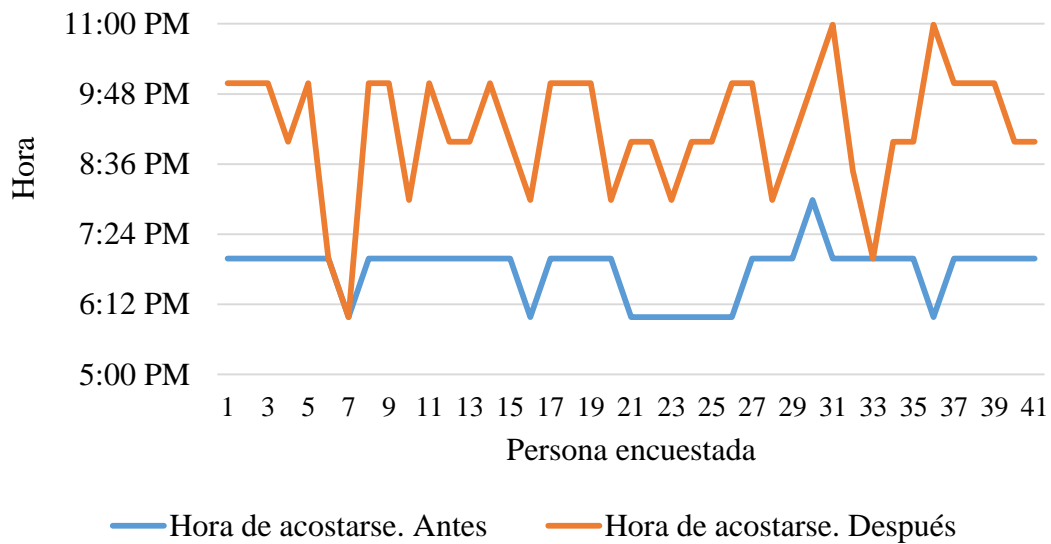


Figura 45. Hora de acostarse de las personas adultas, antes y después de la llegadas de los sistemas.

2. FALLAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS

El objetivo de esta sección es desarrollar un análisis acerca las fallas de los sistemas fotovoltaicos que fueron instalados en Hato Corozal, Casanare. Para la resolución del mismo, se realizó un reporte de fallas (**ANEXO A - INFORME DE FALLAS**), que fue aplicado a 24 sistemas fotovoltaicos. A continuación se presentan los resultados del análisis de fallas.

Para definir el estado actual de los equipos, se dividió el sistema en cuatro partes, sistema de generación (comprenden los paneles solares), cimentación y soporte, sistema de control, donde intervienen el regulador de carga e inversor; sistema de almacenamiento, abarcado por las baterías; y por último el cableado de la instalación. La Figura 48, muestra las fallas que han tenido los componentes de los arreglos fotovoltaicos desde el día de su instalación. El equipo que más ha presentado fallas es el inversor.

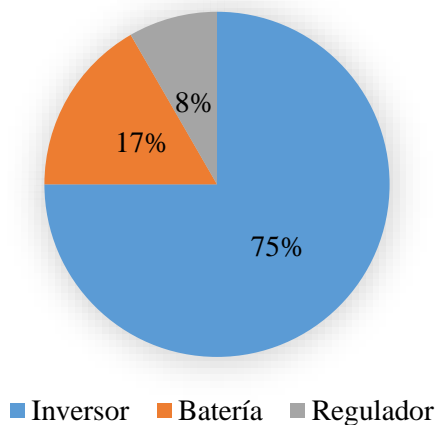


Figura 46. Fallos en el sistema fotovoltaico.

2.1 SISTEMA DE GENERACIÓN

2.1.1 Panel solar fotovoltaico

Para iniciar el análisis de reporte de fallas hablaremos primeramente del sistema de generación, al cual se le hizo una revisión del estado de los paneles fotovoltaicos y se identificó polvo o suciedad en el cristal del mismo, esto impide la correcta captación de la irradiancia solar, por este motivo se tomó como medida realizar una limpieza a los módulos de la instalación.

Todos los paneles que fueron instalados se encuentran en cada una de las residencias donde fueron dispuestos, ninguno de ellos tiene señales de deterioro en sus celdas y/o rotura del cristal del módulo, y de igual forma siguen generando energía; los puntos de conexión de los módulos no tienen oxidación. La Figura 47 señala uno de los módulos que fueron instalados en la vereda Las Flores, del municipio de Hato Corozal.



Figura 47. Módulo fotovoltaico ubicado en la vereda Las Flores/Santa Bárbara, del municipio de Hato Corozal.

2.1.2 Cimentación y soporte

La cimentación no presenta grietas o roturas, el soporte metálico no tiene golpes o abolladuras y no se producen movimientos en la base. Asimismo, el 4% de los sistemas presenta corrosión o inestabilidad en el soporte, la estructura o puntos de tierra. Los paneles siguen fijados al soporte y están en posición correcta con el mismo. La Figura 48 muestra una estructura con signos de oxidación, la cual afecta su vida útil.



Figura 48. Estructura del soporte de los sistemas fotovoltaicos (vereda Las Flores/Santa Bárbara).

Como el soporte no tiene base en concreto, sino que está enterrado en el suelo (tierra), en el momento que cae la lluvia el terreno empieza a ceder, haciendo que el soporte se hunda hacia el suelo, tal como se observa en la Figura 49; el inconveniente que puede traer esta situación

es una inclinación no deseada, el cambio del ángulo de incidencia de la irradiancia sobre el panel o provocar inestabilidad del soporte, lo que conduciría al colapso del mismo.



Figura 49. Soporte de los módulos fotovoltaicos ubicados en la vereda Las Flores/Santa Bárbara.

En conclusión, los sistemas de generación no presentan fallas que interfieran en el abastecimiento de la demanda de energía eléctrica a los usuarios, sin embargo es pertinente crear un plan de mantenimiento preventivo, donde se haga una inspección cada determinado tiempo, con el fin de tener control sobre factores como limpieza de los módulos, revisión del estado de los soportes y ubicación correcta de los paneles.

2.2 SISTEMA DE CONTROL E INVERSOR

2.2.1 Regulador de carga

El regulador es un componente que ha presentado fallas en algunos de los sistemas implementados, la Figura 51 muestra el porcentaje de sistemas que han dejado de funcionar debido a la falla en el regulador, existiendo casos donde la señal lumínica del LED solar del regulador o de la batería no funciona. Si se quiere llegar a saber por qué falla este equipo, se debe realizar un análisis más detallado, donde se implementen análisis experimentales para determinar las posibles causas de las fallas. La Figura 50 muestra el regulador instalado en las viviendas beneficiarias del proyecto de electrificación rural.

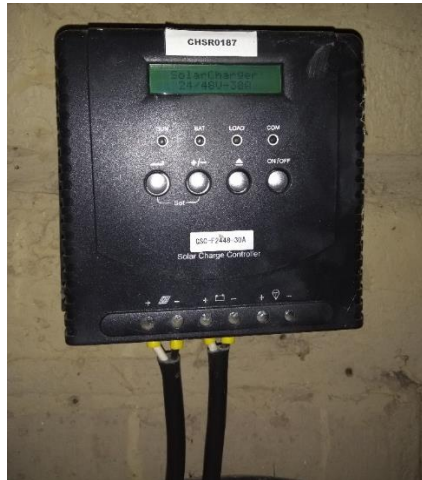


Figura 50. Regulador de carga instalado en una de las viviendas de la vereda La Flores/Santa Bárbara.

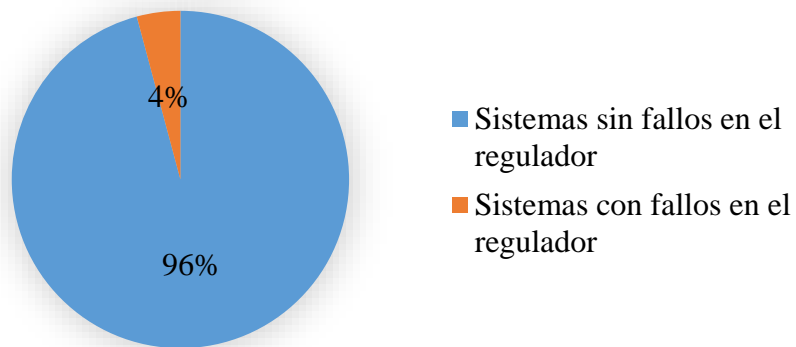


Figura 51. Porcentaje de sistemas con fallas en el regulador.

2.2.2 Inversor

Se había dicho que el inversor es el equipo que más ha fallado en los sistemas fotovoltaicos instalados, la Figura 52 muestra los subcomponentes que han fallado en el inversor, donde se observa que el display y la tarjeta del mismo, son los que más se han registros con fallas que afectan el correcto suministro de energía eléctrica a los usuarios. En la Figura 53 se observa el inversor que compone el sistema fotovoltaico típico dispuesto en las viviendas.

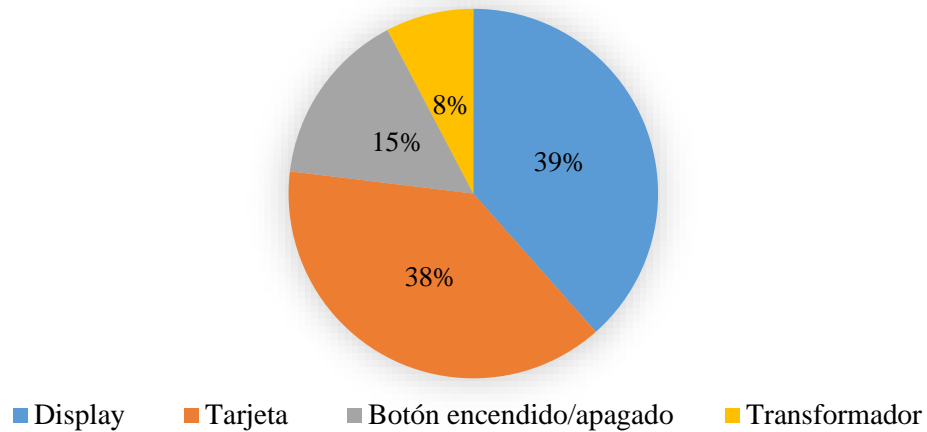


Figura 52. Fallas en el inversor.



Figura 53. Inversor (I-PANDA) dispuesto en la finca San Pablo de la Vereda Las Flores/Santa Bárbara.

2.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

2.3.1 Baterías

Se encontró que el 8% de los de los sistemas de almacenamiento tuvieron fallas (tal como se observa en la Figura 54), a los cuales como medida, se hizo la respectiva reposición de las baterías que se habían dañado, el 4% de los usuarios sobrepasaron el consumo recomendado por el instalador, el 8,7% de las baterías tenían acumulación de polvo o suciedad, el 4% tiene corrosión y presentan golpes o abolladuras. La Figura 55 muestra el rack de baterías del sistema fotovoltaico implementado en el proyecto de electrificación rural.

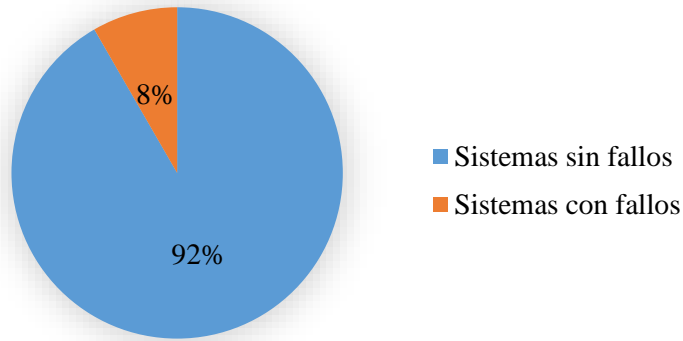


Figura 54. Porcentaje de fallas en los sistemas de almacenamiento.



Figura 55. Sistema de almacenamiento del generador fotovoltaico.

2.4 CABLEADO DE LA INSTALACIÓN

El 4% de los sistemas presentaron roturas o daños visibles en un cableado y conductores, igualmente el 4% del cableado aéreo no está debidamente sujeto y tienen empalmes y conexiones con daños visibles; el 8,3% de los ductos tienen roturas, abolladuras o signos de deterioro. La Figura 56 y Figura 57 presentan la conexiones tanto del arreglo fotovoltaico como la de la caja de distribución eléctrica.



Figura 56. Conexiones del arreglo fotovoltaico.



Figura 57. Caja de distribución de distribución eléctrica.

Una de las posibles causas de fallas de los sistemas, puede ser debido a la mala manipulación por parte de los usuarios; por ende la capacitación correcta de la población a través de la empresa encargada de la instalación de los generadores es primordial, pues este, contribuye tanto al desarrollo de habilidades de la comunidad, que le permitirá ejecutar un mantenimiento preventivo, como a la sostenibilidad del mismo proyecto.

Otro factor que puede ocasionar problemas que conduzcan a fallas en los sistemas fotovoltaicos es el exceso de demanda, derivando en un déficit en el suministro, es decir con la poca capacidad del sistema de responder a la curva de demanda por parte del usuario, ya que al tener una demanda por encima de lo que el sistema puede responder, sobrecargaría los componentes, colapsando el sistema.

3. CONSUMO ESTIMADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR PARTE DE LA COMUNIDAD

El consumo estimado se realizó mediante la aplicación de encuesta, donde se logró recopilar información de la cantidad de electrodomésticos que poseen las familias, la frecuencia de uso de estos equipos, en algunos componentes la hora habitual en la que los utilizan y en el caso de la nevera, la energía consumida mensualmente por este aparato, el cual se encuentra en la etiqueta energética del mismo.

La población se encuentra en una etapa de transición donde las familias están adquiriendo electrobombas para suministro de agua, pasando de motobombas a los equipos ya mencionados, esto se ha dado debido directamente a la instalación de los sistemas fotovoltaicos; el uso de este equipo afecta considerablemente a la curva de carga diaria y por ende a la energía demandada, por lo que se debe recomendar a los usuarios utilizarla cuando haya mayor irradiancia, que regularmente es al medio día (cabe mencionar que su uso no es diario). La Figura 58 muestra la electrobomba típica adquirida por la comunidad, con sus respectivas especificaciones.



Figura 58. Electrobomba 110V/60Hz/0,5HP ubicada en la vereda Las Flores/Santa Bárbara, municipio de Hato Corozal – Casanare.

La Figura 59 indica el consumo de energía diario estimado de la población encuestada, se puede observar que la mayoría de las familias tienen un consumo diario entre 1,5 kWh y 2 kWh, igualmente que los usuarios encuestados no sobrepasan el suministro de energía del sistema fotovoltaico en el mes crítico (Junio). Se resalta que existen viviendas con consumo diario inferior a 500 Wh, es decir que cuentan solo con iluminación y algún aparato de baja potencia.

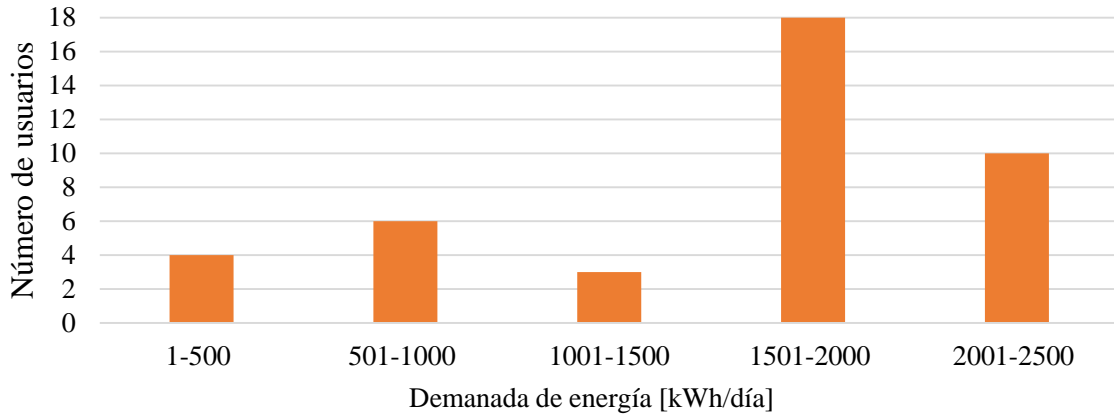


Figura 59. Estimación de consumo de energía de los usuarios encuestados.

Para la realización de la curva de carga se tomó el consumo de energía promedio estimado de los usuarios a quienes se les hizo la encuesta, junto a la frecuencia de uso de los equipos, acoplándola a la forma de la curva de carga propuesta por la gobernación de Casanare¹² para usuarios de estrato 1 ubicados en zonas rurales del departamento de Casanare.

La Tabla 9 presenta los aparatos eléctricos propuestos con sus respectivas potencias para la realización de la curva de carga estimada de la comunidad de Hato Corozal; los equipos incluidos en la tabla fueron seleccionados en función de la tenencia de estos por parte de los usuarios y su potencia promedio de los mismos. En la Tabla 10 se muestra la caracterización del consumo estimado de energía eléctrica promedio de una vivienda ubicada en Hato Corozal.

Tabla 9. Dispositivos eléctricos que posee una vivienda promedio.

Aparatos Eléctricos	Potencia [W]
Ventilador	50
Equipo Audio	20
Nevera	160
Televisor	50
Electrobomba	372 (1/2 HP)
Bombillo	20
Licuada	400

¹² Información dispuesta en (Avella, 2014).

Tabla 10. Caracterización del consumo estimado de energía eléctrica promedio de una vivienda ubicada en Hato Corozal.

Hora	Bombillos						TV	Nevera	Licuadora	Equipo de sonido	Ventilador	Potencia [W]	Consumo [Wh/día]
	Sala	Cocina	Alcoba 1	Alcoba 2	Baño	Exterior							
0												0	0
1								0,10				160	16,00
2								0,10				160	16,00
3								0,10				160	16,00
4					0,2	1		0,10				200	40,00
5	0,2	1	0,2	0,2	0,2			0,10				260	52,00
6	0,3				0,33			0,10	0,167			600	96,00
7								0,20				160	32,00
8								0,20				160	32,00
9								0,20				180	52,00
10								0,2		1		180	52
11		0,67						1		1		200	193,33
12								1		1		180	180
13								1				160	160
14								0,2				160	32
15								0,20				160	32,00
16								0,20				160	32,00
17								0,20				160	32,00
18		1					0,5	0,20				180	77,00
19	1	1		0,2	0,2	1	1	0,20				310	150,00
20	1	1	0,2	0,2		1	1	0,10				310	134,00
21	0,5		0,2	0,2			1	0,10			0,3	320	99
22								0,10			1	210	66,00
23								0,10				160	16,00
TOTAL	3	4,67	0,6	0,8	0,93	3	3,5	6	0,167	3	1,3	5292	1587,33

La Figura 60 muestra tres escenarios de curva de carga de la comunidad beneficiaria del proyecto de electrificación. Estas se desarrollaron con datos de campos, constatando los electrodomésticos que poseen cada una de las viviendas, su potencia y las horas que lo utilizan diariamente; donde se determinó que la energía promedio consumida por una vivienda ubicada en Hato Corozal, es de 1,58 kWh/día, este dato es sin uso de una electrobomba y con este equipo la energía demandada por una vivienda es en promedio 1,95 kWh/día, tal como se muestra en la Figura 61.

Los escenarios de máximo y mínimo consumo de energía se realizaron con los usuarios de mayor (2,5 kWh/día) y menor (140 kWh/día) demanda de energía, la vivienda con menor energía demandada tiene una carga eléctrica compuesta netamente por bombillos.

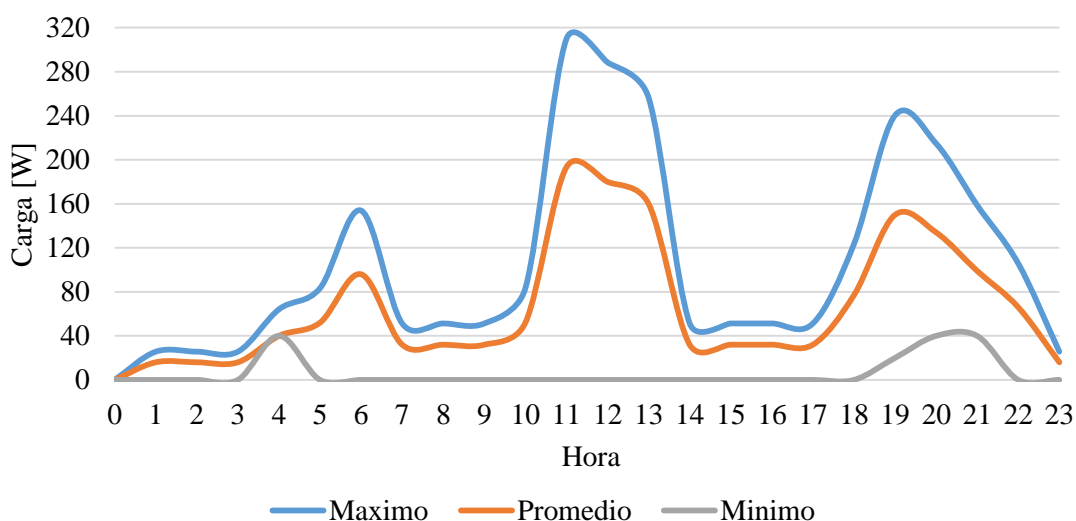


Figura 60. Curva de carga promedio sin uso de electrobomba de una vivienda en Hato Corozal.

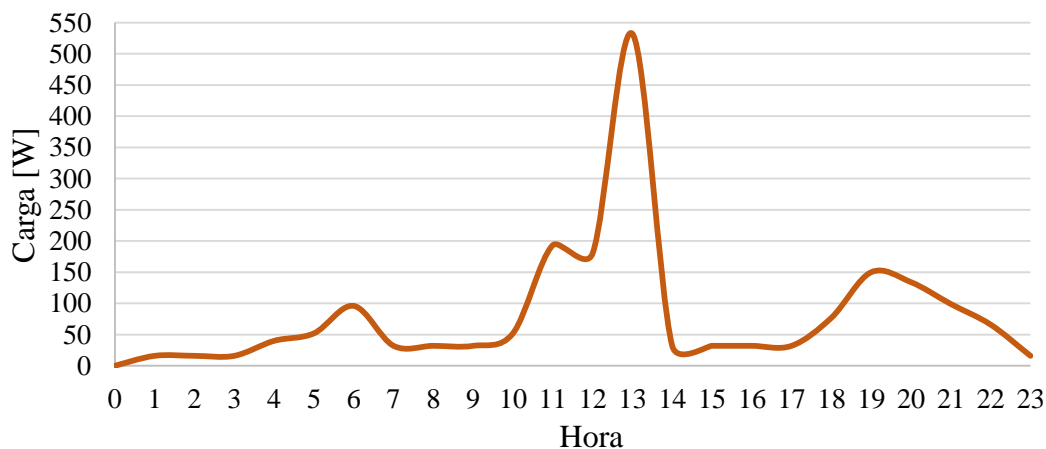


Figura 61. Curva de carga promedio con uso de electrobomba de una vivienda en Hato Corozal.

De igual forma se le preguntó a la comunidad sobre los equipos que pensaban adquirir (a los cuales se les fijo una potencia) a futuro, los cuales afectan de forma directa a la capacidad del sistema fotovoltaico de suplir el aumento en la demanda; 71% de usuarios manifestaron la posibilidad de adquirir electrodomésticos para sus viviendas. La Figura 62 muestra la potencia a adquirir en aparatos eléctricos, donde el 32% de las familias declararon añadir a su carga de 1 W a 100 W, el 29% no piensan aumentar su carga, el 15% aumentará como máximo 200 W y el 5% tienen planificado entre 501 W a 732 W.

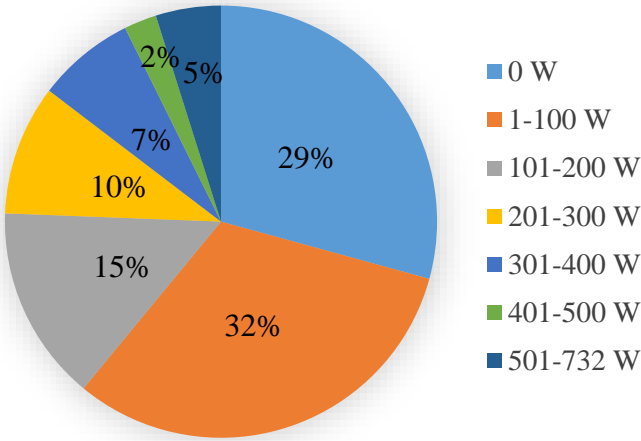


Figura 62. Carga a añadir por parte de los usuarios.

La Figura 63 está referida a los equipos que la comunidad beneficiaria del proyecto de electrificación planea adquirir; de los aparatos más afectan el consumo de energía debido a su potencia y frecuencia de uso son el refrigerador/nevera, ventilador y electrobomba, los cuales comprenden 14%, 15%, y 3% respectivamente. Los equipos que más se añadirán a la carga residencial son el televisor y bombillo con 20% y 30% respectivamente.

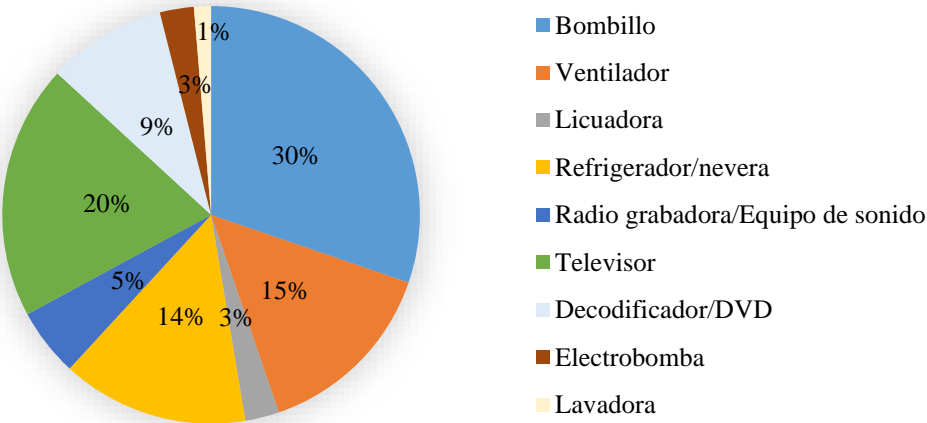


Figura 63. Equipos a adquirir por parte de los usuarios.

4. CURVA DE CARGA REAL DE USUARIOS

La curva real se realizó con la medición de potencia instantánea a dos usuarios de la comunidad beneficiada, el uno se encuentra en la finca El Callao ubicada en la vereda El Brillante, con coordenadas E 70°11'42,85'' N 6°12'23,06''; el segundo en la finca Puerto Leticia situada en la vereda Santa María, con coordenadas E 70°52'10,41'' N 6°13'14,51''. La Figura 64 señala la localización de las viviendas de donde se obtuvieron las curvas de carga reales.

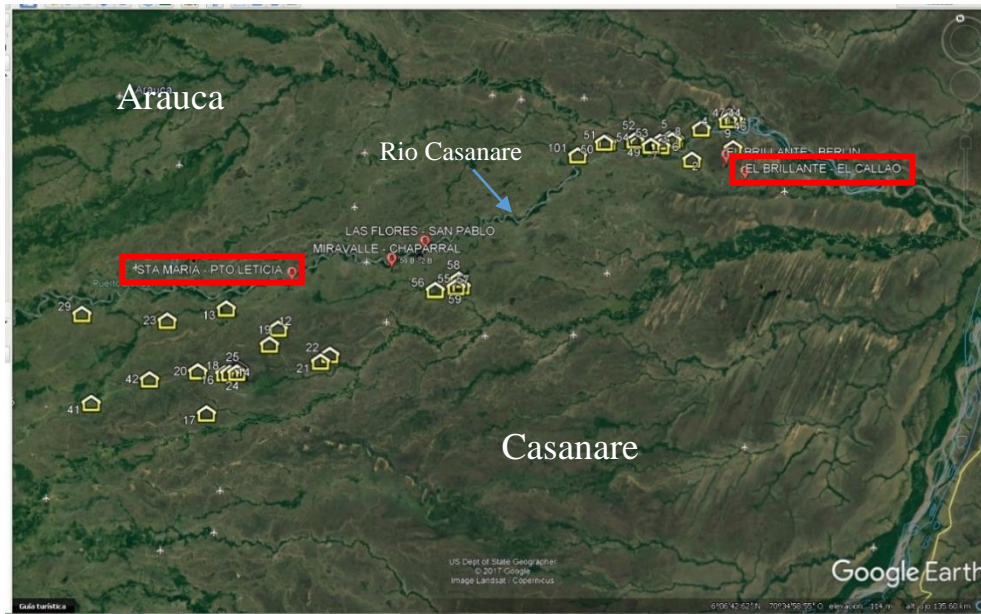


Figura 64. Ubicación de las viviendas de donde se obtuvieron las curvas de carga reales.

El medidor utilizado fue el LY-SM100 de TECUN, el cual tiene la función de registrar información de perfiles de carga, energía activa y reactiva, voltaje, corrientes, factor de potencia, frecuencia y potencia por fase; con la capacidad de almacenar datos diarios y mensuales. La comunicación de la información es por medio de señal GPRS integrado al medidor o a través de tres puertos independientes: Puerto óptico, M-bus o RS485. La Figura 65 muestra el medidor mencionado con sus respectivos diagramas de conexión; el catalogo del medidor se encuentra en el ANEXO C – CATÁLOGO DEL MEDIDOR INTELIGENTE LY-SM100.

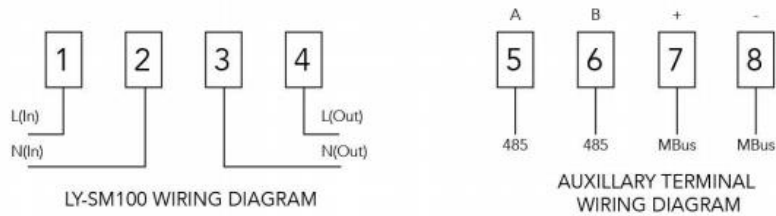


Figura 65. Medidor inteligente LY-SM100 con su diagrama de conexión

Fuente: (Tecun, 2017)

La descarga de datos se hizo de manera remota (señal GPRS), donde la variación de la señal afecta en la adquisición de los mismos, la Figura 66 presenta el medidor monofásico instalado en una de las viviendas. Se obtuvieron curvas de carga de dos días para ambas viviendas, para la finca El Callao un jueves y un lunes y para la finca Puerto Leticia un domingo y un miércoles.



Figura 66. Medidor inteligente monofásico LY-SM100 GPRS MODULE

Las Figura 67 y la Figura 68 muestran las curvas de cargas de los días jueves y lunes de la vivienda ubicada en la finca El Callao de la vereda El Brillante, se observa que el comportamiento de las dos curvas reales se asemeja a la curva de carga estimada en la sección anterior, con un pico de carga de alrededor de 260 W para el día jueves y 240 W para el día lunes; de igual forma se determinó que la energía demandada individualmente para ambos días no supera el suministro de energía del sistema fotovoltaico en el mes crítico; por ende el SFV tiene la capacidad de responder a la demanda de energía del usuario tratado. La energía consumida para el día jueves fue de 2.500 Wh/día y para el día lunes fue 2.240 Wh/día, la energía consumida estimada en la sección anterior para este usuario fue de 2.300 Wh/día.

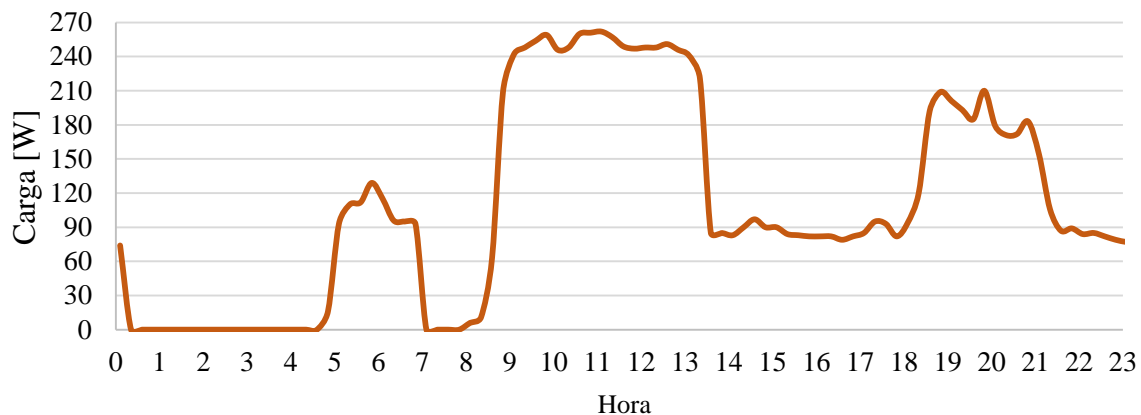


Figura 67. Curva de carga, día Jueves de la finca El Callao - vereda El Brillante.

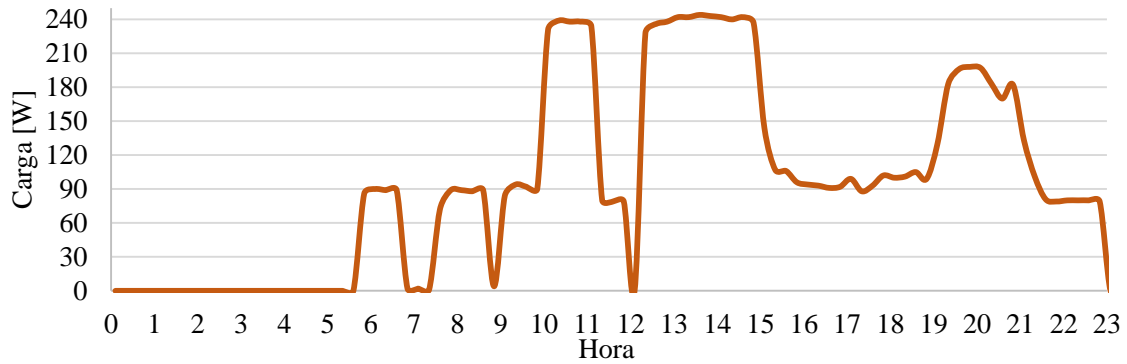


Figura 68. Curva de carga, día lunes finca el Callao - vereda El Brillante

Para la finca Puerto Leticia, ubicada en la vereda Santa María, también se obtuvieron dos curvas de cargas reales, vistas en la Figura 67 y la Figura 68; estas son de un día domingo y miércoles respectivamente; aunque la curva del día miércoles se asemeja en el comportamiento a la establecida en la sección anterior, la del día domingo tiene una conducta atípica. Igualmente que la vivienda anterior, la energía suministrada por el sistema fotovoltaico, cuenta con la capacidad de abastecer de la su demanda diaria de energía.

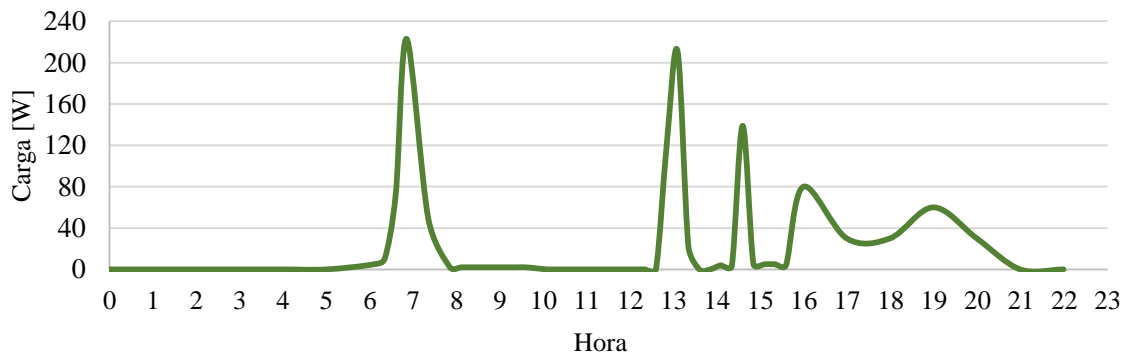


Figura 69. Curva de carga, domingo, finca Puerto Leticia - vereda Santa María.

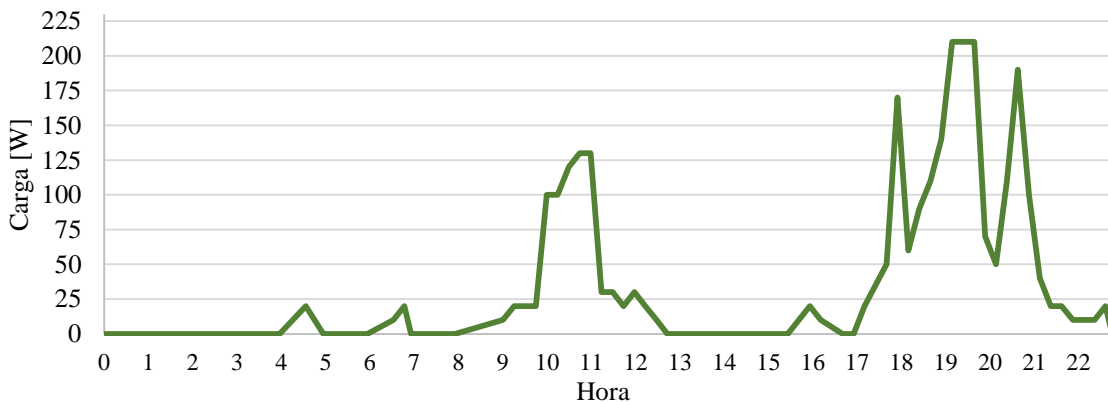


Figura 70. Miércoles, finca Puerto Leticia - vereda Santa María.

5. SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA CON LA DEMANDA PROMEDIO DE ENERGÍA ESTIMADA.

El seguimiento de la evolución de la demanda es necesario para asegurar que el sistema tenga la capacidad de responder a este aumento de energía; por esto se realizó la simulación en Homer Energy, donde el fin es determinar el dimensionamiento del SFV para la energía demandada estimada en la sección 3. En esta sección se explica la metodología que se utilizó para realizar la simulación del sistema fotovoltaico.



Figura 71 Logo de Homer Energy.

Fuente: Homer Energy Pro

Primeramente se realizó el ingreso de datos solicitados por el software. La Figura 72, muestra el ingreso de la localización de Hato Corozal, esto se hace con el fin de que el programa pueda descargar información de bases de datos como temperatura, irradiancia, velocidad de viento u otro potencial que se solicitan para ejecutar la respectiva simulación.

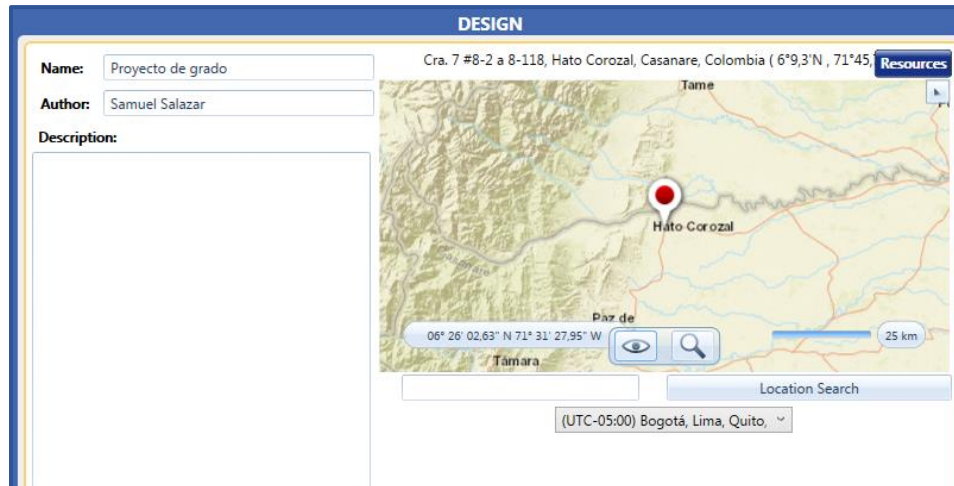


Figura 72. Localización geográfica de Hato Corozal, Casanare.

Igualmente se procedió a insertar la curva de carga estimada de la comunidad, añadiendo el uso de una electrobomba los fines de semana; la Figura 73 presenta la interfaz que utiliza el programa, donde se muestra el perfil diario de carga, el perfil anual de carga, la energía diaria promedio consumida por una vivienda (1,61 kWh) etc.; también se estableció 10% como variabilidad del perfil de carga.

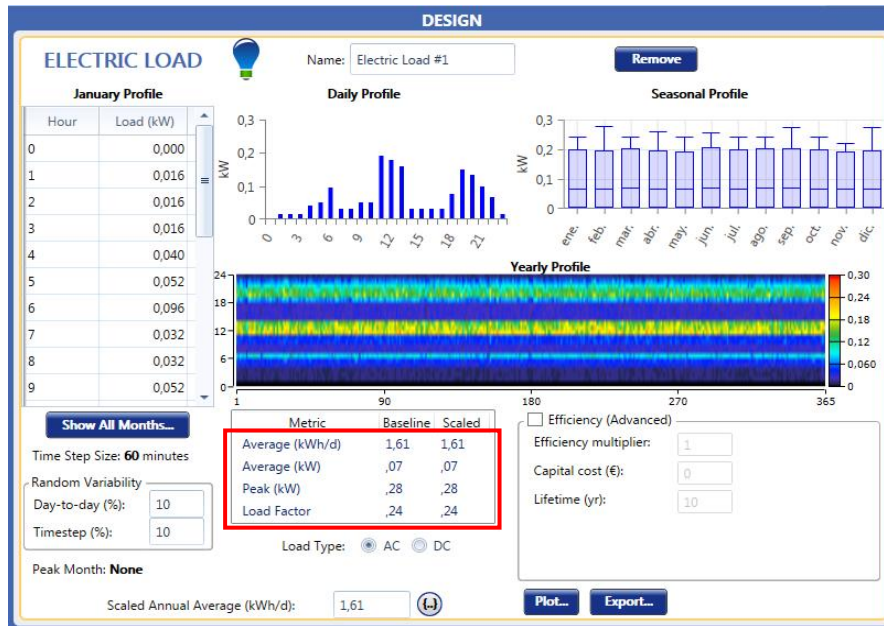


Figura 73. Interfaz de Homer Energy para la ingreso de la curva de carga.

La variabilidad del 10% del perfil de carga se muestra en la Figura 74, donde la variación lo asigna el software de forma aleatoria para los 365 días del año, y lo muestra por mes en la siguiente figura:

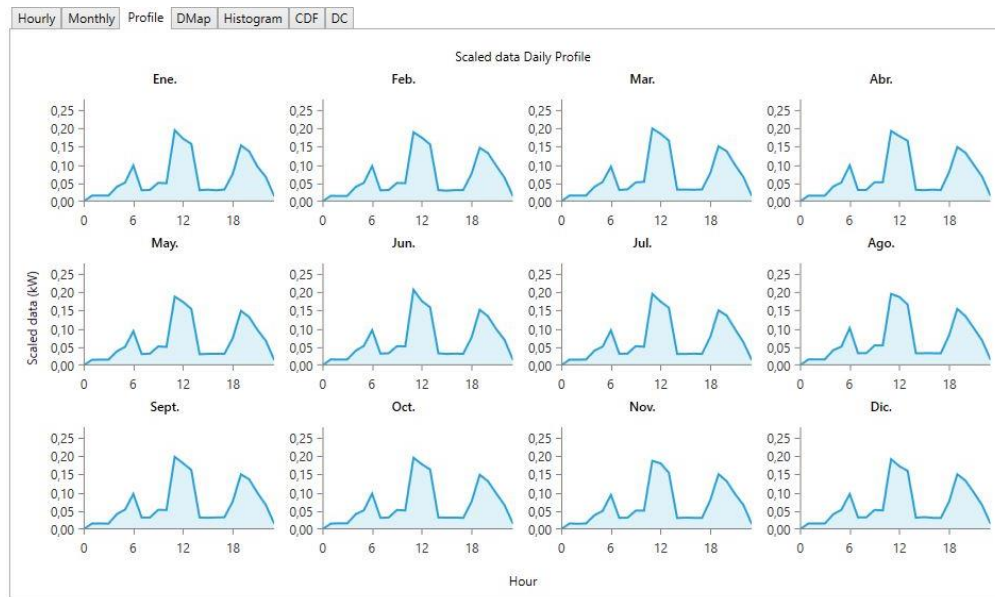


Figura 74. Curvas de demanda con variabilidad del 10%.

En la Figura 75 y Figura 76 se aprecia la entrada de datos de HSP y temperatura respectivamente, para la zona del municipio de Hato Corozal. Las HSP se obtuvieron de (Avella, 2014) y la temperatura se tomó de datos importados por Homer Energy de la base de datos la NASA (Surface Meteorology and Solar Energy Database). Las HSP promedio son 4,82 y la temperatura promedio es 23,25 °C.

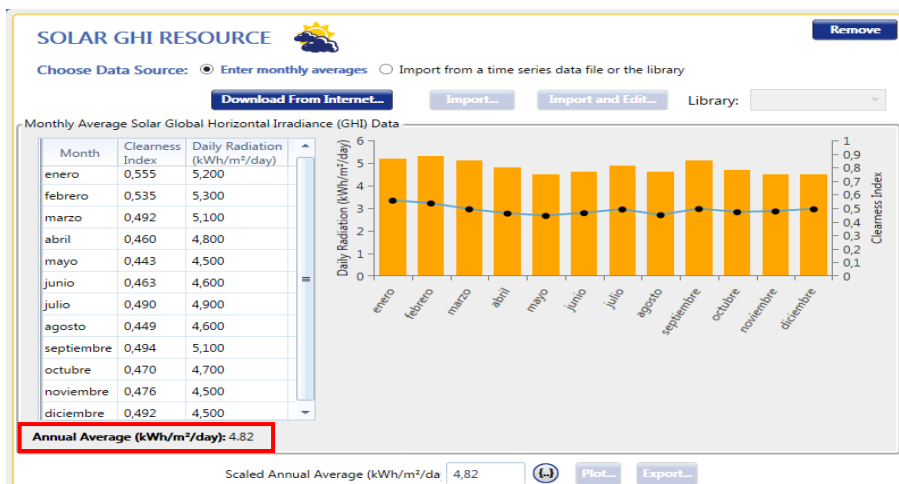


Figura 75. Entrada de datos de radiación diaria.

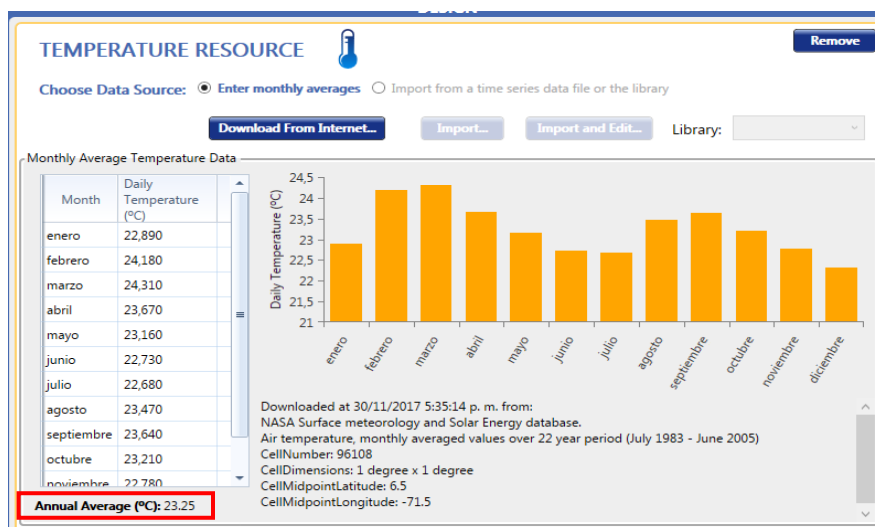


Figura 76. Temperatura promedio mensual según información de la NASA.

Cabe aclarar que el objetivo de esta sección no es analizar el ámbito financiero del proyecto, es decir el precio de los paneles, baterías, regulador, costo de inversión o de O&M, sino mostrar los pasos para la ejecución de la simulación que determine la capacidad del sistema de cubrir el suministro de energía de los usuarios; esto pensando en la evolución de la demanda eléctrica.

En la Figura 77, Figura 78 y Figura 79, se aprecia el ingreso de datos de los módulos fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento e inversor, respectivamente, donde para el sistema de generación se varió de 3 a 8 paneles de 185 W (el sistema de generación actual cuenta con 6 paneles de 185 W cada uno), con el fin de que el programa determine cuál es la mejor opción para la demanda ya dispuesta, lo mismo se hizo con el sistema de almacenamiento e inversor.

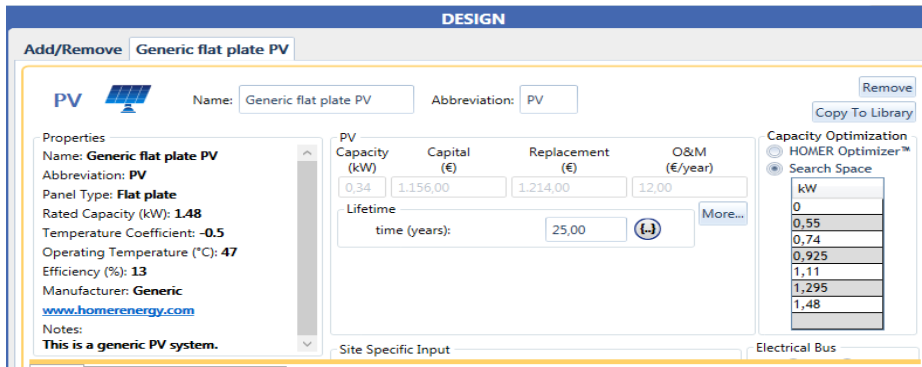


Figura 77. Ingreso de información dimensión y costos del panel solar.

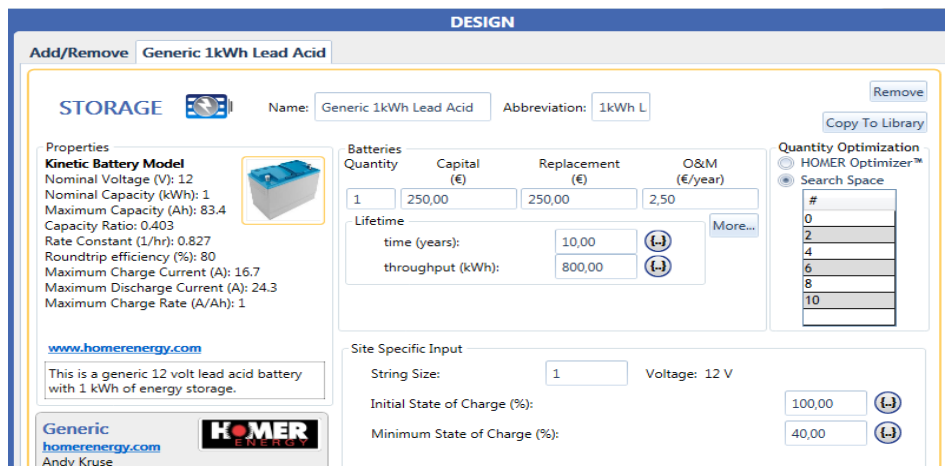


Figura 78. Ingreso de información dimensión y costos de las baterías.

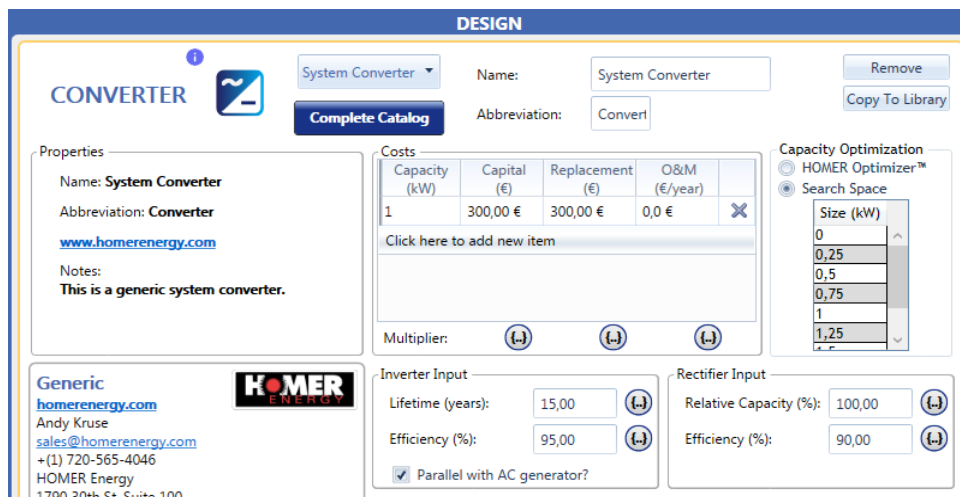


Figura 79. Ingreso de datos del inversor.

Finalmente el esquema final del proyecto a simular se muestra en la Figura 80, en este se encuentran los elementos, requerimientos y diseño de la instalación.

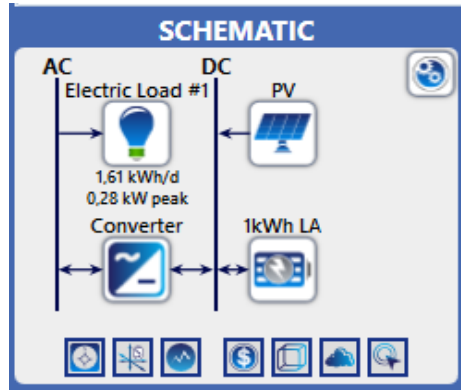


Figura 80. Configuración final del programa.

El resultado de la simulación tiene como resultado que el sistema fotovoltaico capaz de atender la demanda propuesta de forma óptima consiste de 925 W de potencia pico (es decir, 5 paneles de 185 W), 6 kWh de almacenamiento de energía y un inversor de 500 W; este sistema comparado con el instalado con los instalados tiene menor capacidad debido a que la demanda a suplir es menor que la que se utilizó para dimensionar los sistemas ya dispuestos.

Architecture							PV		1kWh LA	
	PV (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	Capital Cost (\$)	Production (kWh)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh)		
	0,925	6	0,500	LF	3,013	1,198	53,8	328		
	0,925	6	0,500	CC	3,013	1,198	53,8	328		
	0,925	6	0,750	LF	3,013	1,198	53,8	328		
	0,925	6	0,750	CC	3,013	1,198	53,8	328		
	0,925	6	1,00	LF	3,013	1,198	53,8	328		
	0,925	6	1,00	CC	3,013	1,198	53,8	328		
	0,740	8	0,500	LF	2,426	958	71,7	340		
	0,740	8	0,500	CC	2,426	958	71,7	340		
	0,925	6	1,25	LF	3,013	1,198	53,8	328		

Architecture					PV	
	PV (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
	0,925	6	0,500	CC	3,013	1,198

Figura 81. Resultado de simulación.

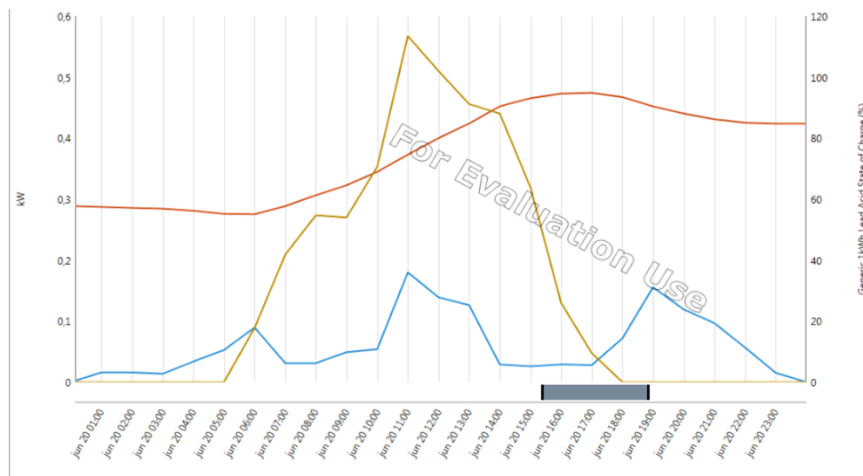


Figura 82. Suministro de energía diario.

6. ESTRATEGIAS PARA INCREMENTAR EL IMPACTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

Esta sección final está enfocada en describir las estrategias propuestas para incrementar el impacto de los sistemas fotovoltaicos sobre comunidades localizadas en zonas rurales aisladas, desde el punto de vista de sostenibilidad y confiabilidad del proyecto solar fotovoltaico. Para cumplir con el objetivo se creó un modelo de sostenibilidad el cual abarca la confiabilidad de los SFV.

El modelo de sostenibilidad propuesto está basado en 8 aspectos que relacionan a la comunidad beneficiaria, al ente del gobierno creado para promover este tipo de proyectos de energización rural y a la compañía encargada del diseño e instalación. Con el esquema presentado en la Figura 83, se busca priorizar tanto a la tecnología implementada (sistemas fotovoltaicos) como a la población afectada por el acceso al recurso eléctrico.

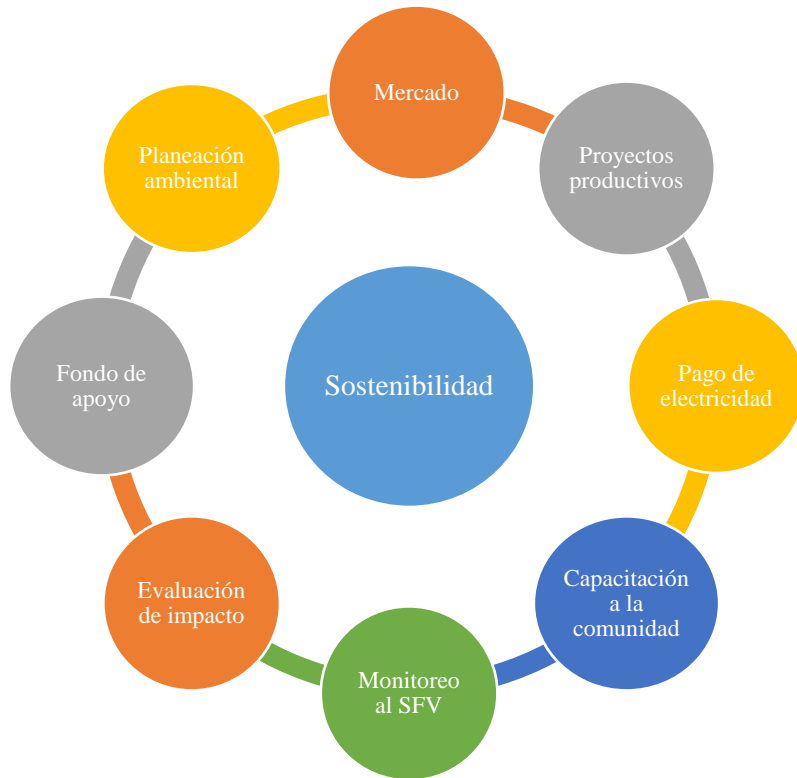


Figura 83. Esquema propuesto para la sostenibilidad de proyectos fotovoltaicos para la electrificación de ZNI.

Anteriormente, los proyectos de energización rural estaban enfocados en el tipo de tecnología a implementar, pero hoy en día este tipo de proyectos deben ser desarrollados de forma integral, donde se busca el desarrollo de la población, la sostenibilidad del proyecto de electrificación y el establecimiento de aspectos ambientales para poder incrementar los impactos sociales, energéticos y ambientales.

A continuación se presentan cada uno de los aspectos mencionados en la Figura 83:

6.1.1 Proyectos productivos

El contar con acceso a energía debe incentivar a la implementación de proyectos productivos acordes a las necesidades específicas y condiciones culturales de la población, los cuales faciliten el desarrollo de la comunidad, creando ingresos para el pago de la energía y mejoramiento de su nivel de vida.

Este tipo de comunidades no tiene experiencia en temas de creación y administración de empresas, es por esto que se debe brindar capacitación pertinente para el desarrollo de habilidades que permitan la correcta dirección, generando equipos de trabajo con sus respectivas responsabilidades.

6.1.2 Fondo de apoyo

Fomentar la creación de un fondo de apoyo, dedicado a la financiación de proyectos productivos que impliquen el uso de la energía eléctrica, apoyando iniciativas de la comunidad para fomentar su desarrollo rural integral; con el fin de viabilizar las ideas de emprendimiento que permitan a la población generar ingresos.

6.1.3 Mercado

Se debe introducir el término “Mercado” a la comunidad, por medio de la promoción de proyectos productivos, diseñando productos que se puedan vender tanto internamente en la comunidad como en veredas o municipios aledaños.

6.1.4 Capacitación a la comunidad

Capacitación técnica para que la comunidad tenga la habilidad de tomar decisiones al momento de realizar mantenimiento ya sea preventivo o correctivo. Se propone establecer un grupo de personas dentro de cada vereda, encargadas del mantenimiento, administración y operación de los procesos productivos y de generación.

Es primordial tener un acercamiento con la población, para que estos se empoderen de los proyectos que han sido desarrollados de acuerdo a sus requerimientos, donde se prioriza el atender las necesidades básicas, sin dejar a un lado la capacidad de llevar a cabo algún proceso productivo por parte de la comunidad.

6.1.5 Pago de electricidad

Se debe generar conciencia colectiva para asumir el pago del servicio eléctrico, para sostenibilidad del proyecto, donde cada usuario se hace responsable de la operación del sistema fotovoltaico implementado en su vivienda.

6.1.6 Monitoreo al sistema fotovoltaico

Para incrementar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, es pertinente ejecutar un monitoreo al sistema fotovoltaico implementado, donde se haga seguimiento a variables como corriente, SOC, temperatura, voltaje entre otros, con el fin de poder predecir fallas antes que sucedan y evaluar el desempeño real de los SFV en zonas aisladas.

6.1.7 Evaluación de impacto

En este punto se propone la evaluación del impacto de las actividades que conforman al modelo de sostenibilidad, con el fin de tomar acciones dependiendo de los resultados que genere dicha evaluación. Estableciendo indicadores para cuantificar ya aspectos como calidad de vida, capacidad de suministro eléctrico o desarrollo económico de la comunidad.

Para la caracterización del estado socioeconómico, se propone el uso herramientas que facilitan la ejecución de esta acción, un ejemplo es SurveyToGo, que es una plataforma en nube diseñada para la elaboración y aplicación de cuestionarios asistidas por de medio de un

Smartphone, la cual está compuesta por dos partes, cada una con finalidades específicas; SurveyToGo Studio: Es el software que permite la elaboración de cuestionarios y Surveyor para Android: es la aplicación que permite la ejecución del cuestionario en el dispositivo móvil Android para aplicación que se realizará en campo fuera de línea o en línea. La Figura 84 y la Figura 85 muestran la plataforma de SurveyToGo para Android y Windows respectivamente.

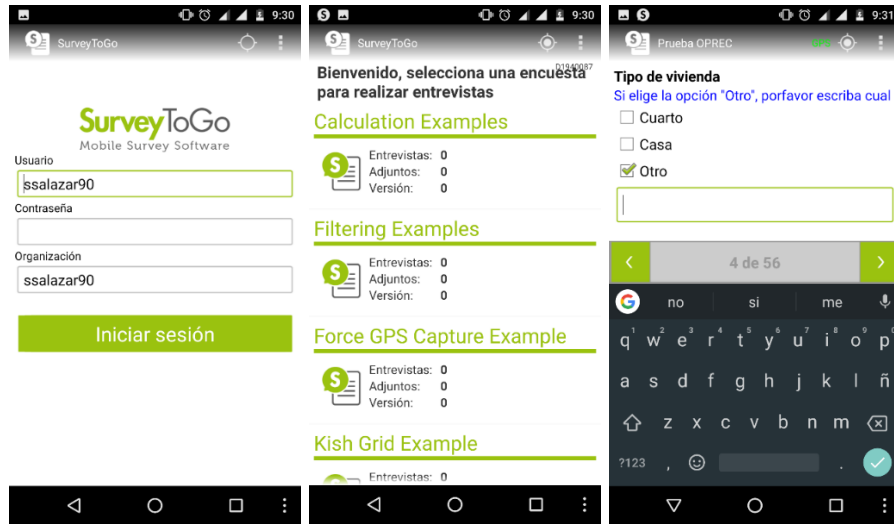


Figura 84. App SurveyToGo para Android.

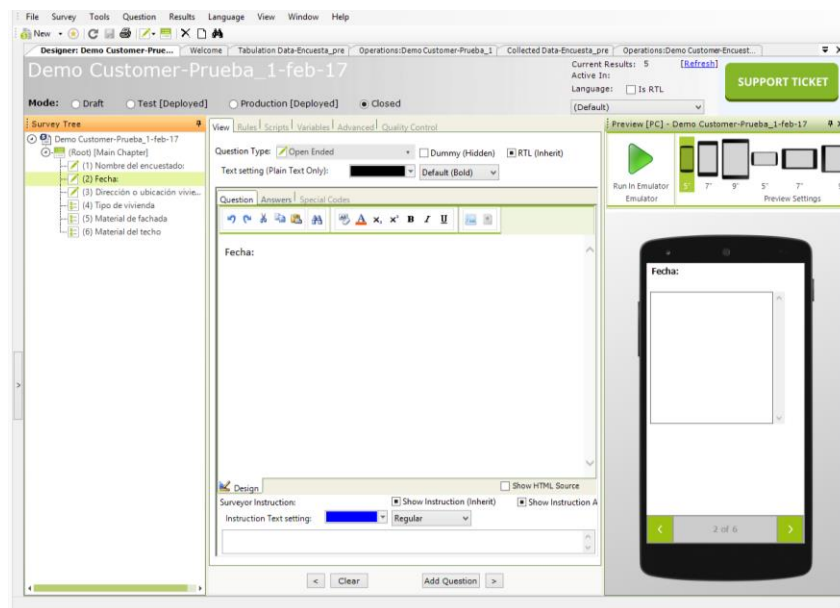


Figura 85. SurveyToGo para Windows.

6.1.8 Planeación ambiental

La planificación ambiental es “un proceso dinámico de planificación del desarrollo sostenible que permite a una región orientar de manera coordinada el manejo, administración y

aprovechamiento de sus recursos naturales renovables, para contribuir desde lo ambiental a la consolidación de alternativas de desarrollo sostenible en corto, mediano y largo plazo, acordes con las características y dinámicas biofísicas, económicas, sociales y culturales” (Ministerio de Medio Ambiente, 2017).

Se deben determinar los aspectos ambientales del proyecto de energización que afecten al ambiente, con el fin de elaborar una planeación ambiental, donde se determine las acciones a tomar para mitigar los impactos al entorno, no solo del proyecto de electrificación sino de todo proceso productivo que se genere alrededor de este.

Cabe resaltar que existen impactos indirectos producidos por el acceso al recurso eléctrico que afectan al medio ambiente, relacionado con los desechos que puedan generar los procesos productivos de la región, ejemplo: Si se creara una microempresa dedicada al expendio de bebidas con empaques de plástico o lata, no contar con un sistema de recolección o desechos de basuras, haría que se acumularan, contaminando el terreno donde se disponga, ocupando espacio que podría ser utilizado para otros fines o generando un lugar de proliferación de plagas, que afectaría a la comunidad.

Los proyectos productivos requieren de materiales y procesos para la manufacturación de los productos, los cuales pueden generar desechos que afectan de forma negativa el ambiente, es por esto que se debe crear un plan de manejo de basuras producidas por los procesos productivos, para mitigar los impactos negativos de la creación de proyectos productivos,

CONCLUSIONES

Las principales causas de fallas en los sistemas fotovoltaicos instalados en el municipio de Hato Corozal – Casanare, se presentan en tres componentes, el inversor, el regulador y baterías; 75% de los SFV que fallaron presentaron problemas en el inversor, 17% los tuvieron en el regulador y el 8% en las baterías.

En el inversor el 38% ocurrió debido a problemas en la tarjeta, 39% fue debido a daño en el display, 15% en el botón de encendido/apagado y el 8% por fallas en el transformador. Se propone hacer un análisis detallado de las posibles causas de fallas del equipo que más ha presentado problemas en su funcionamiento (como es el caso del inversor), ya que con un estudio experimental se podría saber por qué fallan los subcomponentes del mismo.

El desarrollo de la comunidad afectada por el acceso a la energía debe ser uno de los objetivos de la implementación de proyectos de electrificación rural, pues los proyectos llevados a cabo en zonas aisladas del territorio Colombiano han estado concentrados en el tipo de tecnología de generación a utilizar, priorizando factores como su inversión, costo de operación y mantenimiento, montaje o disponibilidad del recurso energético a transformar, mas no en el impacto que tenga la utilización de esta sobre el aumento de la calidad de vida de la comunidad, creando procesos productivos, los cuales generen ingresos de capital a la población.

El consumo máximo actual estimado para una vivienda ubicada en el Municipio de Hato Corozal (2,5 kWh/día) y los consumos reales de las fincas El Callao y Puerto Leticia, no superan el suministro de energía del SFV en el mes crítico, es decir, el sistema fotovoltaico tiene la capacidad de suplir sus demandas actuales de energía.

Igualmente, los perfiles de carga de las viviendas a las cuales se le tomaron medidas de carga real, tienen un comportamiento semejante a la de la curva propuesta en la sección 3 del capítulo de resultados del presente proyecto. El desempeño fotovoltaico está directamente afectado por la potencia a la cual esté conectado, por tal motivo es importante realizar un seguimiento de la evolución de las curvas de carga de la comunidad, con el fin de proyectar sus consumos futuros y determinar la capacidad de los sistemas de generación implementados de atender el aumento de la demanda.

El contar con acceso a la energía ha cambiado hábitos cotidianos de la comunidad como la hora de acostarse, aumentando en promedio 2,4 horas, sin embargo no vario la hora en la que se levantan a realizar sus actividades diarias.

Se concluye que aunque el proyecto ha traído cambios en los hábitos cotidianos de la comunidad, reemplazo de energéticos para la realización de diferentes actividades, disminución de la contaminación a en el ambiente de cada residencia y reducción en el tiempo y costos dedicados a la adquisición de combustibles fósiles, el proyecto no ha generado procesos productivos que sumen al desarrollo de la población.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Cadena. (2012). *Acciones y retos para energización de las ZNI en el país*. Bogotá D.C.
- Alcaldía de Hato Corozal. (2017). *Hato Corozal* . Obtenido de Información general : http://www.hatocorozal-casanare.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldía de Hato Corozal. (2017). *Mapas - Casanare*. Obtenido de http://www.hatocorozal-casanare.gov.co/mapas_municipio.shtml
- Álvarez, C., & Serna, F. (2012). *Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*. Medellín: CIDET, Unidad de Inteligencia Estratégica Tecnológica (uiet).
- Arias, A. (2017). *Enfoque para proyectos de electrificación rural*. Quito: OLADE. ENERLAC. Volumen I, Número 1 (6-23).
- Avella, R. (2014). *Evaluación de sistemas fotovoltaicos (SFV) autónomos para suministro de energía eléctrica en viviendas rurales de estrato 1 en el departamento de Casanare*. Yopal: Gobernación de Casanare. Secretarías de obras públicas y transporte. Oficina de asuntos Energéticos y de telecomunicaciones.

- Bello, C. (2011). Uso de sistemas solares fotovoltaicos para la electrificación rural en el norte Argentino, en un contexto de crisis energética mundial. *Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)*, Grupo Energías Renovables (GER).
- Bhatia, M., & Angelou, N. (2015). *Beyond Connections: Energy Acces Redefined. Technical Report 008/15*. Washington, DC: The World Bank, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).
- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. UNED.
- CONSENER S.A.S. (2016). *Evaluación técnica, ambiental y social de la electrificación con energía solar fotovoltaica para viviendas rurales aisladas en Hato Corozal Casanare*. UNISANGIL.
- DGS. (2013). *Planning and Installing Photovoltaic System*. 3 ed., New York: Routledge.
- Díaz, P. (2003). Confiabilidad de los sistema fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural. *Universidad Politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingeniero de telecomunicación*. , Tesis doctoral.
- Esteve, N. (2011). *Energización de las Zonas No Interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Maestría en Gestión Ambiental.
- FAO. (1994). *SESION II. CONTRIBUCION DE LOS SISTEMAS DENDROENERGETICOS OPTIMIZADOS AL DESARROLLO RURAL, A LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE Y AL COMBATE DE LA DESERTIFICACION (continuo)*. Obtenido de ENERGIACION PARA UN DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE: <http://www.fao.org/docrep/006/AD097S/AD097S08.htm>
- FEMP. (2015). *U.S. Department of Energy. O&M Best Practices For Small-Scale PV System*. Obtenido de <http://energy.gov/eere/femp/federal-energy-management-program>
- Figuroa, C., Parra, N., & Rodriguez, C. (2014). *Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares de familias de escasos recursos de la comuna de San Nicolás*. Facultad de ciencias empresariales. Chillán, Chile: Universidad del Bío-Bío.
- Fundación Pesenca. (2012). *Evaluación de sistemas fotovoltaicos en Colombia*. Bogotá: INEA. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas.
- Haney, J., & Burstein, A. (2013). *PV System Operation and Maintenance Fundamentals*. Solar Americaa Board for Codes and Standards.

- IDEAM. (2014). *Irradiación global horizontal medio diario anual. República de Colombia*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Ingelibre. (Noviembre de 2014). *Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica*. Obtenido de <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- IPSE. (2014). *Soluciones energéticas para las Zonas No Interconectadas de Colombia*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía. Energía Social Para La Prosperidad.
- Issa, D. (2013). *Estudio técnico - económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali*. Santiago de Cali: Pregrado, Universidad Autónoma de Occidente.
- Jawalakhel, L. (2012). *Impact Study of Karnali Ujyyalo*. Nepal: Government of Nepal (GoN). Alternative Energy Promotion Center (AEPIC). Technology and Rural Upliftment Service Team. (TRUST) Pvt. Ltd. .
- Macancela, L. (2012). *Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa ii Etsari*. Cuenca: Tesis de Licenciatura.
- Meier, P., Tuntivate, V., & Douglas, V. (2010). *Perú Encuesta Nacional de Consumo de Energía a Hogares en el Ambito Rural* . Perú: Unidad de Energía. Banco Mundial.
- Ministerio de Energía de Chile . (2016). *Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos*. Santiago: Programa techos solares públicos. Gobierno de Chile. Obtenido de http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SEC2005/ELECTRICIDAD_SEC/ERNIC/GENERACION_DISTRIBUIDA/LINKS_Y_NOTICIAS/TAB6243717/GUIA_OPERACION_MANTENIMIENTO.PDF
- Ministerio de Medio Ambiente. (2017). *Corporaciones Autónomas Regionales*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=885:planta-areas->
- NREL. (2015). *SACP Best Practices PV Operations & Maintenance*. Denver, Colorado: NREL.
- Pinzón, L. (2016). *Alternativa en el aprovechamiento de energía solar ante crisis energética en Colombia*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- PVTRIN. (2011). *Catálogo de fallos comunes y prácticas inadecuadas en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (WP2 - D2 D2.6, ver1)*. Intelligent Energy Europe.

- SIEL. (2016). *Cobertura de Energía Eléctrica a 2015*. Obtenido de Metodología UPME. Sistema de Información eléctrico Colombiano:
www.siel.gov.co/siel/portals/0/Piec/COBERTURA_2015_09-08-2016.xlsx
- Tecun. (2017). *Linyang - Tecun. Sistema AMI*. Obtenido de <http://ami.tecun.com/>
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. CONVENIO ATN/FM-12825-CO: MINMINAS, BID, fmam.
- XM S.A. E.S.P. (2017). *Informe general del mercado - Marzo 2017*. Obtenido de http://www.xm.com.co/Informes%20Mensuales%20de%20Anlisis%20del%20Mercado/00_General_Mercado_03_2017.pdf

ANEXOS

ANEXO A - INFORME DE FALLAS

Informe de Fallas Hato Corozal			
Fecha y hora del reporte			
Lugar de Instalación			
Municipio		Vereda	
Nombre Finca		UTM Norte	
Potencia Instalada (kW)		UTM Este	
Fecha de Instalación del Sistema		Temperatura (°C)	

ESTADO DE LOS EQUIPOS				
Sistema de Generación				
Equipo	Revisión	SI	NO	Reporte
Panel solar	Se encuentran todos los paneles solares			
	Acumulación de polvo o suciedad			
	Señales de deterioro en celdas			
	Rotura del cristal del modulo			
	Existencia de nidos de insectos			
	Oxidación en puntos de conexiones			
	Sombras que afecten la captación solar			
	Todos los paneles generan energía			
Cimentación y Soporte	Cimentación presenta grietas o roturas			
	Soporte metálico presenta golpes o abolladuras			
	Se producen movimientos en la base			
	Presenta corrosión el soporte, la estructura o puntos de tierra			
	Inestabilidad del soporte			
	Paneles bien fijados a la estructura			
	Posición correcta de los paneles en el soporte			


Sistema de Control				
Equipo	Revisión	SI	NO	Reporte
Regulador de Carga	Se encuentra el regulador			
	Funciona la señal lumínica del LED Solar del regulador			
	Funciona la señal lumínica del LED Batería del regulador			
	Señal lumínica de las baterías se encuentra en rojo			
	Señal lumínica intermitente Verde y Roja (Sobrecarga)			
	Funcionamiento del display de control			
	Rotura del cristal o display			
	Variables del panel de control normales (Voltaje de entrada 45 a 50 VDC)			
	Acumulación de polvo o suciedad			
	Conexiones libres de corrosión o suciedad			
	Regulador presenta golpes o abolladuras			
	Se encuentra fijo			
	Existencia de nidos de insectos			
Inversor	Se encuentra el inversor			
	Luces e indicaciones del equipo funcionan adecuadamente			
	Alarmas se encuentran apagadas			
	Existencia de ruidos extraños			
	Sufre de calentamiento excesivo			
	Se encuentra fijo			
	Acumulación de polvo o suciedad			
	Conexiones libres de corrosión o suciedad			
	Regulador presenta golpes o abolladuras			
	Ventilador se encuentra funcionando correctamente			
	Existencia de nidos de insectos			

Sistema de Almacenamiento				
Equipo	Revisión	SI	NO	Reporte
Baterías	Se encuentran todas las baterías			
	Consumo actual sobrepasa lo recomendado por el instalador			
	Acumulación de polvo o suciedad			
	Conexiones libres de corrosión o suciedad			
	Baterías presentan golpes o abolladuras			
	Existencia de nidos de insectos			
	Tensión del arreglo en serie/paralelo dentro de parámetros normales			
	Tensión de la batería dentro de parámetros normales (10 a 15 VDC)			

Instalaciones				
Equipo	Revisión	SI	NO	Reporte
Cableado	Cables y conductores con roturas o con daños visibles			
	Cables aéreos debidamente sujeto sin pesos que lo perjudiquen			
	Estado visual de empalmes y conexiones con daños visibles			
	Cajas de conexiones de barraje abren y cierran adecuadamente			
	Ductos sin roturas, abolladuras o signos de deterioro			
	Existencia de corrosión en el sistema de puesta a tierra			
	Señales y avisos deteriorados			

Reporte de Falla			
Tipo de falla	Mecánica ()	Eléctrica ()	Operativa ()
Falla reportada			
Causa de la falla			
Sistema de Generación ()	Sistema de Acumulación ()	Sistema de Control ()	Instalación ()
Acción Correctiva			

ANEXO B - ENCUESTA DE IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS Y ACCESO A LA ENERGÍA ELÉCTRICA

	Encuesta de impactos socioeconómicos y acceso a la energía eléctrica Febrero 14 de 2016
Esta encuesta busca medir el impacto de los sistemas solares fotovoltaicos en adelante llamados SFV, en las viviendas dispersas de Hato Corozal, Casanare beneficiadas con el proyecto de energización.	

Nombre encuestado:									
Fecha:		Día / Mes / Año							
Dirección o ubicación vivienda:									
EN CUANTO A SU HOGAR									
Tipo de vivienda									
Cuarto	()	Casa	()	Otro tipo. Cual. _____				()	()
Material de fachada									
Sin paredes	()	En zinc/cartón	()	En madera burda	()	Guadua o caña	()	Tapia	()
pisada/bareque	()	En bloque	()	Ladrillo o piedra	()	Otro	()		
Material del techo									
Paja	()	Zinc	()	Teja barro	()	Sin cielo raso	()	Placa cemento	()
Otro. () Cual. _____									
Material del piso									
Tierra	()	Cemento	()	Madera	()	Baldosa/gres	()	Piedra	()
Otro. () Cual. _____									
Servicio sanitario									
Letrina	()	Pozo séptico	()	Alcantarillado	()	Otros	()		

CARACTERÍSTICA DE LA CASA											
Tenencia											
Propia	()	Con hipoteca	()	Arriendo	()	Posesión	()	Invasión	()		
Otros usos diferentes a residencia											
Negocio	()	Tienda	()	Oficina	()	Subarriendo	()	Hospedaje	()	No hay otros usos	()
Tiene el servicio de:											
Acueducto	()	Alcantarillado	()	Teléfono	()	Recol. Basuras	()	Energía eléctrica	()		
Fuente de agua											
Pila pública	()	Pozo Profundo con Motobomba	()	Pozo Profundo sin Motobomba	()	Rio/quebrada	()	Agua Lluvia	()		

Área total del predio									
Área del terreno: _____					Área construida: _____				
Infraestructura diferente a vivienda									
Galpón	()	Trapiche	()	Saladero	()	Procesadores	()	Otro Cual. _____	()
Servicios que requiere la infraestructura									
Agua	()	Electricidad	()	Gas	()	Carbón	()	Combustible	()

ESTRUCTURA FAMILIAR					
Tipo de familia					
Nuclear	()	Extensa	()	Persona sola	()
N° de personas que viven en el hogar	Edad	¿Actualmente participa en alguna actividad educativa?	¿Cuánto tiempo dedica al estudio después de la instalación del SFV?	¿Cuántas de las horas anteriores son en la noche?	
		0. No 1. Educación pre-escolar (Kinder) 2. Primaria 3. Secundaria 4. Instituto superior/universidad 5. Educación para adultos	(Tiempo en horas al día)	(Tiempo en horas al día)	
1 (Entrevistado)					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

ECONOMIA DE LA FAMILIA									
Actividad económica del jefe del hogar									
Empleo	()	Independiente	()	Empleador	()	Desempleado	()	Jubilado	()
¿Qué procesa o produce en su vivienda?									
Pan	()	Artesanías	()	Prod. Leche	()	Dulces caseros	()	otros	()
¿Planea implementar alguna actividad productiva?									
Si	()	No	()	Cual. _____					

PARTICIPACIÓN CIUDADANA	
¿Participa en alguna organización comunitaria?	SI _____ NO _____
¿Existe Junta de Asociación de Usuarios de Energía?	SI _____ NO _____

MEDIOS DE TRANSPORTE						
Qué medio de transporte utiliza para acceder a su predio						
Aéreo	()	Fluvial	()	Terrestre	()	¿Si es terrestre indique cuál? _____
Que tiempo gasta del casco urbano a su predio _____						
En que se trasporta en invierno para ir a la cabecera municipal _____						
Cuanto tiempo gasta _____						

BIENESTAR					
Cree usted que la instalación de los SFV trajo consigo					
	Sí	No	No le afectó	Empeoró	NS/NR
Reducción de problemas oculares	()	()	()	()	()
Reducción de problemas respiratorios	()	()	()	()	()
Reducción de accidentes (quemaduras, incendios)	()	()	()	()	()
Reducción del tiempo dedicado a conseguir combustibles	()	()	()	()	()
En la noche, ¿hasta qué hora usaba la luz en su casa antes de los SFV					
Antes (velas, querosén, mechera, etc.):					
¿Y ahora que hay luz eléctrica?					
Ahora (Energía eléctrica):					
¿Respecto a las tareas del hogar como limpiar, cocinar, lavar la ropa etc. ¿Comparado con antes de la electrificación?			¿Considera que con la energía su nivel de vida ha mejorado?		
Es mucho menos trabajo	()				
Es menos trabajo	()		Mucho	()	
Es igual que antes	()		Algo	()	
Es más trabajo	()		Nada	()	
Es mucho más trabajo	()		Empeoró	()	
NS/NR	()		NS/NR	()	

USO DE ENERGÍA			
Antes. ¿Cuál o Cuáles energéticos utilizaba?			
Energético	Marque (x)	Frecuencia del uso Cuántas horas al día lo (la) utiliza	Cuales utilizaba para cocinar Marque (x)
Energía eléctrica	()		()
Gas propano	()		()
Gasolina	()		()
Kerosene	()		()
Leña	()		()
Residuos del agro	()		()
Otros	()		()
Ahora. ¿Cuál o Cuáles energéticos utiliza?			
Energético	Marque (x)	Frecuencia del uso Cuántas horas al día lo (la) utiliza	Cuales utiliza para cocinar Marque (x)
Energía eléctrica	()		()
Gas propano	()		()
Gasolina	()		()
Kerosene	()		()
Leña	()		()
Residuos del agro	()		()
Otros	()		()
¿Cómo ilumina actualmente la vivienda?			
Energético	Marque (x)	Horas de uso al día	

Velas	()					
Mechero (Derivado de petróleo)	()					
Mechero (Aceite animal)	()					
Bombillo (Energía eléctrica)	()					
¿Considera que con la instalación del SFV su ahorro en dinero ha aumentado?		Aparte de ese ahorro, gracias al SFV ¿Aumentaron sus entradas de dinero?				
Mucho	()	Mucho ()				
Algo	()	Algo ()				
Nada	()	Nada ()				
Ahorro menos que antes	()	Ahorro menos que antes ()				
NS/NR	()	NS/NR ()				
¿Cuántas horas al día escuchaba la radio y veía televisión antes de la instalación del SFV?						
	Nunca	Menos de 1	De 1 a 2	De 2 a 5	De 5 a 10	Más de 10
Radio						
Televisión						
¿Ahora, Cuántas horas al día escucha la radio y ve televisión?						
	Nunca	Menos de 1	De 1 a 2	De 2 a 5	De 5 a 10	Más de 10
Radio						
Televisión						
APLICACIONES PRODUCTIVAS						
¿Aprovecha la electricidad para realizar algún trabajo productivo en ámbito familiar?						
Sí	()	No	()			
¿Cuál? _____						
¿Lo haría si no hubiese electricidad?						
Sí	()	No	()	NS/NR	()	
SOSTENIBILIDAD						
Desde la instalación del SFV, ¿Usted ha tenido que efectuar aportes económicos extra?						
Sí	()	No	()			
¿Ha realizado algún aporte de trabajo extra en la reconstrucción o el mantenimiento del SFV?						
Sí	()	No	()			
¿Cuántas veces?						

IMPACTO EN SU MODO DE VIDA			
Personas adultas antes de instalar los SFV			
Hora de levantarse:		Hora de acostarse:	
Hijos antes de instalar los SFV			
Hora de levantarse:		Hora de acostarse:	
Personas adultas después de instalar los SFV			

Hora de levantarse:		Hora de acostarse:	
Hijos después de instalar los SFV			
Hora de levantarse:		Hora de acostarse:	

¿En qué actividad usa la iluminación de noche?									
Leer	()	Cocinar	()	Tejer	()	Pequeños negocios	()	Cultivar	()
Otro. Cual? _____									

TENENCIA DE EQUIPOS					
Módulos de equipos electrodomésticos					
	Antes	Ahora			
Equipo	Cantidad	Cantidad	Potencia	Uso h/día	Marca
Foco					
Ventilador					
Aire acondicionado.					
Plancha eléctrica					
Licuadaora					
Congelador					
Nevera					
Módulos de equipos electrónicos					
	Antes	Ahora			
Equipo	Cantidad	Cantidad	Potencia	Uso h/día	Marca
Radio grabadora					
Equipo sonido					
Televisor color					
Decodificador					
Televisor B/N					
Computador					
Impresora					
DVD					
Motobomba					
OTRO (ESPECIFIQUE): _____					

¿Tiene previsto adquirir equipos eléctricos?			
	Si	No	Cantidad
Bombillo	()	()	
Ventilador	()	()	

Aire acondicionado.	()	()	
Plancha eléctrica	()	()	
Licuada	()	()	
Congelador	()	()	
Nevera	()	()	
Radio grabadora	()	()	
Equipo sonido	()	()	
Televisor	()	()	
Decodificador	()	()	
Computador	()	()	
Impresora	()	()	
DVD	()	()	
Motobomba	()	()	
OTRO (ESPECIFIQUE): _____	()	()	

PERCEPCIÓN GENERAL					
En su opinión, ¿cuáles son los beneficios más importantes que les ha traído el SFV?					
¿Qué problemas han tenido con respecto al SFV?					
¿Está satisfecho con el servicio eléctrico? ¿Esperaba algo más del proyecto?					
¿Cree que la energía ha traído algún perjuicio para su comunidad?					
¿Usted cree que la contaminación del aire en su vivienda disminuyo?					
Sí	()	No	()	Sigue igual	()

ANEXO C – CATÁLOGO DEL MEDIDOR INTELIGENTE LY-SM100

SISTEMA AMI Advanced Metering Infrastructure
TECUN - LINYANG



Medidor Inteligente Monofásico LY-SM100 GPRS MODULE



Medida en 4 cuadrantes



Puerto Óptico



Conexión Directa



M-Bus



Grado de Protección



RS485



Perfiles de Carga



Registro de Alarmas



Medida bidireccional (Sistemas fotovoltaico)



Reloj en tiempo real



Registro de Eventos



Protocolo DLMS - COSEM



Multitarifa



Presición CL.1, CL.2



Conexión y desconexión remota



Modulo GPRS integrado

Tecun
Beyond Ideas

Tecun International Corporation
+1 (305) 735-2416
Miami, Florida, USA
info@tecun.com www.tecun.com

Tecnologías Unidas, S.A.S.
Cra. 31 No. 35-12. Oficina 704 Edificio Concasa
Teléfono: (7) 634-3414 Fax: (7) 634-2498
Bucaramanga - Colombia

Medidor Inteligente Monofásico LY-SM100

Funciones y Características

Funciones de medición

- Medición y grabación de energía activa y reactiva importada y exportada, 4 Cuadrantes.
- Medición, grabación y despliegue de voltaje, corrientes, factor de potencia, frecuencia y potencia por fases.
- Medición absoluta de energía activa, reactiva y potencia.
- Medición y grabación de demanda máxima.
- Grabación de datos diarios y mensuales para facturación previamente programados.

Funciones de Tarifas

- TOU (Time Of Use).
- Medición de energía hasta 8 tarifas, 4 estaciones, programación de semanas, etc.

Perfil de Carga

- Dos canales para perfiles de carga horaria de energía e instrumentación
- Perfiles separados para Sub-metering (M-Bus).

Comunicaciones

- Versión completa de DLMS-COSEM.
- IEC 1107.
- Modulo GPRS integrado al medidor.
- 3 Puertos de comunicaciones independientes:
 - Puerto Óptico
 - M-bus
 - RS485

Pantalla

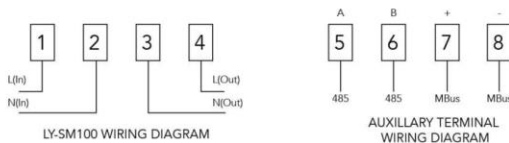
- Pantalla retroiluminada de larga duración.
- Despliegue de datos de energía activa, reactiva.
- Indicadores con iconos para funciones antifraude.
- Indicadores de fases.
- Despliegue de datos de instrumentación (voltaje, corriente, factor de potencia, frecuencia, etc.)
- Despliegue automático o manual de los datos en la pantalla.

Especificaciones

- Grabación de varios eventos antifraude como apertura de tapa principal y/o tapa bornera, presencia de campos magnéticos, etc.
- Respaldo de batería para desplegar los datos en la pantalla en situaciones de ausencia de tensión.
- Grabación de datos para calidad de energía.
- Dispositivo de corte y reconexión interno.
- Actualización de Firmware de forma remota.
- Reloj en tiempo real.

Este medidor forma parte de una solución AMI(Advanced Metering Infrastructure)

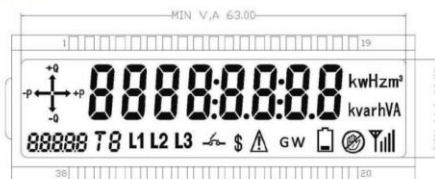
Diagrama de Conexión



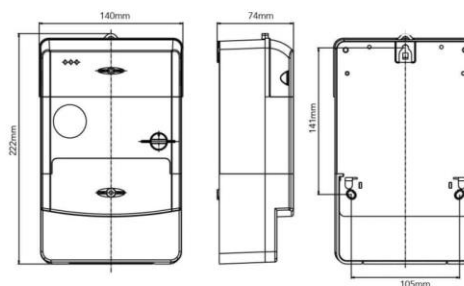
Especificaciones Técnicas

Cumple Estándares		IEC62052-11 IEC62053-21 IEC62053-23 IEC62056
Tipo de Conexión		1 Fases 2 Hilos
Voltaje Nominal		120v
Rango de Voltaje		60% ~ 130% Un
Corrientes	Básica	5A
	Máxima	80A
Frecuencia		60Hz
Precisión	Activa	1.0
	Reactiva	2.0
Constante		3200 Imp/kWh
Puertos de Comunicación	GPRS	✓
	RS485	✓
	M-Bus	✓
	Puerto Optico	✓
Protocolo de Comunicación		DLMS/COSEM
Grado de Protección		IP54
Temperaturas	Operación	-25°C ~ +60°C
	Limite	-45°C ~ +70°C
Dispositivo de Corte		Relay Interno

Display LCD



Dimensiones



info@tecun.com