INFORME FINAL DE PASANTIA CARACTERIZACIÓN DE LECCIÓN APRENDIDA A LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN ZNI - IPSE 1. PROBLEMÁTICA DE LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS DE LOS PROYECTOS DE GENERACIÓN

ASTRID JESSENIA BELLO TORRES
20152007046

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ D.C
2021

CARACTERIZACIÓN DE LECCIÓN APRENDIDA A LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS CENTRALES DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN ZNI - IPSE 1. PROBLEMÁTICA DE LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS DE LOS PROYECTOS DE GENERACIÓN

ASTRID JESSENIA BELLO TORRES
20152007046

INFORME FINAL MODALIDAD DE GRADO PASANTIA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERNO
DIEGO JULIÁN RODRÍGUEZ PATARROYO

DIRECTOR EXTERNO
Ing. ANDRÉS ESCOBAR DÍAZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
BOGOTÁ
2021

Tabla de Contenido

Resumen viii
1. Introducción 1
2. Planteamiento del Problema 2
3. Objetivos 4
3.1 Objetivos Generales 4
3.2 Objetivos Específicos 4
4. Estado del Arte 4
4.1 Antecedentes 6
4.2 Contexto Nacional 8
4.3 Energía Solar Fotovoltaica 11
4.3.1 Evaluación de proyectos de energía solar FV 13
4.3.2 Impacto de la Ley 1715 14
4.3.3 Estrategias para energía solar FV 16
5. Marco Referencial 17
5.1 Modelo de Lecciones Aprendidas 19
5.2 Fuentes de información para la recolección de Lecciones Aprendidas 20
5.2.1 Observación 20
5.2.2 Revisión Documental 21
5.2.3 Encuestas 21
5.2.4 Entrevistas 21
5.2.5 Divulgación de las Lecciones Aprendidas en un Proyecto 22
5.3 Sistemas Solares Fotovoltaicos 24
5.3.1 Energía Solar Fotovoltaica 25
5.3.2 Radiación Solar 26
5.3.3 Componentes de un sistema fotovoltaico 26
6. Metodología 28
7. Resultados 29
7.1 Evaluación de información sobre las metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares 29
7.2.1 Metodología de Lecciones Aprendidas 30
7.2.2 Caracterización del proceso de Lecciones Aprendidas 32
7.2 Desarrollar un instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE. 47
7.3 Identificación de los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica. 50
7.3.1 Marco Legal Energización Zonas No Interconectadas 53
7.3.2 Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 – IPSE 110 DE 2017 55
7.3.3 Factores Relevantes en la eficiencia de los Sistemas Solares Fotovoltaicos 56
7.4 Lecciones Aprendidas y divulgación para ser tenida en cuenta en los siguientes proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos. 70
7.4.1 Lecciones Aprendidas Selección de características técnicas de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos 75
7.4.2 Lecciones Aprendidas Rendimiento del colector térmico fotovoltaico (PVT) 76

7.4.3 Lecciones Aprendidas Esquema de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos 78
8. Análisis de Resultados y Productos 82
9. Alcances e Impactos del Trabajo 85
10. Evaluación y Cumplimiento de Objetivos 86
11. Conclusiones 87
12. Recomendaciones 88
13. Referencias 89
14. Anexos 96

Lista de tablas

Tabla 1. Valores de irradiación promedio para diferentes regiones del país, Fuente: (UPME, 2012) 12
Tabla 2. Costos de instalación de energía solar FV en Colombia (con IVA y aranceles), Fuente: (UPME, 2015) 14
Tabla 3. Valores de Externalidades para energía FV, Fuente: (UPME, 2015) 14
Tabla 4. Estrategias y líneas de acción para la solar FV en el SIN, Fuente: (UPME, 2015) 17
Tabla 5. Componentes de un sistema fotovoltaico, Fuente: Elaboración propia 25
Tabla 6. Antecedentes revisión literaria en bases de datos de Lecciones aprendidas., Fuente: Elaboración propia 35
Tabla 7. Análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en el instrumento Encuesta, Fuente: elaboración propia 48
Tabla 8. Componentes SSFH Localidad Remanso, Fuente: Autores 58
Tabla 9. Componentes SSFH Localidad Chorrobocon, Fuente: Autores 59
Tabla 10. Componentes SSFH Localidad Pueblo Nuevo, Fuente: Autores 59
Tabla 11. Componentes SSFH Localidad Laguna Colorada, Fuente: Autores 60
Tabla 12. Componentes SSFH Localidad Caranacoa, Fuente: Autores 60
Tabla 13. Eficiencia células monocristalinas, policristalinas y amorfas, Fuente: Elaboración propia 65
Tabla 14. Actores involucrados contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Elaboración propia 71
Tabla 15. Cronograma ejecución de contrato FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Tomado y Adaptado (MINMINAS, 2017) 72

Lista de figuras

Figura. 1 Caracterización de la Colombia No Interconectada corte 2020, Fuente: (IPSE, 2020) .. 5
Figura. 2 Caracterización de la Colombia No Interconectada corte 2020 a relación entre las viviendas que cuentan con el servicio de energía eléctrica y el total de viviendas existentes, Fuente: (IPSE, 2020)..... 5
Figura. 3 Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012)..... 8
Figura. 4 Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012) 9
Figura. 5 Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012) 9
Figura. 6 Capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre de 2014, Fuente: (UPME, 2012) 10
Figura. 7 Recurso solar en Colombia comparación frente a escenario global , Fuente: (IRENA, 2017) 12
Figura. 8 Costo nivelado de energía -LCOE- de energía solar FV en Colombia y en el mundo, Fuente: (UPME, 2015)..... 14
Figura. 9 Impacto de incentivos sobre proyectos solares de varias escala, Fuente: (UPME, 2015) 15
Figura. 10 Flujo de impuestos con diferentes políticas de incentivos para un proyecto de energía solar, Fuente: (UPME, 2015)..... 16
Figura. 11 Modelo propuesto por Symon y Jansen, Fuente: SYMON, Suzanne y JANCEN, Melanie. Integrating lessons learned throughout the product development process (Lessons & Helps, 2012)..... 22
Figura. 12 Modelo propuesto por NASA, Fuente: (Clawson & Oberhettinger, 2001)..... 23
Figura. 13 Modelo propuesto Rosina Weber, Fuente: (Weber, Aha, Muñoz-ávila, & Breslow, 2000) 23
Figura. 14 Modelo propuesto por Willis Thomas, Fuente: THOMAS, Willis. Project evaluation and lessons learned (2012), Fuente: (Gowrishankar, 2012) 24
Figura. 15 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y Adaptado (Ledesma, 2015) 30
Figura. 16 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016). 32
Figura. 17 Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016). 34
Figura. 18 Interacción de las entradas en el proceso de Lecciones Aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016)..... 35
Figura. 19 Formulario de encuesta orientado a los profesionales del IPSE involucrados en el proyecto, Fuente: Elaboracion propia..... 48
Figura. 20 Mapa potencial Eléctrico Fotovoltaico Colombia ,Fuente: SolarGIS 51
Figura. 21 Mapa Zonas No Interconectas Colombia , Fuente: IPSE 52
Figura. 22 Distribución geográfica SSFH en el Departamento del Guainía , Fuente: Elaboración propia 58
Figura. 23 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V, Fuente: Elaboración propia 62

Figura. 24 Irradiancia promedio municipio de Inírida – software de simulación fotovoltaico PVsyst Fuente: PVsyst 7.2.8. 63
Figura. 25 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V para diferentes valores de irradiación ficha técnica del fabricante, Fuente: Tomado y adaptado (RISEN SOLAR TECHNOLOGY, 2019). 64
Figura. 26 Curva de eficiencia para un inversor Sunny Tripower 5000TL – 12000TL, Fuente: Tomado y adaptado (Sunny Places, n.d.). 66
Figura. 27 Curva de numero de ciclos vs capacidad de las baterías estacionarias, Fuente: Tomado (Unit et al., n.d.). 67
Figura. 28 Eficiencia eléctrica total en función de la potencia eléctrica generada según catálogo, Fuente: Tomado y adaptado (Forero Núñez et al., 2014). 69
Figura. 29 Metodología caracterización de lecciones aprendidas proyecto de generación, Fuente: Autores. 74
Figura. 30 Geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado (Francisco et al., 2020) 77
Figura. 31 Curva de eficiencia, geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado (Francisco et al., 2020). 78
Figura. 32 Esquema de OAM de los sistemas híbridos fotovoltaicos propuesto por el OR EMELCE, Fuente: Autores 79
Figura. 33 Caracterización Energética De Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia, Fuente: Camara Colombiana de la Energia 84
Figura. 34 Evaluación y cumplimiento de objetivos , Fuente: Elboración propia 86

Resumen

El objetivo del presente documento es mostrar la caracterización de lección aprendida a la prestación del servicio de energía eléctrica en las centrales de generación fotovoltaica en ZNI, bajo la modalidad de pasantía a través del marco del convenio de cooperaciones 078 de 2017 establecido entre el IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuya investigación se enfoca en la eficiencia fotovoltaica de las máquinas de generación de los proyectos implementados por el IPSE para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI (zonas no interconectadas) del departamento del Guainía. Cubierto en el marco del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 - IPSE 110 de 2017.

En la pasantía se realizó la evaluación de información sobre las metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares, se elaboró un instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE, se reconocieron los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica y por último se documentó la lección aprendida orientada a la eficiencia fotovoltaica en los proyectos de generación desarrollados por el IPSE en este departamento a través de la redacción de dos documentos los cuales se componen de la siguiente forma: Informe final de pasantía donde se documenta la investigación de las lecciones aprendidas para la mejora de la eficiencia fotovoltaica de las unidades de generación de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas – SSFH implementadas por el IPSE en el departamento del Guainía y el desarrollo de un documento en convenio con el IPSE donde se concentran los resultados obtenidos y se divulga la lección aprendida.

1. Introducción

El 10 de noviembre de 2017, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas suscribieron el convenio Marco Especial de Cooperación 078 de 2017 cuyo objeto es "ESTABLECER LA COOPERACIÓN EN INNOVACIÓN TECNOLÓGICO CIENTÍFICA, TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, FINANCIERA Y OPERATIVA ENTRE EL INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS -IPSE- Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS PARA LA VALIDACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON FUENTES NO CONVENCIONALES RENOVABLES -FNCER- Y COMPLEMENTARIAS, A FIN DE OPTIMIZAR LOS CENTROS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y DEMÁS TEMAS DE INTERÉS COMÚN".

A partir del cual se concretó la intención de desarrollar temas de mutuo interés por medio del Grupo de Investigación XUÉ y Semillero de Investigación BARIÓN de la Facultad Tecnológica. Dentro de las áreas de cooperación que se plantean en el contexto del Convenio 078 de 2017 vigente, se encuentra el aporte académico de docentes, estudiantes de pregrado y postgrado vinculados a los grupos de investigación de la Universidad de manera que exista articulación con las necesidades del IPSE en torno a las Zonas No Interconectadas para la investigación de las FNCER, eficiencia energética, sostenibilidad de los proyectos, la evaluación del impacto social y la eco sostenibilidad.

El IPSE definió en su planeación estratégica el objetivo de lograr sinergias y maximizar impactos mediante la articulación del sector público y privado con una meta específica para el año 2020 asociada al intercambio de información, celebración de convenios de cooperación con la academia y los grupos de investigación.

En ese marco, la subdirección de Planificación Energética del IPSE, a partir de reuniones de trabajo con la dirección y coordinación del Grupo de Investigación XUÉ y Semillero de Investigación BARIÓN definen el tema de Caracterización de Lecciones Aprendidas en el proyecto de Construcción, instalación e implementación de soluciones de energía renovable y sostenible consistente en un sistema de generación de electricidad solar fotovoltaica SFV centralizado para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI del departamento del Guainía.

Bajo el marco del contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 IPSE 110 de 2017 y Contrato Interadministrativo de Interventoría No. 050 de 2010 asociado al Contrato de Concesión con exclusividad para la prestación de servicios de energía eléctrica en el área del Amazonas No. 052 de 2010.

Por lo anterior este documento plasma el trabajo realizado durante el periodo de pasantía el cual corresponde a una modalidad de grado para optar por el título de Ingeniera Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, llevada a cabo a través del convenio 078 de 2017 vigente entre el IPSE y la Universidad Distrital. La Caracterización de Lección Aprendida a la prestación del servicio de Energía eléctrica en las Centrales de generación Fotovoltaica.

2. Planteamiento del Problema

El 28 de junio de 2018, la Región Administrativa de Planeación Especial - RAPE Región Central y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas suscribieron el Convenio Marco de Cooperación interinstitucional 064 de 2018 cuyo objeto es "Aunar recursos humanos, técnicos, físicos y financieros para adelantar acciones conjuntas en temas de interés reciproco para cada una de las partes que serán definidos por el comité técnico", a partir del cual se concretó la intención de desarrollar temas de mutuo interés. El comité técnico del convenio marco de cooperación interinstitucional 064 de 2018 definió el sector energético como un tema estratégico para el desarrollo, tanto económico como social de la Región Central, razón por la cual se propuso planear, formular y desarrollar un proyecto en conjunto que permita elaborar estrategias en energía, eficiencia, generación y consumo de acuerdo con las necesidades de la región.

Para lograrlo se establecieron mesas de trabajo que permitieron definir el alcance y objetivo de interés mutuo para ambas entidades como lo fue la Recopilación y Unificación de la matriz energética para la Región Central, se acordó que los estudiantes participarían en calidad de pasantes no remunerados contratados a través del Semillero de Investigación BARIÓN cumpliendo los objetivos del convenio marco entre ambas entidades.

Los estudiantes que participaron en calidad de pasantes no remunerados en el desarrollo del proyecto Recopilación y Unificación de la matriz energética para la Región Central para la Región Central RAP-E concluyeron exitosamente su pasantía, algunos ya se graduaron como tecnólogos en Sistematización de datos y otros obtuvieron su grado en Ingeniería Eléctrica, Catastral y geodesia. En este proyecto participaron en modalidad pasantía no remunerada 9 estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

El 10 de noviembre de 2017, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas suscribieron el convenio Marco Especial de Cooperación 078 de 2017. A partir del cual se concretó la intención de desarrollar temas de mutuo interés por medio del Grupo de Investigación XUÉ y Semillero de Investigación BARIÓN de la Facultad Tecnológica. Dentro de las áreas de cooperación que se plantean en el contexto del Convenio 078 de 2017 vigente, se encuentra el aporte académico de docentes, estudiantes de pregrado y postgrado vinculados a los grupos de investigación de la Universidad de manera que exista articulación con las necesidades del IPSE en torno a las Zonas No Interconectadas para la investigación de las FNCER, eficiencia energética, sostenibilidad de los proyectos, la evaluación del impacto social y la eco sostenibilidad.

En ese marco, la subdirección de Planificación Energética del IPSE, a partir de reuniones de trabajo con la dirección y coordinación del Grupo de Investigación XUÉ y Semillero de Investigación BARIÓN definen el tema de Caracterización de Lecciones Aprendidas en el proyecto de Construcción, instalación e implementación de soluciones de energía renovable y sostenible consistente en un sistema de generación de electricidad solar fotovoltaica SFV centralizado para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI del departamento del Guainía.

Bajo el marco del contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 IPSE 110 de 2017 y Contrato Interadministrativo de Interventoría No. 050 de 2010 asociado al Contrato de Concesión con exclusividad para la prestación de servicios de energía eléctrica en el área del Amazonas No. 052 de 2010.

¿Qué lecciones aprendidas se pueden concluir para mejorar la eficiencia fotovoltaica en el proyecto de Construcción, instalación e implementación de soluciones de energía renovable y sostenible consistente en un sistema de generación de electricidad solar fotovoltaica SFV centralizado para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI del departamento del Guainía. Bajo el marco del contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 IPSE 110 de 2017 y Contrato Interadministrativo de Interventoría No. 050 de 2010 asociado al Contrato de Concesión con exclusividad para la prestación de servicios de energía eléctrica en el área del Amazonas No. 052 de 2010. el área exclusividad Amazonas – Departamento de Guainía, evaluando la eficiencia fotovoltaica de los sistemas solares en los proyectos de generación y que metodología se puede plantear para la buena gestión de las lecciones aprendidas?

Según lo establecido por la ley 1715 de 2014 en sus artículos 1 y 2, es deber del estado en cabeza de las entidades públicas del orden nacional, departamental y municipal desarrollar programas y políticas para asegurar el impulso y uso de mecanismos de fomento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético colombiano (Sampaio & González, 2017).

De acuerdo con el Informe de Rendición Social de Cuentas 2016-2017 del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) y el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) las ZNI representan aproximadamente el 52% del territorio colombiano y en ellas se encuentra una población estimada de 1.900.000 habitantes. Estas zonas se encuentran compuestas por un departamento insular (Archipiélago de San Andrés y Providencia), cuatro capitales departamentales (Amazonas, Vichada, Guainía y Vaupés), 17 departamentos, 97 municipios, 37 cabeceras municipales y 1.728 localidades (Superservicios, 2017)

Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE), la región amazónica , es una de las zonas del país con más rezago en el servicio de energía eléctrica. IPSE menciona que, en Guainía , 600 poblaciones no están interconectadas a una red eléctrica (aún se iluminan con velas). Los otros departamentos que le siguen son: Nariño (600), Chocó (509), Cauca (189), y el Valle del Cauca (81). En total, en Colombia hay 1.710 localidades rurales en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día (Cardona, 2019).

En este sentido, La implementación de fuentes no convencionales de energía surge como una solución energética, social y económica que promueve la calidad de vida de los habitantes del departamento , el desarrollo económico-social y la innovación en tecnologías mediante

el uso de energías renovables en zonas no interconectadas el estudio de alternativas basadas en Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) y su eficiencia energética podría brindar una solución de energización aprovechando los recursos renovables abundantes en la región y que al mismo tiempo es amable con el medio ambiente. Particularmente, la Energía Solar Fotovoltaica (SFV) ha tenido gran acogida y ha sido probada exitosamente en países como Alemania, España, Estados Unidos, Italia y Corea del Sur, donde se han utilizado como generación alternativa de energía en áreas alejadas de la red principal, o para mitigar el fenómeno del calentamiento global y contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero(Cortés & Cabrera, 2014).

3. Objetivos

3.1 Objetivos Generales

Caracterizar una lección aprendida aplicada a la prestación de servicio de Energía entorno a la Eficiencia en los sistemas eléctricos con base en tecnología solar fotovoltaica de los proyectos de generación, esto a través del convenio marco especial de cooperación No 078-2017 existente entre la UD y el IPSE.

3.2 Objetivos Específicos

1 Evaluar información sobre los modelos y metodologías existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de eficiencia en los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos.

2 Desarrollar un instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE.

3 Identificar los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica.

4 Analizar los elementos que deben componer la lección aprendida y divulgarla para ser tenida en cuenta en los siguientes proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos.

4. Estado del Arte

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas - IPSE, atiende las necesidades energéticas de los habitantes que no cuentan con este servicio; con el fin de identificar, implementar y monitorear soluciones energéticas sostenibles con criterios de eficacia, eficiencia y efectividad en las Zonas No Interconectadas-ZNI, mejorando las condiciones de vida de sus pobladores, construyendo paz y equidad en el país, a su vez impulsando el uso de las energías renovables con el fin de que Colombia goce de energías limpias y aporte a la meta sectorial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para Colombia (IPSE, 2020).

Las Zonas No Interconectadas – ZNI son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (Artículo 1 de la Ley 855 de 2003), cuya caracterización se observa en las Figuras 1-2.

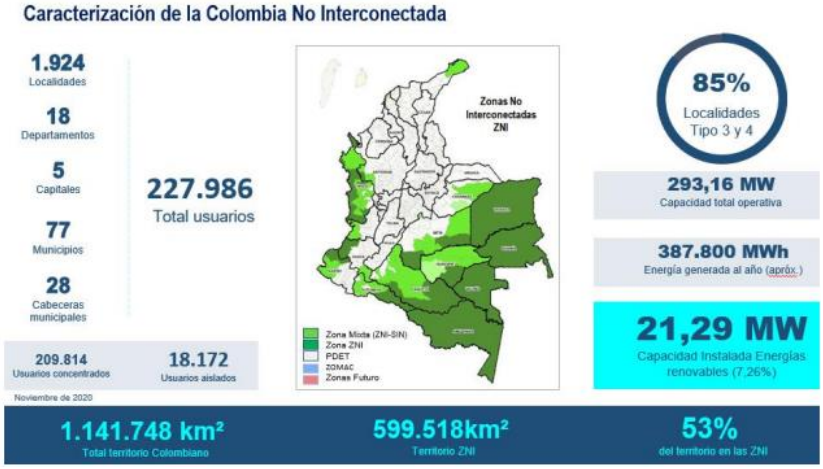


Figura. 1 Caracterización de la Colombia No Interconectada corte 2020, Fuente: (IPSE, 2020)

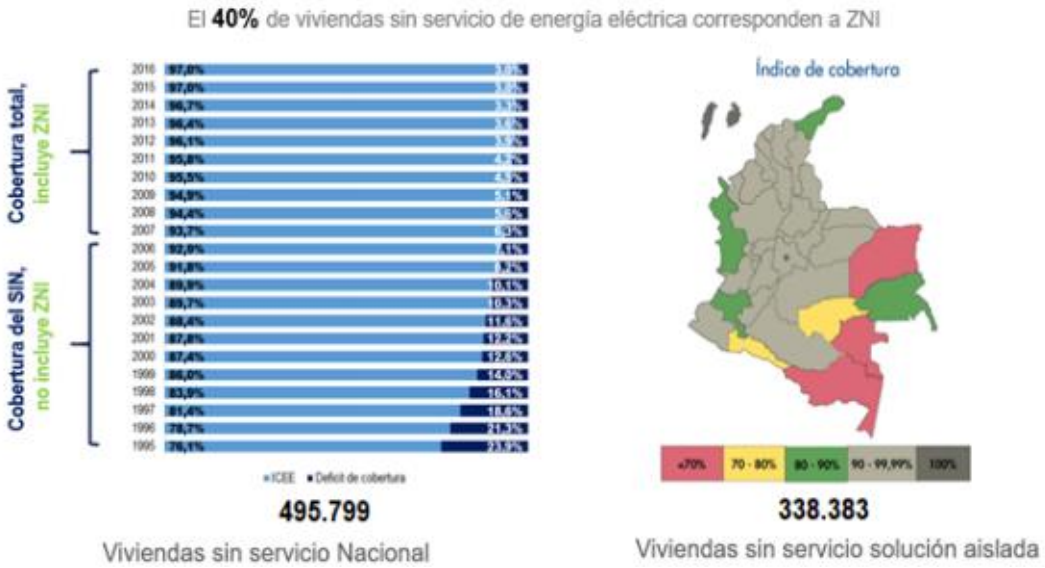


Figura. 2 Caracterización de la Colombia No Interconectada corte 2020 a relación entre las viviendas que cuentan con el servicio de energía eléctrica y el total de viviendas existentes, Fuente: (IPSE, 2020)

Aproximadamente un 78% de la energía consumida hoy en día en Colombia proviene de fuentes fósiles, mientras que el 22% restante proviene de fuentes renovables. La disponibilidad local de FNCER aun no aprovechadas, sumada a la progresiva reducción en los costos asociados a su uso y la evolución de las tecnologías relacionadas, hacen que la integración de estas fuentes a la canasta energética nacional cobre relevancia a raíz de sus potenciales beneficios (UPME, 2015).

Aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables. Actualmente, estas últimas se encuentran asociadas principalmente con el uso tradicional de la biomasa en aplicaciones como la leña para cocción de alimentos y calentamiento de espacios, y la hidroenergía para generación

eléctrica. En una menor medida, se aprovecha la energía proveniente de fuentes como el sol, la geotermia y la biomasa para su conversión en energía térmica a través del uso de tecnologías relativamente modernas, seguidas de estas y otras fuentes como la eólica para la generación de energía eléctrica. Finalmente, se suman al aprovechamiento de fuentes renovables el uso de biocombustibles en el sector transporte y tecnologías en etapas incipientes de desarrollo como es el caso de la energía de los mares en forma de mareas, oleaje, gradientes térmicos o gradientes salínicos (Henner & REN21, 2020).

La dependencia mundial en el petróleo, el carbón, el gas natural y aun en los combustibles nucleares, como recursos fósiles disponibles en cantidades que pueden ser consideradas relativamente abundantes pero finitas, y las coyunturas económicas y geopolíticas asociadas, con su distribución geográfica y su dominio, han generado en muchos países la necesidad de iniciar una transición hacia el uso de recursos energéticos de carácter renovable, que a su vez contribuyan a la reducción de emisiones de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático que viene experimentando el planeta. En tal contexto, China, Alemania, España y Estados Unidos, se consolidan hoy en día como países pioneros en el desarrollo de las mayores capacidades instaladas en tecnologías para el aprovechamiento de la energía hidráulica, eólica, solar, geotérmica y de las biomasas, como fuentes de origen renovable que hacen su aporte en el proceso de transición planteado en lo que a la generación de energía eléctrica se refiere (Umaña, 2019).

4.1 Antecedentes

A continuación, se referencian, en orden cronológico, los estudios desarrollados por diversos autores en lo relacionado con el desarrollo rural, la eficiencia energética y las energías no convencionales con el fin de identificar los modelos implementados y aportes que contribuyeron en el desarrollo de este informe final de pasantía “Caracterización de Lección Aprendida a la prestación de servicio de Energía eléctrica en el departamento de Guainía región amazonia – IPSE . Problemática de la Eficiencia Fotovoltaica de los proyectos de generación”.

En el año 2003 se realizaron los primeros análisis de la importancia en América Latina de la eficiencia energética y las energías renovables donde se evidenciaba un potencial importante para mitigar los efectos negativos del consumo energético se resaltó la necesidad de dar a la eficiencia energética y a las energías renovables un lugar más prominente en las políticas energéticas de los países de América Latina (Altomonte, Coviello, & Lutz, 2003), En el mundo y especialmente en los países subdesarrollados, gran parte de la población vive en zonas no interconectadas. Debido a esto, los gobiernos y numerosas ONGs realizaron grandes esfuerzos en formular e implementar políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo y energización rural, basados en la idea que con energía, las comunidades podrán disfrutar de una mejor calidad de vida, incrementando significativamente las oportunidades de desarrollo para su región (Henao, Dyner, Aristizábal, & Alvarez, 2003).

La sostenibilidad es una base fundamental de estudio de los países en especial en Colombia donde se investigó la correcta asignación de recursos que pueden ser utilizados para generar energía a un bajo costo, cuando se hace uso de tecnologías apropiadas las energías renovables suelen ser la opción más accesible para los pobres (Velo, Sneij, & Delclós, 2006), En argentina se hace

necesario diferenciar entre electrificación y energización mediante el proyecto PERMER con el objetivo de propender el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas así buscando soluciones a las problemáticas de conexión aumentando el porcentaje de electrificación (95%), pero una proporción importante de su población rural (30%) carece de servicio eléctrico (Cadena, 2006), En España la eficiencia aplicada a la energía, tiene una importante dimensión anfibológica que no sólo es beneficiosa para el medio ambiente, sino también para las pequeñas economías domésticas España buscaba administrar la eficiencia energética a nivel escala (Luxan, 2007) , En el contexto europeo se hicieron artículos técnicos donde se evidencia que la eficiencia debe ser catalogada como el más importante recurso que se dispone para asegurar el abastecimiento energético de un país (Poveda, 2007).

Las Energías Renovables o Energías no convencionales se convirtieron en la única opción factible para la satisfacción de las necesidades energéticas en regiones rurales de América Latina, Asia y África dando una transición interesante: desde servicios energéticos primitivos e ineficientes hasta sistemas sustentables modernos (Open, 2010), En Colombia la falta de energía dentro del territorio rural incide de manera negativa en las condiciones de calidad de vida de los habitantes y labores que influyen en el desarrollo rural, el uso de energía en los espacios rurales se relaciona con el consumo de combustibles fósiles empleados en maquinaria, equipos agrícolas y como insumo doméstico en la cocción de alimentos mediante el proyecto vereda Carupana, municipio de Tauramena en el departamento de Casanare se implementaron paneles solares fotovoltaicos en busca de compensar la demanda energética en el departamento (Ladino, 2011).

El área rural china ha experimentado cambios profundos en la estructura de energización se evaluaron los efectos de estos cambios en la estructura sobre la eficiencia del consumo de energía en el área rural china mediante modelos de análisis que permitieron avances en el algoritmo de energización (Li & Jing, 2011), En la Universidad de Arizona se construyó un modelo combinado de microrredes de enfriamiento, calefacción y energía (CCHP) para mejorar la eficiencia del sistema energético en zonas rurales Gestión óptima de la energía de un sistema rural de microrredes utilizando optimización de objetivos múltiples (Zhang, Sharma, & He, 2012). La correcta planificación del suministro energético y la gestión de demanda permitirá conseguir un equilibrio óptimo entre los recursos disponibles en generación y las cargas que demandan energía propuesto en una tesis doctoral de la universidad de valencia en España (Muñoz, 2012).

En el año 2014 se presenta un documento sobre evolución de los programas y acciones nacionales relacionadas a la promoción y desarrollo de la eficiencia energética en los 27 países de América Latina y el Caribe miembros de la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE) (Kreuzer & Wilmsmeier, 2014), El Centro de Energía Rural, Gandhigram realizo un estudio de la combustión eficiente de combustible con un exceso de aire mínimo para quemar el combustible por completo es esencial para la conservación de la energía y su implementación en zonas rurales con protocolos pertinentes para mejorar la eficiencia energética (Chantrabose, Kayalvizhi, Murugan, Karpagavalli, & Kirubakaran, 2016).

En Colombia la dificultad de un acceso confiable de suministro de energía para una vivienda rural se centra esencialmente en gas para la cocción de alimentos; energía para iluminación; comunicaciones y agua potable (Pinilla, 2016),El uso de energía renovable en el Perú son una alternativa económicamente competitiva que puede contribuir al desafío de superar los niveles

de pobreza energética especialmente en las zonas rurales del país (Escobar Portal et al., 2016). Colombia es un país que, a pesar de su riqueza natural, ha centralizado sus fuentes energéticas, en métodos convencionales cómo las hidroeléctricas y combustibles fósiles entre esas características favorables se encuentra su gran potencial energético solar (Pinzón, 2016).

La División de recursos naturales e infraestructura CEPAL se centró en la búsqueda por energía asequible y no contaminante forma parte de los 17 objetivos de desarrollo sostenible adoptados por las Naciones Unidas en septiembre del 2015 mediante movilidad eléctrica se busca interconectar la Amazonia en Colombia (Jaimurzina, 2017), se realizaron investigaciones sobre el Modelo de Desarrollo Rural propuesto por la Corporación Héritage en Colombia teniendo en cuenta variables en la producción de alimentos, la población campesina y los requerimientos de la población total en un territorio determinado (Mózo, 2017), otras investigaciones de carácter relevante fueron realizadas por la Universidad Politécnica de valencia sobre viviendas aisladas para mejoramiento de eficiencia energética en Valencia (Bari & Conformità, 2017).

En los últimos años en Colombia la implementación de programas de electrificación en las zonas rurales colombianas se ha enfrentado a diversos obstáculos, entre los que se destaca la inadecuada selección de criterios para valorar la pertinencia de los proyectos de eficiencia energética (Robles-Algarín, Taborda-Giraldo, & Ospino-Castro, 2018).

4.2 Contexto Nacional

Colombia es un país que goza de una matriz energética relativamente rica tanto en combustibles fósiles como en recursos renovables. Actualmente, la explotación y producción energética del país está constituida a grandes rasgos en un 93% de recursos primarios de origen fósil, aproximadamente un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos como se observa en la Figura. 3. De esa explotación primaria, el país exporta aproximadamente un 69%, principalmente en forma de carbón mineral (aprox. el 94% del producido, representando el 62% de las exportaciones energéticas) y petróleo (aprox. el 66% del producido, representando el 36% de las exportaciones energéticas), y utiliza un 31% del cual, cerca del 78% corresponde a recursos fósiles y el 22% a recursos renovables como se observa en la Figura. 4.

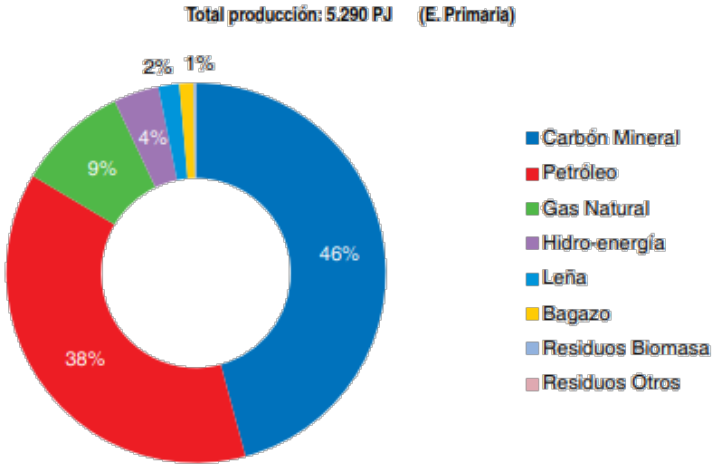


Figura. 3 Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012)

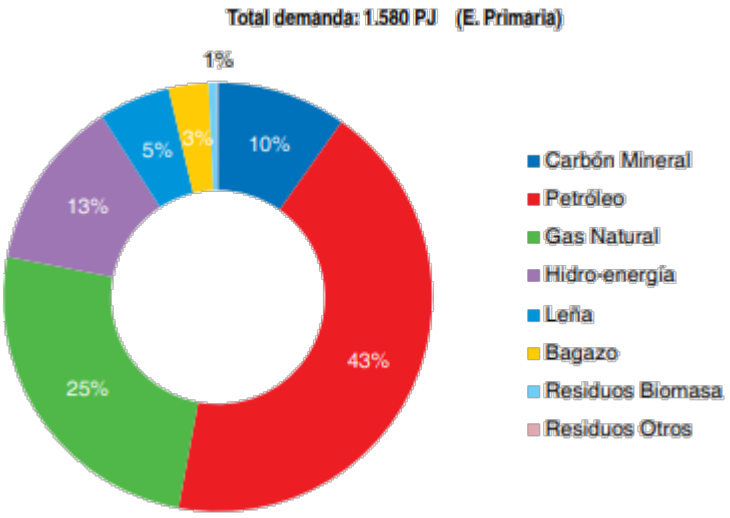


Figura. 4 Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012)

En vista de dicha consideración, vale la pena tener en cuenta que los usos de los energéticos mencionados (petróleo y gas natural) se encuentran principalmente concentrados en los sectores de consumo correspondientes al transporte y la industria Figura. 5, para prestar servicios de transporte y calor útil, seguidos del uso del gas natural para la generación de energía eléctrica.

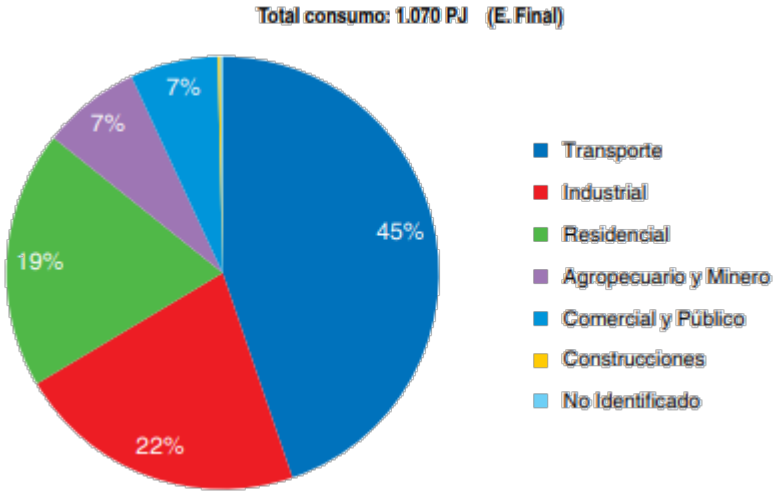


Figura. 5 Demanda interna de recursos energéticos primarios en el año 2012, Fuente: (UPME, 2012)

Entre tanto, la matriz eléctrica, que produce aproximadamente un 17% de la energía final consumida en el país, cuenta con la amplia participación de la energía hidroeléctrica como recurso renovable, que representa entre el 70% y 80% de la generación, según variaciones en la hidrología anual, y el 70% de la capacidad instalada a diciembre de 2014.

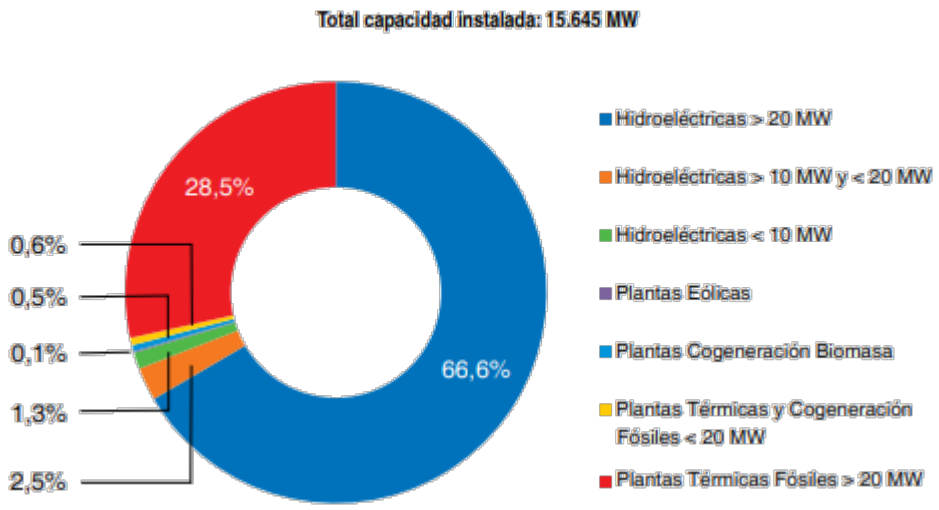


Figura. 6 Capacidad de generación eléctrica del SIN a diciembre de 2014, Fuente: (UPME, 2012)

En el año 2010, el Ministerios de Minas y Energía estableció a través de la adopción del Plan de acción indicativo 2010-2015 del Programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales –PROURE– (Resolución MME 18-0919 de 2010), metas indicativas para lograr una participación del 3,5% de FNCER en términos de la capacidad instalada del Sistema interconectado nacional –SIN– para el año 2015, e incrementar dicha participación al 6,5% para el año 2020. De acuerdo con cifras disponibles a diciembre de 2014, a tal fecha, la participación de FNCER en el SIN es del 2,71% en capacidad instalada, hecho que obedece a las barreras existentes para la mayor penetración de estas fuentes y a la ausencia de instrumentos y líneas de acción definidas para el cumplimiento de tales metas. Sin embargo, en lo que al año 2020 respecta, se consideran las expectativas y proyecciones de incremento de la participación de las FNCE, o más específicamente de las FNCER, para ese año y hasta el año 2030, las cuales podrían ser alcanzadas de tenerse en cuenta las recomendaciones planteadas en este documento y de trabajar conjuntamente entre los sectores privado y público por lograr los beneficios que se plantean (Poschen & Renner, 2015).

Así mismo, la Resolución MME 18-0919 de 2010 estableció metas equivalentes para el caso de las Zonas no interconectadas –ZNI–, consistentes en una participación de 20% y 30% de FNCE en las capacidades de generación allí instaladas, para los años 2015 y 2020, respectivamente. Al año 2014, las cifras que maneja el IPSE sugieren la existencia de 167 MW en capacidad instalada y 151 MW disponibles, distribuidos en unas 1.269 plantas de generación (IPSE, 2014), en tanto que para el año 2013 se reporta se tenían 16,33 MW de capacidad instalada en FNCE (IPSE, 2013), con lo cual se podría hablar de un orden de participación del 10,8%.

La principal razón para el relativo subdesarrollo de las FNCER en Colombia radica en que, hasta el momento, a raíz de los costos de inversión asociados, un contexto energético de relativa abundancia de recursos convencionales ligado a una fuerte participación de hidroenergía en la matriz eléctrica, sumado a dificultades socioculturales y políticas para el ejercicio de acciones dirigidas a producir resultados de largo plazo, el Gobierno Nacional y los tomadores de decisiones del sector energético no han enfrentado la necesidad de trazar una hoja de ruta o definir una estrategia para el aprovechamiento de los recursos energéticos de origen renovable que se tienen disponibles. Es así como a pesar de haberse fijado algunas metas indicativas para la

participación de estas fuentes en la canasta eléctrica, estas no se han cumplido, a raíz de la ausencia de instrumentos conducentes a tal propósito, que ha obedecido a su vez a la inexistencia de una política firmemente establecida que apoye y promueva el desarrollo y utilización de estas fuentes.

Sin embargo, esta situación se encuentra ante una coyuntura sin precedentes con la expedición de la Ley 1715 de 2014, que sumada al interés de diversos actores comerciales, emprendedores, académicos, institucionales y el apoyo recibido especialmente de entidades multilaterales como el BID, el FMAM, la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional –USAID–, el Banco Mundial –BM–, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD–, y otras agencias interesadas en promover el despliegue de estas tecnologías en América Latina y especialmente en Colombia, permiten pronosticar un acelerado crecimiento de las FNCER en los próximos años.

Colombia, por la composición de su industria y su economía, no se caracteriza por ser un desarrollador de tecnologías. Sin embargo, en los últimos 30 años ha logrado acopiar cierta experiencia en lo que a las tecnologías **solar fotovoltaica** y solar térmica se refiere, al igual que en el aprovechamiento energético de biomasas particulares como el bagazo de caña para efectos de cogeneración, y en el desarrollo de al menos un par de proyectos demostrativos con energía eólica (IPSE, 2020).

4.3 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar hoy en día representa la segunda fuente avanzada de energía renovable de mayor penetración en el mundo, después de la eólica, con una producción que equivale a entre 0,85% y 1% de la demanda mundial de electricidad (Beltrán-Telles, Morera-Hernández, López-Monteagudo, & Villela-Varela, 2017), lograda a través de una capacidad instalada de 139 GW a 2013. En el año 2013 está tecnología superó por primera vez en términos de crecimiento a la energía eólica con un incremento en la capacidad instalada de 39 GW (frente a 35 GW de eólica), presentando a la vez un crecimiento promedio del 55% anual para los últimos 5 años. Países como Alemania, China e Italia lideran los mercados de la energía solar contando con capacidades instaladas del orden de 36, 19 y 18 GW, respectivamente (UPME, 2015).

Los precios reales evidenciados en el mercado internacional, los costos de producción y los precios de la tecnología solar SFV han decrecido de manera considerable en los últimos 10 años y más drásticamente en los últimos 4 años. En el caso de Colombia las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 $kWh/m^2/d$ (Sostenible et al., 2013), la cual supera el promedio mundial de 3,9 $kWh/m^2/d$, y está muy por encima del promedio recibido en Alemania (3,0 $kWh/m^2/d$) (Walker, 2012), país que hace mayor uso de la energía solar SFV a nivel mundial, con aprox. 36 GW de capacidad instalada a 2013 (Henner & REN21, 2020). Como muestra la Figura. 7, si bien recursos como los de regiones como África, el Medio Oriente o Australia superan, en términos generales, el recurso disponible en Sur América, este representa buenos niveles de irradiación solar, ante todo en comparación con los países nórdicos, y en el caso de Colombia y los países ecuatoriales se

cuenta con la ventaja de tener un buen recurso promedio a lo largo del año al no experimentar el fenómeno de las estaciones.

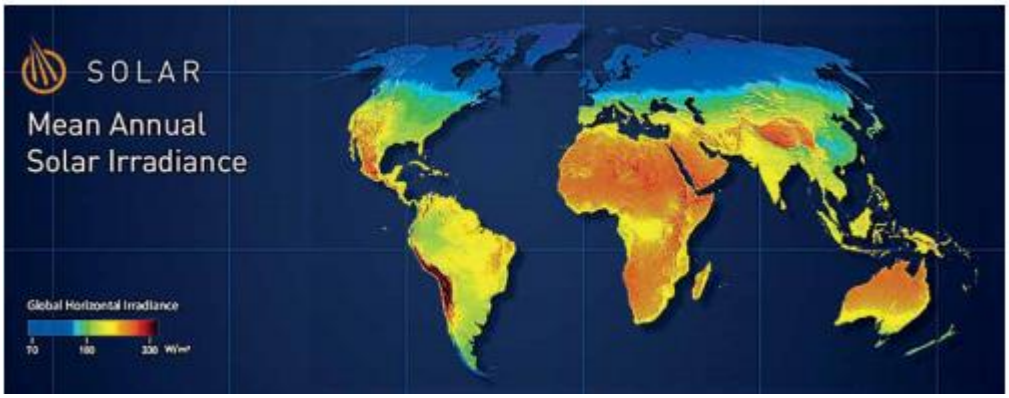


Figura. 7 Recurso solar en Colombia comparación frente a escenario global , Fuente: (IRENA, 2017)

De acuerdo con el Atlas de radiación solar, regiones particulares del país como son La Guajira, una buena parte de la Costa Atlántica y otras regiones específicas en los departamentos de Arauca, Casanare, Vichada y Meta, entre otros, presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional que pueden llegar al orden de los 6,0 kWh/m^2/d, recurso comparable con algunas de las regiones con mejor recurso en el mundo como es el caso del desierto de Atacama en Chile o los estados de Arizona y Nuevo México en Estados Unidos (Fu, Feldman, & Margolis, 2018). Por otro lado, regiones como la Costa Pacífica reciben niveles por debajo del promedio, los cuales sin embargo siguen estando, por ejemplo, por encima de los niveles anuales promedios recibidos en Alemania. La Tabla 1. presenta los valores de irradiación promedio para diferentes regiones del país.

Tabla 1. Valores de irradiación promedio para diferentes regiones del país, Fuente: (UPME, 2012)

Región	Promedio Irradiación (kWh/m^2/d)
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquia	4,5
Amazonia	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

De estimaciones realizadas por (UPME, 2018), al año 2010 en Colombia debían existir alrededor de 9 MWp de capacidad solar fotovoltaica instalada, correspondientes a sistemas privados, aplicaciones profesionales y soluciones en Zonas No Interconectada. su mayor parte por sistemas de baja capacidad, inferior al orden de 10 kWp. Adicionalmente, de los últimos años se tiene información de la instalación de un buen número de sistemas de capacidades superiores a los 10 kWp (algunos del orden de varios cientos de kWp) tanto en ZNI como en los sectores comercial e industrial. Actualmente, a través del nuevo Sistema de gestión de información y conocimiento en FNCER de la UPME, se está realizando la gestión necesaria para inventariar este tipo de proyectos a través de su registro voluntario por parte de los desarrolladores, instaladores y usuarios interesados en compartir tal información con el público general.

Se tienen varias razones que llevan a considerar en la energía solar SFV un nicho de oportunidad con potencial para brindar beneficios importantes al sector energético nacional. Primero que todo están los costos decrecientes de la tecnología, en especial de los módulos o celdas solar FV, que han llevado a que el costo nivelado de la energía solar FV hoy en día resulte competitivo en algunos casos con las tarifas del mercado minorista de energía eléctrica, especialmente a niveles comercial y residencial. Por otra parte, a través de la implementación y masificación de pequeños sistemas de autogeneración distribuida se pueden lograr impactos positivos, como son el permitir a los usuarios generar su propia energía, reduciendo así el riesgo de los usuarios a estar sometidos a cierta volatilidad y usuales incrementos en los costos de electricidad. De igual manera, el uso de la energía solar FV está en capacidad de producir un desplazamiento marginal de la generación de plantas térmicas de mayor impacto ambiental, teniendo en cuenta que de acuerdo con los análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías, los factores de emisiones asociados con los sistemas solar FV se encuentran en el orden de 50 kg CO^2 eq/MWh, frente a valores por encima de 450 kg CO^2 eq/MWh para plantas operadas con combustibles fósiles (UPME, 2015).

Finalmente, a través de la promoción de esquemas de autogeneración a pequeña escala, que se facilitan gracias a la versatilidad en materia de modularidad y fácil instalación de la tecnología solar FV, siendo esta una tecnología accesible, al menos a aquel público que hoy en día paga las más altas tarifas de energía en el país, se podrá empezar a dar lo que hoy se conoce como la democratización del mercado de energía, en la medida en que los usuarios entrarían a participar activamente del mismo con la posibilidad de convertirse en productores y, eventualmente, en vendedores de excedentes a su comercializador o a terceros interesados en su consumo (UPME, 2015).

4.3.1 Evaluación de proyectos de energía solar FV

El modelo solar desarrollado permite analizar tres categorías distintas de instalaciones fotovoltaicas: residencial, comercial y a gran escala. Las categorías se distinguen por la escala de los proyectos y los costos, en tanto que los proyectos de energía solar FV a gran escala incluyen el costo de interconexión considerando líneas de alto voltaje.

Para efectos de los análisis que conducen a los resultados acá presentados, la generación eléctrica bruta anual se determina utilizando irradiación solar promedio de 4,5 kWh/m^2/d y capacidades instaladas de 3 kWp, 500 kWp y 5 MWp para las tres escalas consideradas, y correcciones por pérdidas y otros con un factor de rendimiento de 0,84. Actualmente, la tecnología solar fotovoltaica no es competitiva en Colombia, pues los costos de estas instalaciones son aún más altos comparados con la mayoría de países que tienen una industria solar desarrollada, como es el caso de los países europeos (UPME, 2015).

Los costos de instalación de energía solar fotovoltaica son similares a los de Estados Unidos de América. De acuerdo con las escalas consideradas, los costos utilizados en los análisis para este caso corresponden a los promedios presentados en la Tabla 2. Los cuales fueron obtenidos a partir de cotizaciones nacionales. En la Figura. 8 se ilustra el costo nivelado de energía calculado para las tres categorías de instalación en Colombia, sin incentivos. Como comparación, se presentan también los valores globales de la base de datos del Laboratorio Nacional de Energías Renovables -NREL- de Estados Unidos (NREL, 2014). Como se puede observar, los niveles de

costos en Colombia son en general más altos que los valores globales, pero se encuentran dentro de rangos comparables (UPME, 2015).

Tabla 2. Costos de instalación de energía solar FV en Colombia (con IVA y aranceles), Fuente: (UPME, 2015)

Tamaño	Mínimo (USD/W instalado)	Promedio(USD/W instalado)	Máximo(USD/W instalado)	EE.UU. (USD/W instalado, Berkeley, 2014)
Residencial	2,6	4,8	7,2	4,7
Comercial	2,7	3,4	4,8	3,9
Gran Escala	2,7	3,2	3,8	3,0

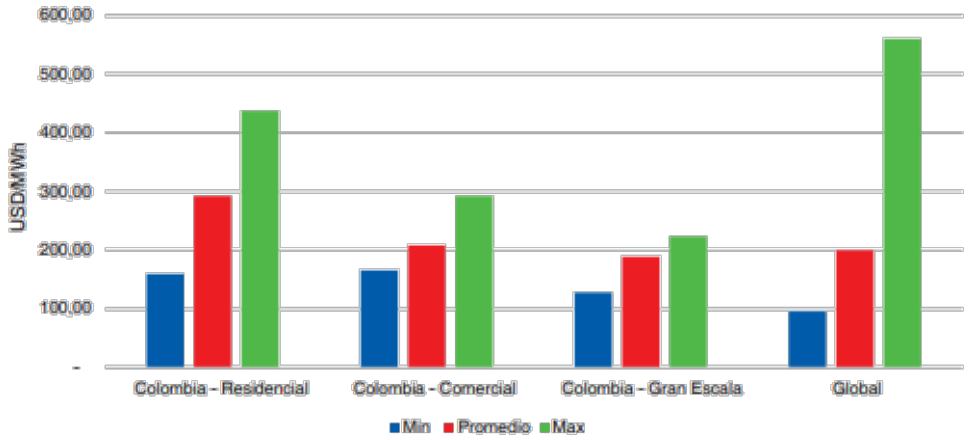


Figura. 8 Costo nivelado de energía -LCOE- de energía solar FV en Colombia y en el mundo, Fuente: (UPME, 2015)

4.3.2 Impacto de la Ley 1715

Se analiza el impacto de los incentivos de la Ley 1715 de 2014 sobre la rentabilidad de proyectos solar FV de escala residencial, comercial y de gran escala. Se utilizan los costos promedios ilustrados en la Tabla 3. Reducidos a través de incentivos arancelarios y de IVA

Tabla 3. Valores de Externalidades para energía FV, Fuente: (UPME, 2015)

Externalidades	2014 – USD/ MWh	Valor presente neto (tasa de descuento social 12%) - USD	Valor presente neto (tasa de descuento social 3,5%) - USD
Emisiones CO_2	12,21	114.793.461	331.065.361
Empleo	2,75	36.921.748	82.583.220
Valor económico	7,57	101.635.502	227.329.082
Costo de Integración	-2,70	-36.250.443	-81.081.707
Complementariedad con El Niño	3,06	41.083.835	91.892.601
Ahorro de combustibles fósiles	7,16	96.101.224	214.950.512
Salud	0,84	11.265.429	25.197.492
Biodiversidad	0,06	789.825	1.766.608
Total		**366.340.580**	**893.703.169**

Se asume una deuda del 65%, tasa de interés al 11,4%, y costo de capital del 8,5%. Se hace una excepción en el caso de sistemas residenciales, asumiendo que el usuario compra los paneles en efectivo, es decir sin deuda, y que su costo de oportunidad es del 4%, para reflejar las diferentes condiciones financieras entre una empresa y un usuario residencial. Es importante mencionar que comprar paneles solares para un sistema típico de unos 3 kWp sin deuda puede implicar un gasto de entre 10.000 y 15.000 USD (sin incentivos). Por último, en el caso de gran escala se considera un costo de conexión de 200.000 dólares por MW. En estos primeros casos no se contempla la posibilidad de entrega de excedentes y sistemas de créditos establecidos por la Ley 1715 de 2014. Como se puede ver en la Figura. 9 los resultados son complejos. En el caso residencial, los incentivos empujan la TIR de -2% hasta -0,9%. En ambos casos el proyecto no es rentable considerando que la TIR objetivo sería del 4% porque se asume que el ciudadano promedio no tiene las mismas oportunidades de inversión que tiene una gran empresa y el rendimiento de sus inversiones es en instrumentos como bonos de estado, los cuales tienen una tasa de retorno más parecida a la inflación (UPME, 2015).

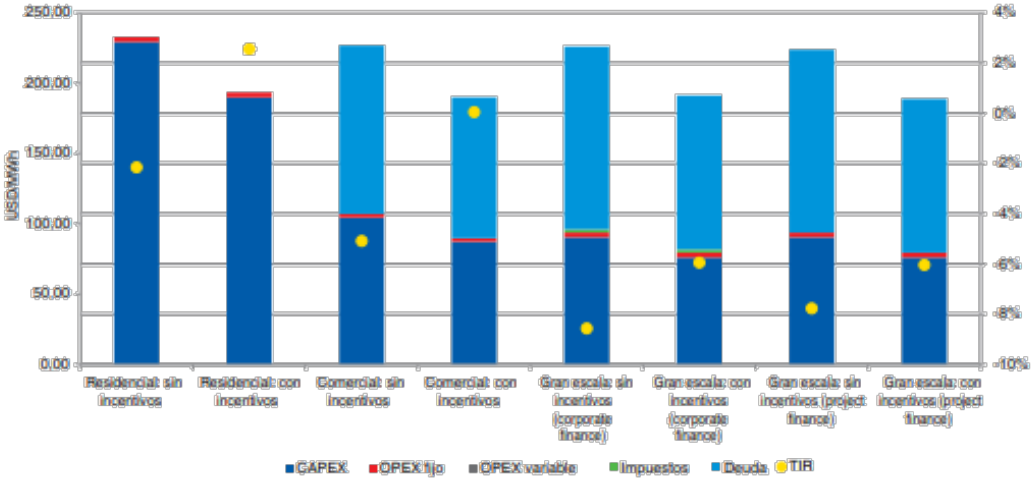


Figura. 9 Impacto de incentivos sobre proyectos solares de varias escala, Fuente: (UPME, 2015)

Los incentivos de IVA y aranceles se aplican en todos los casos. Para simplificar no se han considerado incentivos fiscales en los casos de residencial y comercial, porque un ciudadano privado no pagaría impuestos sobre la energía producida y auto consumida. En el caso del sector comercial, en el que se asume que una empresa que instala decenas de paneles, por ejemplo en el techo de un supermercado, utilizaría deuda y tendría un costo de capital similar al de una gran empresa, los resultados no son tampoco alentadores, principalmente debido al costo de capital. El resultado es que la TIR sería de -5,1% sin incentivos y de -3,1% con ellos (UPME, 2015).

De alguna manera se podría considerar la posibilidad de que el costo de la inversión en solar fuese también deducido de los impuestos que un usuario privado pagaría sobre sus ingresos (su salario). En tal caso el usuario tendría un "ingreso" adicional en forma de reducción de impuestos, por un total del 50% de la inversión a lo largo de 5 años. El impacto sobre la TIR entonces permitiría elevarla hasta 2,3%, y en el caso del sector comercial llevarla hasta 0%. En ambos casos el incentivo no sería suficiente para alcanzar a la rentabilidad (UPME, 2015).

Por último, en el caso de gran escala, hay cuatro escenarios diferentes. Eso es porque este tipo de instalación no sería para autoconsumo sino para generación y venta al mercado mayorista, con la subsecuente aplicación de impuestos y de incentivos tributarios. Contrariamente al caso de eólica, el régimen de financiamiento corporativo no es mejor que el de financiamiento por proyecto en términos de rentabilidad, lo cual se debe a que el proyecto presenta pérdidas para los primeros 12 años de operación. Siendo así, bajo el esquema financiamiento por proyecto, estas pérdidas se acumulan, y el proyecto nunca genera suficiente lucros en sus últimos años de operación para eliminarlas completamente, por lo cual nunca paga impuestos (UPME, 2015).

En caso de financiamiento corporativo, las pérdidas se eliminan inmediatamente cuando son creadas, porque se deducen contra los lucros globales de la empresa. En este caso el proyecto empieza a pagar impuestos desde el año 13, y el resultado final es que los dos casos son muy parecidos. La dinámica de los anteriores resultados se ilustra en la Figura. 10, pudiéndose observar cómo el impacto de los incentivos es simplemente el de reducir los impuestos en los primeros años a través de la depreciación acelerada y la deducción de renta, teniéndose que bajo el régimen de financiamiento por proyecto, este nunca obtiene suficientes ganancias como para ser sujeto a impuestos y por ende las líneas se anulan en ambos casos.

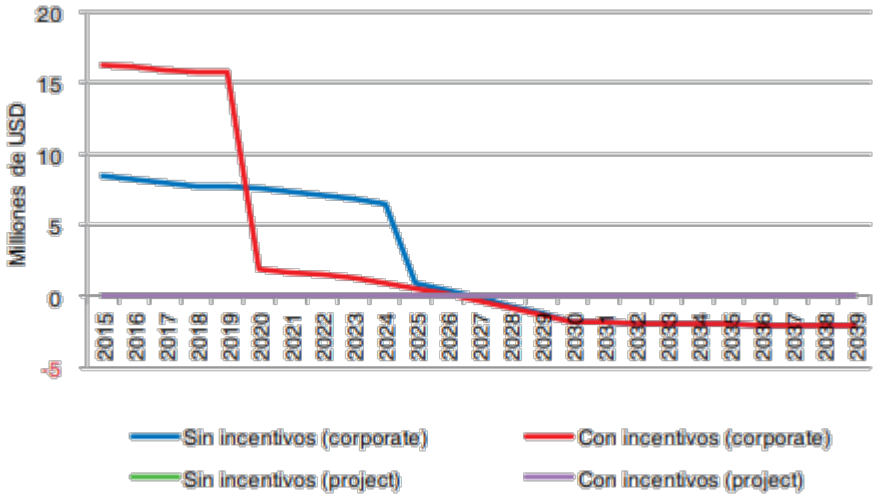


Figura. 10 Flujo de impuestos con diferentes políticas de incentivos para un proyecto de energía solar, Fuente: (UPME, 2015)

A continuación se analizarán algunas alternativas específicas que pueden hacer rentables este tipo de proyectos a partir de los instrumentos contemplados por la Ley 1715 en cuanto a entrega de excedentes para todo autogenerador y esquemas de créditos para los excedentes que sean producidos por autogeneradores de pequeña escala que utilicen FNCER (UPME, 2015).

4.3.3 Estrategias para energía solar FV

La Tabla 4. muestra una estrategia propuesta para la promoción de la integración masiva de sistemas solar FV junto con las principales líneas de acción a ser desarrolladas en su ejecución.

Tabla 4. Estrategias y líneas de acción para la solar FV en el SIN, Fuente: (UPME, 2015)

Estrategias	Líneas de acción
Disposición de un esquema de medición bidireccional que logre una valoración adecuada de los créditos de energía excedente de sistemas de autogeneración a pequeña escala con tecnología solar FV. Esto, sumado a la disposición de procedimientos y requerimientos de conexión que, cuidando la seguridad del sistema, no impidan el fácil acceso de los usuarios a entregar sus excedentes a la red, lo mismo que procedimientos de fácil acceso a los incentivos de Ley y la promoción de esta tecnología a través de acciones ejemplarizantes desde el Gobierno Nacional y entidades públicas	Adopción de esquema de medición neta
	Facilidades de conexión para sistemas solar FV
	Acceso a incentivos tributarios de la Ley 1715
	Adopción de mínimos estándares de calidad en los sistemas a ser promocionados.
	Garantía de calidad y políticas de incentivos de energías renovables
	Programas ejemplarizantes
	Consideración de programas en vivienda de interés social o vivienda prioritaria

Con el fin de promover el aprovechamiento del recurso solar disponible a lo largo y ancho del territorio nacional, en lo que a sistemas conectados al SIN se refiere, se propone adoptar una estrategia dirigida al desarrollo de sistemas de autogeneración de pequeña escala, nicho en el que los costos nivelados de electricidad que pueden ser logrados hoy en día con la tecnología fotovoltaica pueden competir con las tarifas pagadas por los usuarios, especialmente en los sectores residencial y comercial (UPME, 2015).

5. Marco Referencial

En este apartado se hace una aproximación conceptual de los temas involucrados en el desarrollado de la investigación : Lecciones Aprendidas, Energía solar Fotovoltaica, Radiación solar, Sistemas fotovoltaicos y componentes de un sistema de generación fotovoltaico. En el ámbito de la gestión de proyectos se entiende por lecciones aprendidas "todo aquel conocimiento adquirido a través de experiencias, exitosas o no, en el proceso de realización de un proyecto, con el fin de mejorar ejecuciones futuras".

También podemos definirlas como el conjunto de errores y éxitos que el líder y el equipo de proyecto han logrado manejar durante la realización del propio proyecto. Estas pueden identificarse en cualquier momento y deben ser documentadas en la base de conocimiento del proyecto y de la organización, para evitar los mismos errores y volver a provocar los éxitos en proyectos a futuro. Capturar lecciones aprendidas es una parte integral de cada proyecto. No generar lecciones aprendidas – y/o no hacer uso de esta herramienta – podría derivar en situaciones críticas en los futuros proyectos, que conlleven al fracaso y, por tanto, pongan en riesgo la consecución de los objetivos estratégicos de la organización. Además, el tiempo de respuesta y ejecución puede volverse ineficiente o se puede deteriorar la calidad de los resultados (González, 2019) .

Entre las varias ventajas que se encuentran las lecciones aprendidas brindan una valiosa herramienta de uso y apoyo para otros jefes de proyecto dentro de la organización, Mejoran la planificación de proyectos futuros y evitan cometer errores, Ayudan a detectar oportunidades de mejora y capacitar a futuros miembros de equipos de proyecto, Conforman la base para mejorar las prácticas organizacionales de gestión de proyectos, Ayudan a desarrollar nuevos y mejores procedimientos de trabajo y Ofrecen información de apoyo para una mejor toma de decisiones, reducen la incertidumbre y mejoran el tiempo de respuesta ante situaciones similares a las que se tiene que enfrentar el equipo de proyecto (González, 2019).

En pocas palabras, una práctica constante y bien estructurada de lecciones aprendidas permitirá al equipo de proyecto repetir resultados deseados que fomenten el éxito en los proyectos, y evitar aquellos que incentiven el fracaso. La base de conocimientos de lecciones aprendidas contiene información histórica de proyectos anteriores. Es parte de los activos del proyecto de la organización y proporciona una valiosa fuente de información para ser utilizada por proyectos similares en el futuro. Todas las lecciones aprendidas del proyecto y otra información histórica deben transferirse a este conocimiento / base de datos para proporcionar un repositorio centralizado para facilitar su uso. Esto también debe incluir información sobre problemas y riesgos, así como técnicas que funcionaron bien y que se pueden aplicar a proyectos futuros. La mayoría de los conocimientos / bases de datos de lecciones aprendidas contienen grandes cantidades de información, por lo que es importante que exista un sistema para catalogar esta información (Project Management Doc, 2019).

Si se revisa la definición del PMI sobre las lecciones aprendidas, este instituto las define como: "El conocimiento adquirido durante un proyecto el cual muestra cómo se abordaron o deberían abordarse en el futuro los eventos del proyecto, a fin de mejorar el desempeño en el futuro" (Guía del PMBOK, 2013).

El uso de las lecciones aprendidas es un componente principal de la cultura organizacional, que forma parte del mejoramiento continuo y la gestión del cambio. Los mecanismos de lecciones aprendidas buscan comunicar efectivamente el conocimiento y garantizar que la información sea en beneficio de la planeación, de los procesos y actividades llevadas en cualquier organización (White, M., & Cohan, 2015).

A través del ciclo de vida del proyecto, se descubren oportunidades de mejora. El manejo de lecciones aprendidas le ayuda al equipo a descubrir puntos débiles y fuertes en el desarrollo del proyecto e invita a discutir acerca de los resultados y acontecimientos, antes, durante y después del proyecto. También se llega a un análisis que puede llevar al equipo a identificar: otros métodos para el mejor desarrollo de las actividades, la raíz de los problemas presentados y la manera de evitar la aparición de problemas recurrentes en etapas posteriores del proyecto (White, M., & Cohan, 2015). Se puede afirmar entonces que el propósito principal de la documentación de las lecciones aprendidas es el de compartir y usar el conocimiento, para promover que se repitan los buenos resultados y evitar la recurrencia de los negativos (Centers for Disease Control and Prevention, 2010).

5.1 Modelo de Lecciones Aprendidas

La razón para el uso frecuente de las lecciones aprendidas obedece al desarrollo, en las últimas tres décadas, de dos corrientes teórico-prácticas, que desde el ámbito empresarial se han ido identificando, desarrollando y adaptando a las exigencias de la sociedad actual: aprendizaje organizacional (Organizational Learning) y conocimiento organizacional (Organizational Knowledge). La influencia de estas corrientes radica en las formas de producción de bienes y servicios, que dan paso a que la generación de la "riqueza" y la producción no estén ya orientadas a la tierra y a la industria, sino al conocimiento, donde el aprendizaje permanente (personal y organizacional) y el trabajo en red (de personas y sistemas) son los que conducen a la innovación, son su vehículo obligatorio y constitutivo (Uribe Tirado, 2013).

Según White & Cohan (2015): "El uso de las lecciones aprendidas es un componente principal de la cultura organizacional comprometida con la mejora continua y la gestión adaptativa". Para ello, estos autores enuncian cinco (5) etapas básicas para la gestión de lecciones aprendidas, que se describen a continuación:

1. Definición del proyecto: este paso es el inicial para poder definir la necesidad específica y el propósito de las lecciones aprendidas durante todo el proyecto. En él se debe definir el equipo que interactuará con las diferentes áreas y el acoplamiento con sus demás entes colaboradores, y donde el conocimiento y la experiencia serán herramientas fundamentales para la selección de personal. Los interesados deberán estar de acuerdo y definir los formatos que serán utilizados en el producto, la metodología, la recopilación de datos, los procesos y la estrategia de difusión.

2. Recolección: el proceso consiste en recopilar las lecciones aprendidas previstas y evidenciadas durante los procesos que se desarrollan en cada etapa del proyecto. Estará basado tanto en procesos estructurados y no estructurados como en las críticas del proyecto, las formas escritas y las reuniones que se realicen para el seguimiento de las actividades. Para algunos proyectos en particular, el proceso de recopilación de lecciones aprendidas en colaboración con los interesados puede ser tanto o más importante como la documentación de la misma.

3. Verificación y síntesis: el proceso sirve para verificar y sintetizar las lecciones aprendidas, sus enseñanzas y su posible aplicabilidad en el proyecto o en futuros proyectos. Se establecerán juicios de expertos, para determinar si es o no una lección aprendida relevante y que pueda perdurar en los demás proyectos, que pueda ser aplicable en particular o a una organización como un todo.

4. Almacenar: el almacenamiento de las lecciones aprendidas consiste en poder recopilarlas principalmente en una base de datos electrónica, para un posible intercambio o difusión. El almacenamiento debe contener dos elementos fundamentales: que sean de fácil búsqueda y que les permita a los usuarios poder identificarlas con facilidad.

5. Difusión: las lecciones aprendidas son de poca utilidad si no son al menos difundidas y utilizadas por otras personas que tienen un interés común. La difusión puede abarcar al menos la revisión de un proceso de trabajo, la formación de cómo se hace, la rutina de lo hecho y la distribución a través de una variedad de medios de comunicación.

5.2 Fuentes de información para la recolección de Lecciones Aprendidas

Según (Collison, C., & Parcell, 2011) , se pueden identificar tres tipos de recolección de datos en las lecciones aprendidas:

• Integrada: que se realiza antes de empezar el proyecto, y se revisa periódicamente.
• Post-facto: se realiza después haber terminado el proyecto.
• Combinada: se realiza antes, durante y al final del proyecto.

Con independencia del momento en que se decida realizar la recolección de datos, se puede decir que las herramientas utilizadas para hacerlo son las siguientes, según (White, M., & Cohan, 2015):

- Observación.
- Revisión documental.
- Encuestas.
- Entrevistas.
- Talleres grupales.
- Juicio de expertos.

Para cualquier método utilizado en la recolección de los datos, las herramientas empleadas deben enfocarse en las siguientes áreas:

• ¿Qué estuvo bien?
• ¿Qué salió mal o no tuvo los resultados esperados?
• ¿Si se puede hacer de nuevo, que debe cambiar?
• ¿Recomendaciones para similares proyectos próximos a desarrollarse?

A continuación, se describen las herramientas generalmente utilizadas para realizar la recolección de datos.

5.2.1 Observación

La observación es el método de investigación más antiguo, básico y empírico, pero, a su vez, el más usado. Consiste en recopilar información y datos utilizando los sentidos, para observar hechos en una determinada situación. Para recopilar información asertivamente en investigaciones académicas y científicas se utiliza la observación sistematizada, que consiste en formular una hipótesis o situación por estudiar, para posteriormente precisar las variaciones de la hipótesis respecto a lo observado. Esta técnica consta de los siguientes pasos: observación inicial, planteamiento de la hipótesis, verificación de la hipótesis y elaboración de resultados y sus interpretaciones.

En términos de proyectos, se puede decir que mediante esta herramienta se reúne información directa de cómo el proyecto se desarrolla. Al ser partícipe, se observa como el proyecto y(o) los involucrados cumplen sus objetivos dentro de un contexto de situaciones reales y de relaciones entre los participantes (White, M., & Cohan, 2015).

Sus ventajas son: poder observar cómo operan los participantes del proyecto y cómo desarrollan sus tareas diarias, y, además, cómo se adaptan a los posibles eventos que ocurren a diario (White, M., & Cohan, 2015). Sus desventajas son: la interpretación de las situaciones se puede dar de maneras diferentes (depende del observador), es difícil categorizar lo observado, al ser partícipe y(u) observador directo, esto puede influenciar al comportamiento de los participantes, en muchas de las ocasiones no se puede ser imparcial en las observaciones y, además, puede ser extenso (White, M., & Cohan, 2015).

5.2.2 Revisión Documental

Técnica de recopilación de información que usualmente se constituye como el punto de entrada de cualquier investigación, e incluso en muchas ocasiones es la fuente que origina el motivo o tema de la investigación. Los documentos fuente pueden ser de distintos tipos: personales, institucionales, grupales, formales o informales. De estos documentos puede resultar información muy valiosa para cualquier investigación en curso, tal como: la descripción del tema o investigación que se está abordando y(o) los personajes involucrados en la situación estudiada; además, se resalta que los documentos son: "Una fuente bastante fidedigna y práctica para revelar los intereses y las perspectivas de comprensión de la realidad, que caracterizan a los que lo han escrito" (Casilimas, 2011).

El análisis documental se desarrolla en las siguientes etapas:

- Rastreo e inventario de los documentos existentes y disponibles.
- Clasificación de los documentos identificados.
- Selección de los documentos más pertinentes para los propósitos de la investigación.
- Lectura a profundidad del contenido de los documentos seleccionados.
- Lectura cruzada y comparativa de los documentos en cuestión.

5.2.3 Encuestas

La encuesta es una técnica de recolección de datos, en la cual se realiza un cuestionario a una muestra seleccionada de individuos, Esta es una técnica cuantitativa que consta de una serie de preguntas estandarizadas. En términos generales, las encuestas se utilizan para conocer las opiniones de un grupo determinado de personas (CIS, 2016). Las encuestas pueden clasificarse según los fines científicos, el contenido, el procedimiento o administración del cuestionario y su finalidad (Cohen, L., & Manion, 1990).

5.2.4 Entrevistas

La entrevista es otro tipo de técnica de recolección de datos. Sus características son similares a las de la encuesta, siendo la principal diferencia el hecho de que el entrevistador u observador es quien anota las respuestas a las preguntas. Las recomendaciones en general y las referentes al

tipo de preguntas utilizadas son las mismas que las de la encuesta, aunque es de vital importancia la habilidad del encuestador para manejar la entrevista y poder obtener los resultados deseados de la misma. Según el tipo de preparación o formato que ésta tenga, la entrevista se puede clasificar en: Entrevista no estructurada, entrevista semiestructurada, entrevista estructurada (Casas Anguita, Repullo Labrador, & Donado Campos, 2013).

5.2.5 Divulgación de las Lecciones Aprendidas en un Proyecto

Normalmente el responsable de la documentación, la recopilación y la difusión de las lecciones aprendidas es del director del proyecto, al tener a mano todas las herramientas necesarias, para que esto se realice a satisfacción en todos los procesos y etapas contemplados durante el proyecto (incluyendo el cierre). Se sugiere documentar todos los posibles errores, riesgos, decisiones y procesos con técnicas eficientes, a más tardar en el cierre de cada etapa, para que estas no se pierdan en el transcurso de las demás etapas, y que, a su vez, en cada una se alimenten (por divulgación) las entradas de los procesos siguientes. Si éstas se dejan para el final del proyecto, se corre el riesgo de que las lecciones aprendidas se olviden, de no poder tener el contexto adecuado ni la validación de la lección aprendida (Elba Luna Bu, 2011).

A continuación se presentan antecedentes de modelos de lecciones aprendidas propuestos por diversos autores e instituciones internacionales

- *Symon y Jansen*

Presentan una propuesta de proceso de lecciones aprendidas que se basa en el registro, intercambio e investigación de lecciones aprendidas en la ejecución de proyectos (Díaz-Niño, Fraile-Neira, Rodríguez-Higuita, & Giraldo-Gonzalez, 2016).



Figura. 11 Modelo propuesto por Symon y Jansen, Fuente: SYMON, Suzanne y JANCEN, Melanie. Integrating lessons learned throughout the product development process (Lessons & Helps, 2012)

- *Modelo propuesto por la NASA*

La NASA con el fin de optimizar el proceso de lecciones aprendidas para alcanzar mejores prácticas a nivel internacional establece un proceso formal basado en 7 mejores prácticas (Clawson & Oberhettinger, 2001).

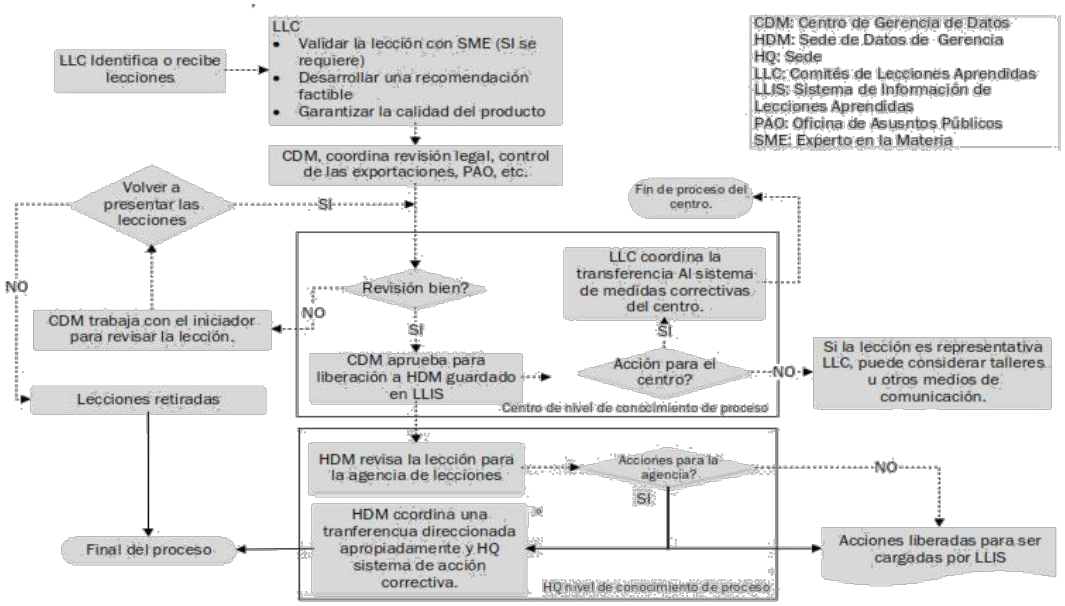


Figura. 12 Modelo propuesto por NASA, Fuente: (Clawson & Oberhettinger, 2001)

- *Rosina Weber*

Rosina Weber propone un proceso que inicia con la documentación que se realiza al finalizar cada etapa del proyecto por los directamente involucrados, seguido de la revisión de lecciones donde se evalúan y se identifica aporte en toma de decisiones, teniendo la posibilidad de generar acciones correctivas o preventivas, y así finalizando con su divulgación e implementación (Díaz-Niño et al., 2016).

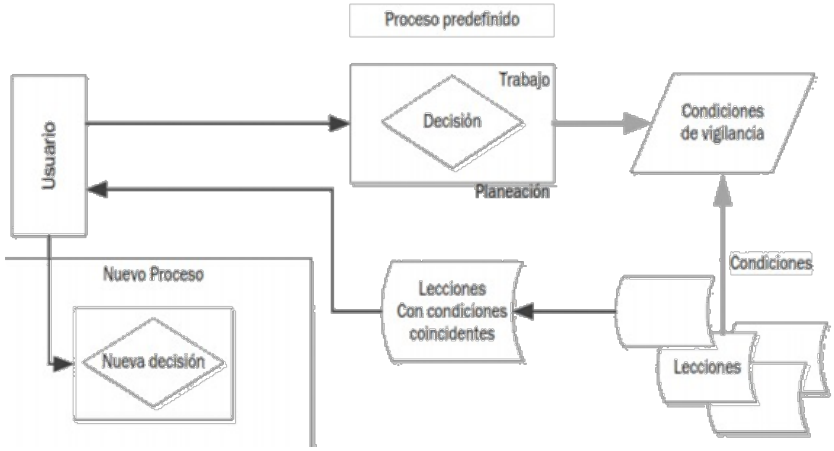


Figura. 13 Modelo propuesto Rosina Weber, Fuente: (Weber, Aha, Muñoz-ávila, & Breslow, 2000)

- Willis Thomas

Willis Thomas plantea que las lecciones aprendidas constituyen una información invaluable para determinar el éxito o desacierto de un proyecto, por lo tanto, se considera que contar con un método sistemático para las lecciones aprendidas es vital para el éxito continuo de los proyectos, programas y portafolios. Donde este método debe ser fácil de aplicar a cualquier tipo de proyecto y organización. De esta forma Thomas propone una estrategia para capturar, categorizar y controlar las lecciones basados en las mejores prácticas (ÁNGELA GUALDRÓN ROMERO, 2015).



Figura. 14 Modelo propuesto por Willis Thomas, Fuente: THOMAS, Willis. Project evaluation and lessons learned (2012), Fuente: (Gowrishankar, 2012)

Cada una de las actividades representa:

1. Base: localización de recursos necesarios, tales como personal, sistemas, instalaciones, equipos y materiales.
2. Identificación: se identifican lecciones potenciales, haciendo uso de los sentidos.
3. Recopilación: clasificación y consolidación de lecciones aprendidas identificadas
4. Repositorio: almacenamiento de lecciones aprendidas recopiladas.
5. Distribución: difusión y entrega de las lecciones aprendidas.
6. Presentación: campaña pública donde se revisan y discuten las lecciones aprendidas.
7. Verificación: se revisan y confirman las lecciones aprendidas
8. Adopción: acuerdo mutuo entre stakeholders de significado de lecciones presentadas.
9. Integración: estandarización de lección aprendida dentro de proceso identificado, política o práctica.
10. Administración: mantenimiento de lecciones, asegurando funcionalidad de repositorio de lecciones aprendidas.

5.3 Sistemas Solares Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos basan su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico para transformar la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Este proceso de generación de electricidad renovable no contamina, no emite gases nocivos, su mantenimiento es mínimo y no genera ruidos molestos. La tecnología fotovoltaica es totalmente confiable, en la Tabla 5. se enuncian las partes que conforman un sistema de generación fotovoltaico.

Tabla 5. Componentes de un sistema fotovoltaico, Fuente: Elaboración propia

Componente	Descripción
✓ Paneles Solares Fotovoltaicos	Los paneles solares están formados por celdas fotovoltaicas, las cuales recolectan los rayos del sol y los convierten en corriente directa (DC) (Gómez, Murcia, & Cabeza, 2017) .
✓ Inversor	Recibe la corriente directa (DC) generada por los paneles solares y la convierte en corriente alterna (AC), el tipo de electricidad comúnmente utilizada (Cristina & Rojas, 2017).
✓ Tablero Eléctrico	La corriente alterna (AC) que sale del inversor llega a un tablero eléctrico donde está lista para ser utilizada (Biomass Users Network, 2012).
✓ Medidor de Energía Bidireccional	Mide la energía entregada por la compañía de luz al usuario así como la energía fotovoltaica residual compensada en su estado de cuenta, de esta manera la energía residual producida por su sistema fotovoltaico se descuenta de su próximo recibo de luz (Macias & Andrade, 2014).
✓ Red Eléctrica	Es el sistema eléctrico de la compañía de luz. Su sistema fotovoltaico permanecerá conectado a la red eléctrica para permitir el funcionamiento de la red eléctrica cuando se requiera energía adicional a la que su sistema fotovoltaico produjo, por ejemplo durante la noche, garantizando así un suministro constante y confiable de electricidad (Abella, 2011).
✓ Sistema de Monitoreo	Su sistema fotovoltaico ofrece la posibilidad de monitorear la producción diaria de energía fotovoltaica y verificar que su sistema funcione adecuadamente, así como llevar un registro del CO2 no emitido al ambiente (Muñoz, 2012).

5.3.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la forma más utilizadas y de mayor auge en la actualidad, esto se debe a que es una fuente de energía renovable que aprovecha directamente la radiación solar para la generación de energía eléctrica, lo que la hace aprovechable en muchas zonas del mundo en donde las energías convencionales son de difícil acceso, como en el caso de Colombia en aquellas Zonas No Interconectas(Castanheira et al., 2013), también es considerada una alternativa viable para la diversificación de la matriz energética, en donde otros recursos como el agua predominan y bajo ciertos escenarios de escases, como el fenómeno del niño, puede llevar a desabastecimiento energético (Macias & Andrade, 2014).

5.3.2 Radiación Solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas, es ocasionada por los fenómenos de fusión que se dan al interior del núcleo solar, allí los gases se mueven a grandes velocidades ocasionando colisiones, consumiendo la masa misma y desprendiendo inmensas cantidades de energía. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos, el clima y la vida humana como se conoce (Gómez et al., 2017).

La radiación solar al pasar por la atmosfera sufre un proceso de debilitamiento por la dispersión, reflexión (nubes) y absorción (moléculas de gases y partículas en suspensión), por ello pueden distinguir diferentes clases de radiación sola, estas son:

- Radiación Solar Directa

Aquella que llega a la tierra sin verse afecta por las distintas capas de gases de la columna atmosférica, por lo cual no sufre cambio alguno en su dirección.

- Radiación Solar reflejada

Aquella que es producto de la interacción con los componentes atmosféricos, reflejada o absorbida por nubes, polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, etc. como consecuencia de esto la radiación difusa va en todas direcciones. Las superficies horizontales son las que mayormente reciben esta clase de radiación ya que ven toda la bóveda celeste (Cristina & Rojas, 2017).

- Radiación Solar Difusa

Aquella que procede de la reflexión de la irradiancia directa en los elementos del entorno o superficie terrestre. Esta cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamado albedo. Las superficies verticales son las que más radiación de esta clase reciben.

- Radiación Solar Global

La radiación solar global es la radiación total. Esta constituye la suma de las tres radiaciones anteriormente nombradas.

5.3.3 Componentes de un sistema fotovoltaico

1. *Módulos Fotovoltaicos*

La transformación de energía solar en energía eléctrica se realiza mediante los módulos fotovoltaicos, ellos están compuestos por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. La celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, estas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, donde el silicio es el más usado. El marco de vidrio y aluminio tienen la función principal de soportar mecánicamente las celdas además de protegerlas de la intemperie (Biomass Users Network, 2012).

2. *Reguladores*

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas (Biomass Users Network, 2012).

3. *Inversores*

Un inversor es un dispositivo electrónico que permite transformar una señal de tipo continua en una señal alterna, esta puede ser de tipo sinusoidal pura aplicado en sistemas conectados directamente a la red; sinusoidal modificada o de onda cuadrada con aplicación en sistemas autónomos (Felipe, 2018).

4. *Baterías*

Son dispositivos que permiten almacenar energía de forma electroquímica, en los sistemas fotovoltaicos se utiliza generalmente como sistema de almacenamiento energético, debido al desplazamiento que puede existir entre los periodos de generación (durante el día) y los periodos de consumo (como en la noche), permitiendo la operación de las cargar cuando el generador fotovoltaico por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecer el consumo, no obstante también se pueden utilizar para otros cometidos tales como estabilizadores de voltaje o corriente y para suministrar picos de corriente (como el arranque de motores) (Abella, 2011).

5. *Sistema Interconectado*

Es un sistema el cual permite seguir conectado a la red. Una de las principales ventajas en este tipo de sistema es que toda la energía requerida por la instalación no tiene que ser generada. Son ideales para generar un autoconsumo, ya que su función es de suplencia; toman o entregan energía a la red dependiendo de la demanda de carga (Cristina & Rojas, 2017).

6. *Sistema Hibrido*

Este tipo de sistema se conecta directamente a la red, sin embargo, se tiene un sistema de almacenamiento de respaldo. Al momento de generar de electricidad mediante los paneles solares se empieza a cargar el banco de baterías almacenando la capacidad calculada de energía, el remanente o energía extra producida por el sistema es entregada a la red pública, teniendo así un mayor costo beneficio dado que el respaldo de energía almacenado en las baterías puede ser utilizado en horas de la noche en iluminación o cualquier otra actividad, por lo tanto el suministro energético por parte de la red pública se reduce considerablemente (Sánches Guevara & Gil, 2016).

6. Metodología

Para el desarrollo y ejecución de esta pasantía se tuvo en cuenta los tipos de investigación, la metodología a pasos del método científico se desarrolló a partir de los objetivos específicos planteados, teniendo como base 6 etapas , cada una de las etapas se encuentran relacionadas entre sí para alcanzar el objetivo general, cada una de las etapas se componen de lo siguiente:

1. **Primera Etapa**: Base
   - 1.1. Evaluar información sobre las metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares.
   - 1.2. Identificar y seleccionar el personal involucrado en el proyecto energético por parte del IPSE.
   - 1.3. Identificar la documentación suministrada por los actores involucrados en el proyecto energético.

2. **Segunda Etapa**: Identificación y recopilación
   - 2.1. Elaborar las preguntas que nos sirva para recopilar información.
   - 2.2. Realizar una encuesta, con el fin de obtener información que sirva para poder identificar las lecciones aprendidas.
   - 2.3. Analizar de manera cuantitativa los resultados de las encuestas, para poder encontrar los errores que se cometieron en cada fase del proyecto.
   - 2.4. Recolectar y clasificar las lecciones aprendidas.
   - 2.5. Analizar las lecciones aprendidas. Para hacer este análisis se recomienda realizar lo siguiente:
     - 2.5.1. Analizar la información que se obtuvo en la recolección, con el fin de minimizar el riesgo de cometer los mismos errores, donde para este análisis se va a usar los diagramas de causa-efecto.

3. **Tercera Etapa**: Repositorio y almacenamiento
   - 3.1. Desarrollar una técnica de almacenamiento fácil de usar y de entender, para poder recopilar lecciones del proyecto energético. Para realizar esta actividad se debe tener en cuenta lo siguiente:
     - 3.1.1. Investigar técnicas de almacenamiento de información como las bases de datos, juicios de expertos, etc.

4. **Cuarta Etapa**: Difusión, presentación y verificación
   - 4.1. Dar a conocer mediante un documento las bases de datos en la que se almaceno las lecciones aprendidas y el plan de acción a seguir para su implementación en proyectos a futuro.
   - 4.2. Revisar y discutir las lecciones identificadas por el estudiante.
   - 4.3. Informar los actores involucrados en las fases del proyecto sobre las lecciones identificadas.

5. **Quinta Etapa**: Adopción e integración
   5.1. Dar a conocer las recomendaciones de la forma correcta en que se debe implementar las lecciones aprendidas identificadas.
6. **Sexta Etapa**: Administración
   6.1. Divulgar la lección aprendida para ser tenida en cuenta durante las diferentes fases de proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos a futuro.
   6.2. Redactar los documentos a partir de la lección aprendida
   6.3. Socializar y entregar los resultados obtenidos

7. Resultados

7.1 Evaluación de información sobre las metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares.

En esta sección se muestra el resultado de una búsqueda bibliográfica sobre trabajos académicos realizados acerca de las metodologías y modelos existentes para caracterizar la lección aprendidas aplicada al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basado en sistemas solares. Para el desarrollo de esta primera etapa de la metodología propuesta se elaboró un documento en conjunto con cooperación de profesionales asesores del IPSE involucrados en el proyecto energético soportado en el instrumento contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 y estudios previos del contrato interadministrativo dicha documentación fue facilitada por los profesionales del IPSE involucrados, el documento elaborado en cooperación conjunta con el IPSE se encuentra en el Anexo 1 de este documento.

Las lecciones aprendidas pueden definirse como el conocimiento adquirido sobre un proceso o una o varias experiencias, a través de la reflexión y el análisis sobre sus resultados y los factores críticos o condiciones que pueden haber incidido sobre su éxito o en su obstaculización. Las lecciones aprendidas se enfocan en la hipótesis que vincula causalmente los resultados buscados y aquello que ha funcionado o no ha funcionado para alcanzarlos (Luna E, 2016).

Para la ejecución de proyectos, las lecciones aprendidas son un insumo importante, teniendo en cuenta que son antecedentes que, de ser conocidos, pueden garantizar el éxito, evitar reprocesos y encontrar nuevas soluciones de manera más adecuada. Según el PMBOK, una lección aprendida se define como “el conocimiento adquirido durante un proyecto, la cual muestra cómo se abordaron o deberían abordar en el futuro los eventos del proyecto, a fin de mejorar el desempeño futuro”(PMBOK, n.d.).

Las lecciones aprendidas capturan evidencias e identifican tendencias y relaciones causa-efecto, acotadas a un contexto específico, y sugieren recomendaciones prácticas y útiles para la aplicación o replicación del nuevo conocimiento en otros contextos y en el diseño o ejecución de otros proyectos o iniciativas que se proponen lograr resultados similares; pueden dar una ventaja competitiva entre actores de una misma industria (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

Para que el proceso de lecciones aprendidas sea exitoso no solo se requiere el esfuerzo individual del director del proyecto o encargado, sino que se deben entender como el fruto del trabajo de todo el equipo, por eso se hace necesario conocer el proceso de caracterización de lecciones aprendidas en el desarrollo de proyectos y los antecedentes de lecciones aprendidas que apliquen al proyecto que se está estudiando para garantizar el éxito del mismo.

7.2.1 Metodología de Lecciones Aprendidas

En el desarrollo de proyectos con frecuencia se identifican, documentan y comparten lecciones aprendidas producto de la experiencia y de los resultados, lo que no se realiza en varios de ellos es lograr aplicarlas y usarlas con el rigor esperado. Hay condiciones que afectan la implementación de las lecciones obtenidas, el desconocer por qué o cómo hacerlo, el tiempo, los incentivos, entre otros, que llevan a no realizar la gestión de este conocimiento(Elba Luna Bu, 2011).

El proceso de lecciones aprendidas es una forma facilitadora de la gestión de este conocimiento, tanto en los proyectos, como en las organizaciones, que ayuda a trabajar de una forma más efectiva sin llegar a ser considerado como actividades adicionales en el trabajo. El proceso de lecciones aprendidas cuenta con elementos claves, que facilitan el conocimiento o entendimiento ganado a partir de un proceso sistémico de análisis y la reflexión colectiva de las experiencias, de los procesos y de sus combinaciones (Ledesma, 2015).

Los elementos claves que dan origen a una estructura básica del proceso de lecciones aprendidas se muestran en la Figura. 15.

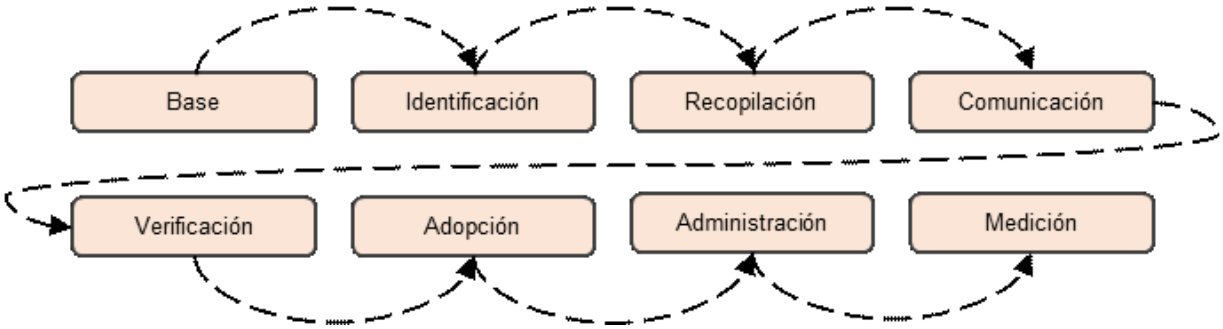


Figura. 15 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y Adaptado (Ledesma, 2015)

1. Base: asignación de los recursos necesarios (personal, sistemas, instalaciones, equipos, materiales).
2. Identificación: localización de las lecciones potenciales a través de sentidos (vista, oído, olfato, tacto, prueba).
3. Recopilación: extracción de las LA reunidas, las cuales se clasifican y consolidan.
4. Comunicación: corresponde a difusión y entrega de las LA, junto a su presentación (publicaciones para que sean revisadas y discutidas de acuerdo a las políticas y prácticas establecidas).
5. Verificación: rectificación de las LA involucrando un proceso de revisión y confirmación de las LA presentadas y propuestas.

6. Adopción: definición de un acuerdo mutuo del significado de las LA presentadas entre los interesados.
7. Administración: gestión del mantenimiento de las LA integradas (prestar soporte técnico) asegurando la funcionalidad del repositorio de LA
8. Medición: generación de indicadores frente al uso y aprendizaje ofrecido por el proceso de LA.

Para el desarrollo de Lecciones Aprendidas se propone por diversos autores metodologías para la caracterización de Lecciones Aprendidas las cuales pueden adoptar un enfoque descriptivo, el cual describe un fenómeno en específico, sus propiedades o componentes relacionados con este a través de un enfoque exploratorio.

7.2.1.1 Población y objeto de estudio

Se realiza un estudio de la población objeto la cual es la principal beneficiada de la implementación del proyecto y la principal involucrada durante todas las fases del mismo, según el organigrama o estructura organizacional se identifican todos los actores involucrados, las empresas que participan en el desarrollo del proyecto, los directivos y los gerentes de cada división o departamento en cargado de la ejecución del proyecto y los usuarios finales beneficiados.

7.2.1.2 Técnicas e Instrumentos

A. Entrevista

Se conoce como la fase cualitativa, se emplea la entrevista para identificar los aspectos más relevantes en las organizaciones para gestionar el proceso de lecciones aprendidas. El diseño de esta entrevista se realiza con base en los aspectos que se identifiquen en la revisión de la literatura del proyecto, como resultado se plantea un cuestionario de preguntas, el cual deberá ser revisado por un asesor externo especializado en la investigación del proyecto. La entrevista puede ser aplicada a gerentes de proyectos, lideres, responsables de proyectos, o de áreas de gerencia de proyectos, quienes cuentan con el conocimiento de los procesos y actuaron como representantes de las organizaciones (Díaz-Niño et al., 2016).

B. Encuesta

Se conoce como la fase cuantitativa, mediante el estudio exploratorio, se emplea la técnica de encuesta, la cual cuenta con un numero de preguntas cerradas que serán realizadas al personal identificado responsable del proyecto, o personal involucrado. La encuesta deberá ser validada con un asesor externo, experto en la investigación, para comprobar la efectividad de las preguntas y garantizar que permitieran la recolección de información analizable y concluyente. La encuesta debe ser aplicada a gerentes de proyectos, lideres, responsables de proyectos, o de áreas de gerencia de proyectos, quienes cuentan con el conocimiento de los procesos y actuaron como representantes de las organizaciones (Díaz-Niño et al., 2016).

7.2.1.3 Propuesta

La propuesta de proceso de lecciones aprendidas se deriva de la revisión de literatura y análisis cualitativo con alcance exploratorio descriptivo. La propuesta contempla las actividades para identificar y recopilar y aplicar las lecciones aprendidas en el desarrollo y gerencia de los proyectos en organizaciones (Díaz-Niño et al., 2016).

7.2.2 Caracterización del proceso de Lecciones Aprendidas

La Figura.16. presenta la propuesta del proceso de caracterización de Lecciones Aprendidas, la integración del proceso con procesos de desarrollo y gerencia de proyectos y otros procesos organizacionales. Las entradas buscan alimentar el proceso con la información necesaria. La salida sugiere información con valor agregado para transformar procesos y formas de pensamiento en los proyectos y las organizaciones. Todo esto orientado en los procesos de mejora continua (PHVA: planear, hacer, verificar y actuar), permitiendo que las experiencias analizadas y transformadas en lecciones aprendidas, sean evaluadas con hechos y datos. Se propone un líder del proceso, tanto a nivel organizacional, como en el desarrollo de la gerencia de proyectos. Además, un repositorio de lecciones aprendidas en el sistema de información para la gestión de proyectos (Díaz-Niño et al., 2016).

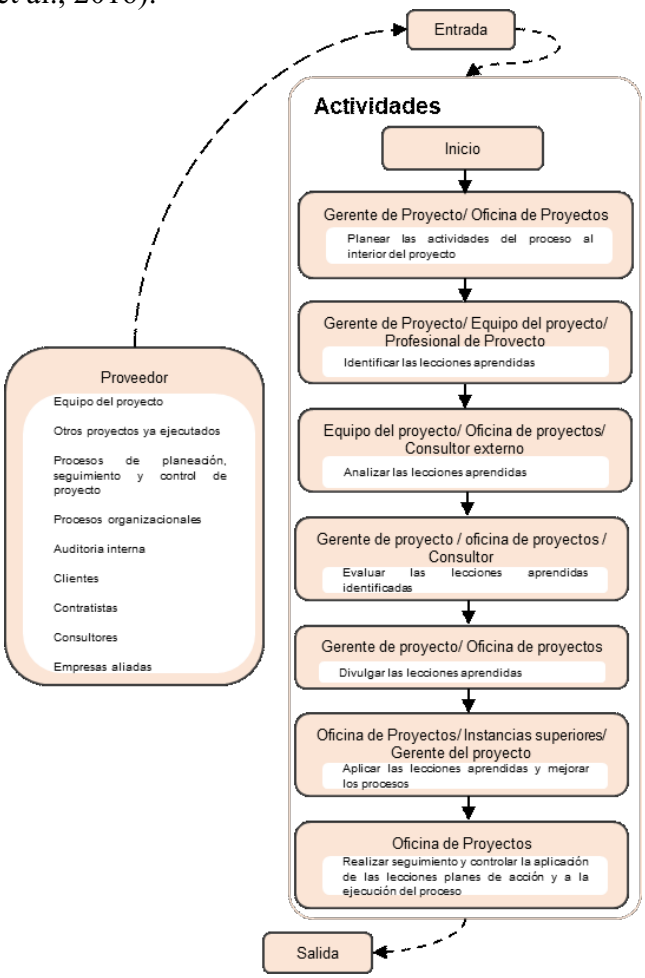


Figura. 16 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016).

7.2.2.1 Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de Lecciones Aprendidas

Basados en el artículo “Hacia la excelencia en la gerencia de proyectos a través del proceso de lecciones aprendidas”. Como se muestra en la Figura.17. el procedimiento propuesto, los responsables, actividades e interacción con otros procesos. Donde se visualiza 7 etapas generales.

1. Planeación: desde la identificación de la información requerida, hasta la conformación de los planes de trabajo.

2. Identificación: inicia con el registro progresivo de los eventos, su revisión y validación, hasta la consolidación de las experiencias y los clasificados de eventos críticos (de atención inmediata).

3. Análisis: determinación de la causa raíz de los eventos, así como las consecuencias e impactos generados a las personas, medio ambiente, entorno e infraestructura.

4. Evaluación: categorización y ajuste de las lecciones mediante el juicio de expertos. Las categorías sugeridas son: *Estratégica*, muestran incidencia en la definición de planes estratégicos e impacto para el logro de los objetivos estratégicos. *Administrativa*, brindarán recomendaciones para los procesos organizacionales, buscando la mejora continua en las áreas administrativas. *Operativa*, relacionadas con la puesta en marcha del producto del proyecto. *Técnica*, asociadas con el diseño del producto del proyecto y especificaciones técnicas de los equipos e infraestructura requerida, áreas de conocimiento de la dirección de proyectos, otras áreas específicas del proyecto.

5. Divulgar: comunicación, de acuerdo con la categorización y alineación con las estrategias de comunicación interna.

6. Aplicar y Mejora: Desde la adopción, la definición y revisión de los planes de acción , hasta la implementación de dichos planes.

7. Seguimiento y Control: verificación de los planes de acción y del cumplimiento del proceso, y la definición de acciones oportunas que mejoren su desempeño.

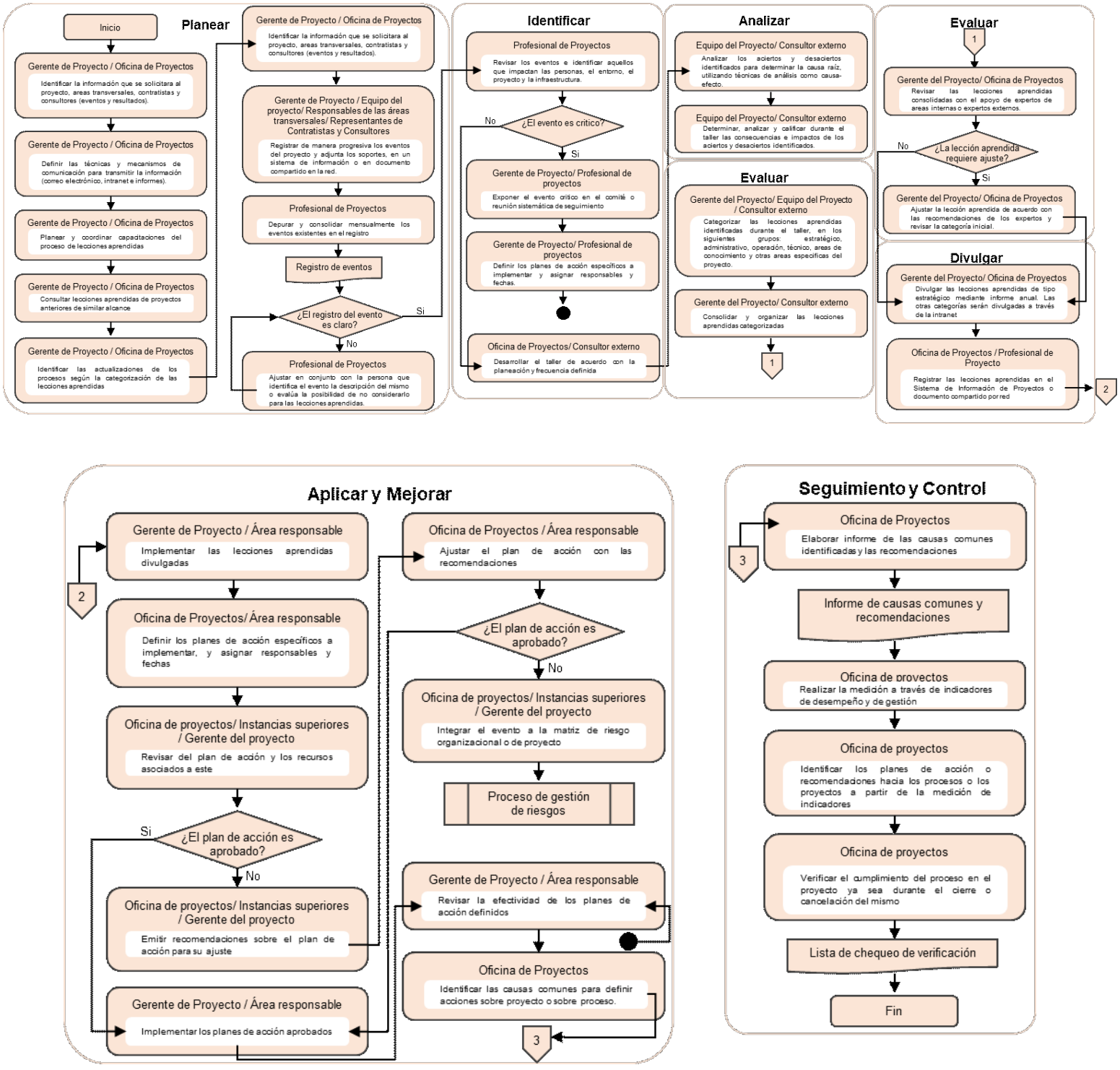


Figura. 17 Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016).

Como se puede visualizar en las Figuras cada actividad del proceso requiere información de entrada y técnicas que facilitan la obtención y análisis de la información, de forma a que se generen salidas de cada actividad del proceso propuesto.

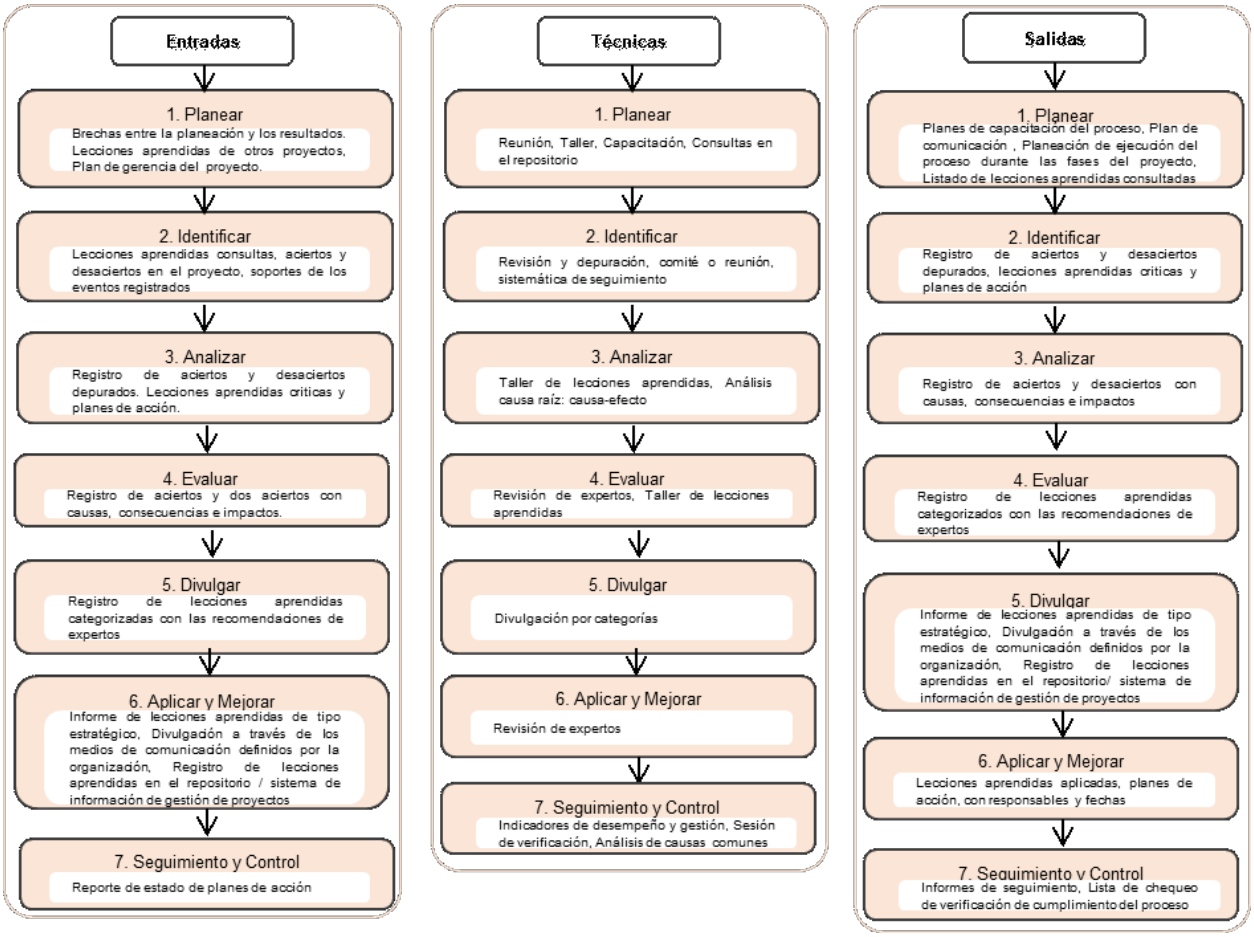


Figura. 18 Interacción de las entradas en el proceso de Lecciones Aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado (Díaz-Niño et al., 2016).

En la revisión de la literatura de las lecciones aprendidas en proyectos de electrificación rural o zonas no interconectadas se presentaron en la Tabla 6. los siguientes antecedentes de resultados:

Tabla 6. Antecedentes revisión literaria en bases de datos de Lecciones aprendidas., Fuente: Elaboración propia

Articulo	Autores	Año de Publicación
Lessons Learned from Solar Energy Projects in Saudi Arabia	F.S. HURAIB, S.M. HASNAIN, and S.E. ALAWAJI	Saudi Arabia (1996)
Lecciones Aprendidas en Electrificación Rural	Cadena, C; Barcena, H; Caso3 , R; Fernández4 , C; Suligoy5 H.	Salta-Argentina (2005)
Lessons Learned from the Photovoltaic Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects	R. Margolis, R. Mitchell, and K. Zweibel	Colorado (2006)

Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile	Marcia Montedonicoa, Francisca Herrera-Neiraa, Andrés Marconia, Anahí Urquizab, Rodrigo Palma-Behnkec.	Chile (2018)
Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects.	Fatema Almeshqaba, , Taha Selim Ustunb	USA (2018)
Good practices and lessons learned: Solar interventions under erry project in Yemen	Abyan, Hajjah, Hodeidah, and Lahj	Yemen (2019)
Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica.	Sandra Patricia Jaramillo Montoya , Lucy Albany Suárez Marín	Colombia (2019)
Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas.	Juan David Marín-Jiménez, Parménides Justo González-Cruz	Colombia (2019)

A. Lessons Learned from Solar Energy Projects in Saudi Arabia

Este documento describe las lecciones aprendidas de las principales actividades de RD&D en el Energy Research Institute (ERI), Ciudad Rey para la Ciencia y la Tecnología (KACST) en el campo de la energía solar fotovoltaica, niveles termales, calentamiento solar de agua, bombeo y desalinización de agua solar, producción de hidrógeno solar y la utilización son algunas de las áreas estudiadas para aplicaciones de energía solar. Recomendaciones y pautas también se ofrecen para futuras investigaciones, desarrollo, demostración y difusión de energía solar en Arabia Saudita (Huraib, Hasnain, & Alawaji, 1996).

La energía solar en Arabia Saudita es de gran valor por las siguientes razones:

- La mayoría de la población se concentra en áreas urbanas, pero sus habitantes restantes se encuentran dispersos en pequeñas comunidades nómadas, donde el consumo de energía es muy bajo. No es económicamente viable y a veces no es posible conectar esas comunidades con la red eléctrica (Huraib et al., 1996).

- En las regiones montañosas, el transporte de combustible, las telecomunicaciones y la transmisión de energía son difíciles. Por lo tanto, se requieren sistemas descentralizados, que puedan adaptarse adecuadamente a la energía solar. Para aplicaciones urbanas e industriales, se puede producir agua caliente mediante un eficiente calentamiento solar de agua. sistema que podría conservar enormes cantidades de electricidad. Los sistemas de energía solar también podrían proporcionar catódicos protección contra la corrosión de revestimientos de pozos de petróleo y oleoductos en todo el país (Huraib et al., 1996).

Debido a su potencial, la investigación sobre energía solar en Arabia Saudita está siendo realizada por Rey Abdulaziz. Ciudad para la ciencia y la tecnología (KACST) en Riad. KACST tiene varios programas conjuntos en el campo incluyendo SOLERAS con los Estados Unidos de América e HYSOLAR con la República Federal de Alemania. El principal trabajo de RD&D en el campo de la energía solar en Arabia Saudita lo está llevando a cabo el Energy Research Institute (ERI) en KACST (Huraib et al., 1996).

A pesar de la viabilidad técnica y el gran potencial de diversas tecnologías de energía solar, su uso sigue siendo limitado. Las principales limitaciones en el uso de energía solar son el mayor costo y la menor eficiencia de conversión. Uno de los factores más importantes para reducir los costos y aumentar la eficiencia de conversión es el rendimiento de diversos materiales básicos utilizados en dispositivos solares. Se debe llevar a cabo una investigación exhaustiva para diversas fuentes de energía solar, dispositivos, así como materiales básicos como materiales de revestimiento, silicio policristalino y no cristalino materiales de silicona (Huraib et al., 1996).

Se deben realizar estudios detallados para evaluar el campo cultural, social y económico de aceptación de las tecnologías de energía solar en diferentes grupos de población. Competitividad económica, falta de conciencia del consumidor y falta de información sobre el rendimiento, la durabilidad, la fiabilidad y el coste. La eficacia de las tecnologías de energía solar en condiciones climáticas reales son las barreras para el uso de energía solar, una vez que se superen estas barreras, habrá un futuro prometedor para las tecnologías de energía solar en Arabia Saudita (Huraib et al., 1996).

KACST ha logrado un éxito en programas internacionales conjuntos en el avance de la energía solar tecnología y transferencia de la misma. Ha aprendido varios tipos de lecciones administrativas y de gestión de operar estos programas. Esas lecciones pueden concluirse como:

- La financiación compartida es más productiva que la financiación de una sola fuente.
- Puede producirse un impacto sustancial en los resultados del programa, si los objetivos del programa no se organizan claramente según la importancia.
- Una menor participación oficial en la administración diaria del programa ayuda a acelerar la generación de resultados, participación de individuos, en lugar de organizaciones comerciales, para llevar a cabo el trabajo de RD&D requerido es más eficaz para difundir las tecnologías desarrolladas a otros.

No obstante, las experiencias adquiridas durante los programas conjuntos internacionales ayudan a establecer una serie de proyectos independientes de energía solar en ERI, KACST (Huraib et al., 1996).

B. Lecciones Aprendidas en Electrificación Rural

Existen en Salta, al menos en las que tuvo participación el INENCO, instalaciones fotovoltaicas, que funcionaron desde principios de los ochenta. Si se tiene en cuenta, las características de la región en cuestión, solo por mencionar el estrés térmico de los materiales, el ataque de la radiación ultravioleta, o el persistente viento en algunos sitios de la Puna, no es poco tiempo. Sin embargo, y debido probablemente entre otras razones, a una estrategia inadecuada en la

transferencia de la tecnología solar en general y de los módulos FV en particular, la utilización masiva de la isma, se viene postergando año tras año(Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

El objetivo del proyecto fue el de la investigación de la trasferencia de tecnologías, mucho más allá de lo meramente técnico, los equipos en general funcionan aceptablemente. Se puede decir que a pesar de que no existen recetas o fórmulas que aplicar tal cual lo haría un alquimista, es factible reconocer ciertas acciones que permiten llevar adelante la inserción de la tecnología con el menor impacto (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

En líneas generales los primeros proyectos en los que intervino el INENCO fueron planteados como experiencias demostrativas en general del tipo térmico pero también de la tecnología solar fotovoltaica. La planta de bombeo, colocada en el marco de un convenio con la provincia de Salta vigente en esa época, fue instalada a unos 40 km al norte de la localidad de San Antonio de los Cobres. Constaba de un conjunto de módulos de 1KWP, y una motobomba sumergible, y funcionó una temporada, hasta que el vandalismo la dejó fuera de servicio (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

Diferente fue el caso del puesto sanitario de Castro Tolay, donde el aspecto central del proyecto fue el acondicionamiento térmico del local, dado que es una zona de clima muy riguroso en invierno y frío en la mayor parte del año, como así también la provisión de agua caliente, ocupando la parte eléctrica un papel secundario. No obstante, los dos módulos de 45WP instalados, fueron empleados sistemáticamente para iluminación, incluso sirvieron como centro de cargas (no declarado) de baterías de plomo ácido en la zona, y funcionaron satisfactoriamente muchos años. Puede decirse que los objetivos propuestos se consiguieron largamente, y el servicio mejoró claramente sus prestaciones, ya que tanto médicos como agentes sanitarios mejoraron su frecuencia de atención en el lugar, y tanto la temperatura en el interior del mismo, como el servicio de provisión de agua caliente es siempre adecuado. El equipamiento térmico continúa funcionando, mientras que una decisión política hizo que se levantara prematuramente el eléctrico, aunque en la actualidad posee suministro, provisto por la empresa privada que posee la concesión del servicio disperso (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

Si bien como se planteó antes, no hay recetas en la transferencia de tecnología, la experiencia adquirida en el marco de este proyecto, abrirá las puertas para que en el futuro no se repitan cierto tipo de errores. El trabajo previo con la comunidad con profesionales del área social aportó mucha información acerca de sus necesidades, pero estas acciones deben tener necesariamente un “ida y vueltas con los responsables del área técnica” y con decisiones consensuadas. Esto ayudará a que los usuarios finales se apropien de la tecnología. En igual sentido se deben idear los mecanismos para trasmitir la mayor cantidad de conocimientos posible con todo el arsenal de medios con que se cuente sin subestimar la capacidad de los actores que participen (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

Buscar su organización para fortalecer la sostenibilidad, entendiéndose que si el proyecto no es sostenible en el tiempo, no cumplió sus objetivos. Por considerar un ejemplo mínimo: la inclusión de dispositivos para producir agua destilada, sumado a la explicación de su funcionamiento y a la importancia del líquido en la durabilidad del sistema significó un gran

avance. De allí el papel tan importante de la capacitación, que deberá ser considerado como un bien muy preciado, pues colaborará con las tareas de mantenimiento. Es de destacar el rol de los actores con consenso social más allá de su área específica de formación profesional, como en cada equipo de trabajo, debe existir algún integrante con habilidades especiales para el contacto y la capacitación (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

También resulta muy útil reconocer la existencia de los diferentes actores, como una interrelación dinámica, donde el aporte de cada uno de ellos mejora el proyecto. En ese sentido, se tomaron experiencias previas de la zona y por ejemplo, cada una de las alternativas planteadas para la distribución de la energía utilizadas, tuvo sus ventajas y factores negativos: la interconexión de los tres subsistemas con cableado exterior resultó muy vulnerable frente a las descargas atmosféricas por un lado, y el consumo si bien esporádico pero descontrolado en las actividades del salón comunitario produjeron en general inconvenientes. Estos son temas de discusión que no pueden ni deben ser dejados de lado. Finalmente es para mencionar que imprescindible la inclusión en el presupuesto general de un rubro, no-inferior al 5% para la realización de las visitas periódicas post instalación, ya que mucho proyectos comienzan después de la instalación propiamente dicha de los equipos y se pueden justificar plenamente, ya que en los hechos el seguimiento nunca se acaba (Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, 2005).

C. Lessons Learned from the Photovoltaic Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects

Desarrollar tecnologías innovadoras como la fotovoltaica implica asumir riesgos financieros y tecnológicos. Ayudar a compartir el riesgo de I + D entre los sectores público y privado, se produjo un cambio de importancia crítica durante la década de 1980, desde la contratación de costos más costos hasta la contratación de costos compartidos. Con la aprobación de la Tecnología Ley de Innovación de 1980 (también conocida como Ley Stevenson-Wydler) y Patentes y Marcas Ley de Enmiendas de 1980 (también conocida como Ley Bayh-Dole), se sentaron las bases para la distribución de costos. Durante los últimos 20 años, el uso de costos compartidos, al involucrar al sector privado en I + D, se ha vuelto práctica bastante estándar(Margolis, Mitchell, & Zweibel, 2006).

Evaluar propuestas de proyectos y otorgar reconocimiento requiere establecer algún tipo de selección de panel solar fotovoltaico. La eficacia de este proceso está relacionada con la independencia, objetividad y experiencia real o percibida de los miembros del panel. La composición del panel tiene implicaciones para la efectividad y credibilidad del proceso de selección (Margolis et al., 2006).

Las siguientes lecciones sobre el costo compartido público-privado han surgido del proyecto PVMaT / PVMR & D:

• Grandes empresas que no pueden permitirse compartir los costos al 50% o más en la fabricación de gran valor en dólares .Los subcontratos de I + D no cuentan con los recursos para mantener la expansión de la capacidad y la competitividad (Margolis et al., 2006).

• Es posible que las empresas más pequeñas y menos maduras no puedan compartir los costos tanto: un costo compartido del 30% para un subcontrato de menor valor en dólares es razonable para tecnologías probadas. A medida que estas empresas maduran, es razonable esperar que compartan los costos al 50% para los subcontratos de menor valor en dólares (Margolis et al., 2006).

• Muchas empresas se muestran reacias a implementar nuevos procesos de fabricación, pero una asociación con el gobierno de la industria puede ayudar a que la implementación de nuevas tecnologías sea una prioridad. Por ejemplo, Solarex (ahora BP Solar) se mostró reacia a implementar sierras de alambre a principios de la década de 1990, hasta que firmó un Subcontrato de PVMaT / PVMR & D, y el personal clave argumenta que todavía podría estar usando la tecnología anterior si no fuera por la participación en el proyecto. Hoy, esta mejora ahorra a BP Solar millones de dólares por año, y el uso de sierras de alambre se ha extendido ampliamente a otras empresas fotovoltaicas y a otras partes de la industria de semiconductores (Margolis et al., 2006).

Desde el principio, las propuestas de proyectos se evaluaron mediante paneles independientes con expertos de los sectores público y privado. Para asegurarse de que no haya conflictos de intereses, no hay panel de evaluación. Se eligieron expertos que tuvieran vínculos actuales con la industria fotovoltaica. Aunque el proyecto del día a día, la gestión estuvo a cargo de un equipo de especialistas en I + D en la sede del DOE, NREL. Laboratorios Nacionales, los paneles tenían un control real sobre la asignación de los recursos del proyecto.

• Por lo general, los paneles de evaluación incluían una persona de NREL y una persona de Sandia en un panel de 12 o más personas. Estos paneles fueron diseñados para tener una representación de la industria pesada. para asegurar su credibilidad con la industria. El número limitado de gerentes gubernamentales en los paneles. ha sido un desafío a veces porque los gerentes de proyecto deben estar dispuestos a arriesgarse a perder algunos controles sobre el proceso (Margolis et al., 2006).

• Los participantes tenían una amplia combinación de experiencia (por ejemplo, fabricación, servicios públicos y banca de inversión) en las industrias de semiconductores y (anteriormente) fotovoltaica para proporcionar una visión amplia del mercado. Aunque amplio, la representación en los paneles ha funcionado bien, ha sido un desafío mantener una buena combinación de personas debido al grupo limitado de participantes potenciales (es decir, personas con conocimientos relevantes de PV que actualmente no están vinculados a la industria fotovoltaica) (Margolis et al., 2006).

Comprender las ventajas y desventajas de elegir un panel de selección. Paneles elegidos por su objetividad, independencia y evitar posibles conflictos de intereses añaden credibilidad y mejoran aceptación de las partes interesadas; pero podrían carecer de conocimientos tecnológicos actuales y profundos o favorecer tecnologías. Los paneles elegidos por su experiencia permiten evaluaciones tecnológicas profundas y abren el campo a las tecnologías emergentes, pero podría resultar en una perspectiva estrecha o una mayor subjetividad (Margolis et al., 2006).

D. Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile

El Energy Center ha desarrollado una metodología de construcción para abordar los desafíos de la tecnología, transferencia basada en proyectos de generación distribuida, en el contexto de transiciones energéticas en lugares aislados. Basado Sobre las experiencias desarrolladas entre 2010 y 2017, este trabajo analizo el proceso de elaboración de la metodología co-construcción. Se identificaron nuevas herramientas a la luz de una reflexión teórico-metodológica y de esta discusión se propone una nueva versión de la metodología de co-construcción. Este proceso de aprendizaje combina investigación académica y proyectos aplicados. Ha proporcionado a Energy Center un conjunto mejorado de herramientas para proyectos en curso, y también contribuyó a una discusión teórico-metodológica basada en nuevas investigaciones ocupaciones (Montedonico, Herrera-Neira, Marconi, Urquiza, & Palma-Behnke, 2018).

Los principales problemas de método que se enfrentan se presentan durante el trabajo interdisciplinario, tales como:

Comprensión de conceptos fundamentales (sostenibilidad, participación, comunidad); el dominio de una disciplina sobre las demás; las diferentes visiones de las prioridades dentro de un mismo proyecto. Y esos problemas dados por el proceso de participación bajo la paradoja del "framing-overflowing", donde las limitaciones de los proyectos reales (fechas límite, presupuesto y KPI específicos) podrían limitar la posibilidad de realizar diagnósticos en profundidad y construir confianza. Uno de los principales desafíos identificados es que un impacto real en la experiencia general solo es factible si las lecciones se pueden traducir en productos concretos (mejores prácticas, directrices, herramientas), por lo que pueden ser adoptadas en el futuro por desarrolladores de proyectos (Montedonico et al., 2018).

Finalmente, las lecciones del mecanismo de monitoreo (asegurando la sustentabilidad) presentado en el documento de 2011, dieron lugar a la "Fase de Prueba", que muestra el desempeño del plan de acción. Esta etapa también considera la elaboración de una estructura financiera que incluya la búsqueda de fondos para asegurar la sostenibilidad económica (Montedonico et al., 2018).

En esta nueva versión de la metodología, la etapa responsable del diseño de sistemas de monitoreo fue reemplazado por una herramienta de seguimiento prediseñada, que debe adaptarse a cada contexto (sin embargo, dicha adaptación no fue suficiente y la herramienta en este caso carecía de pertinencia en el contexto territorial específico). La herramienta de monitoreo remoto se llama Social SCADA y es parte de la "Fase de prueba". Eso intentó proporcionar a la comunidad una descripción más completa del sistema de energía, más autonomía en el funcionamiento del sistema y mejorando la motivación del proyecto (Montedonico et al., 2018).

Si bien este era su objetivo inicial, el SCADA Social no lograr el control remoto y la apropiación esperados, a pesar de haber sido utilizado por el Ayuntamiento como una herramienta interactiva que les permitía explicar los componentes de la microrred en el marco de fines académicos o posible desarrollo turístico (Montedonico et al., 2018).

La metodología propuesta considera cuatro etapas, donde las lecciones aprendidas de los problemas metodológicos, así como de los exitosos se han tenido en cuenta los eventos encontrados en proyectos anteriores:

(1) Diagnóstico sociotécnico y formación de equipos, (2) Socio-técnico diseño del sistema y plan de sostenibilidad, (3) Implementación y primera impresión, y (4) Operación, evaluación y difusión. Estas cuatro etapas se centran en un proceso de aprendizaje y conocimiento colaborativo, Un impacto real de la experiencia general descrita en esta investigación solo es factible si las lecciones aprendidas se pueden traducir en productos concretos. Por ejemplo, mejores prácticas, lineamientos y herramientas, entre otros. Estos productos (bienes públicos) pueden ser adoptados por futuros desarrolladores de proyectos (por ejemplo, empresas, comunidades, municipios, asociaciones), evitando tales fracasos y retrasos recogidos en el enfoque de co-construcción propuesto gracias al proceso de aprendizaje de la CE (Montedonico et al., 2018).

Además, el capital humano desarrollado a lo largo de los proyectos también apoya nuevos desarrollos. Por lo tanto, una mayor probabilidad de éxito con respecto a la escalabilidad y replicabilidad de las soluciones de energía distribuida que se puede esperar (Montedonico et al., 2018).

E. Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects.

1.1 billones de personas de la población mundial todavía no tiene acceso a la electricidad en el siglo XXI. La mayor parte de la población reside en las comunidades rurales de los países en desarrollo del sur de Asia, América Latina y África subsahariana. El acceso a la electricidad puede eliminar los problemas existentes relacionados con la salud, la educación, la vida social, la economía y el medio ambiente, y puede aumentar los ingresos de las comunidades desatendidas (Almeshqab & Ustun, 2019).

La mayoría de lo que está por venir, las regiones energizadas se encuentran en áreas remotas y aisladas, a las que no se les puede dar servicio a través de la red central. Si bien los generadores Diesel descentralizados se pueden instalar potencialmente en estas áreas, tienen un efecto pobre sobre el cambio climático y mitigación. Se están implementando alternativas de energía renovable limpia para sistemas fuera de la red para reducir la tasa de no electrificación en el mundo, y la Agenda 2030 de The United Nation Foundation tiene el objetivo de generar acceso universal a la electricidad para 2030. Si bien ha habido algunos avances hacia ese objetivo, los desafíos son innumerables (Almeshqab & Ustun, 2019).

Si no se realizan cambios en los modelos, políticas y prácticas, no se logrará el objetivo del acceso universal, especialmente en África subsahariana que tiene un nivel de proyección de electrificación del 30% para 2030. Para determinar los cambios necesarios, este documento revisa las iniciativas de electrificación rural en ocho países en desarrollo, de Asia al África subsahariana a América Latina, y tiene como objetivo proporcionar una evaluación de su éxito y discutir las lecciones que se pueden aprender y aplicar en iniciativas futuras (Almeshqab & Ustun, 2019).

Una de las lecciones más importantes aprendidas de todos los proyectos piloto en todo el mundo es que los responsables de la formulación de políticas deberían crear un entorno en el que haya

direcciones futuras claramente definidas. Es importante que estas direcciones no se cambien con frecuencia para que los inversores o los desarrolladores de proyectos puedan tener una sensación de seguridad, ya que se encuentran en financiamiento y construcción de los proyectos. Estas direcciones futuras pueden diferir entre comunidades, sitios o países. Por ejemplo, algunos países pueden apegarse a la iniciativa empresarial privada para tales sistemas, Tanzania e India, mientras que otros pueden optar por microrredes financiadas por el gobierno, un ejemplo es Kenia. La solución facilita mucho la financiación y es más fácil llegar a más personas en un período de tiempo más corto (Almeshqab & Ustun, 2019).

Este artículo presenta 12 estudios de caso de iniciativas de electrificación rural en ocho países en desarrollo diversos, para extraer lecciones basadas en experiencias pasadas para el trabajo futuro en este campo. Si bien el enfoque de la investigación es soluciones de energía renovable fuera de la red, también analiza los enfoques de extensión de la red central y sistemas de electrificación con generadores Diesel, para contrastar casos de diferente naturaleza y para proporcionar una amplia gama de prácticas de electrificación rural. Si bien todas las lecciones derivadas de esta revisión son pertinentes, existe un potencial inexplorado principalmente en la demanda de electrificación rural. La mayoría de los proyectos de electrificación rural se han basado en datos previos a la implementación extraídos del juicio de la comunidad sobre sus necesidades, y la medición del valor socioeconómico alcanzado a través del desarrollo de los proyectos también se ha basado en la opinión de la comunidad después de la implementación del proyecto (Almeshqab & Ustun, 2019).

Los resultados generalmente no son óptimos ya que, como se ha observado tradicionalmente, las comunidades no electrificadas no tienen la capacidad de estimar sus demandas posteriores a la electrificación. La comparación de diferentes encuestas Los modelos en Senegal sugieren la necesidad de encontrar mejores formas de medir la demanda en lugar de encuestar solo a la comunidad a ser atendida. A futuro el trabajo requiere una investigación exhaustiva en la estimación del comportamiento posterior a la electrificación de una región comparándola con otras áreas electrificadas con parámetros similares (Almeshqab & Ustun, 2019).

Desarrollar un modelo que pueda avanzar basado en políticas de electrificación rural alineadas con la demanda proyectada de las comunidades y cuantificar el valor socioeconómico del proceso de la electrificación, incluso antes de que comience, puede allanar el camino para un gran desarrollo en el campo de la electrificación rural con energías renovables (Almeshqab & Ustun, 2019).

F. Good practices and lessons learned: Solar interventions under erry project in Yemen

El proyecto ha aportado varias lecciones aprendidas incluido el hecho de que los proyectos solares deben ser replicados en más áreas en Yemen. Las intervenciones necesitan evaluar adecuadamente las necesidades y requerimientos de los beneficiarios y asumir las operaciones y el mantenimiento de estos sistemas en consideración. La necesidad de más sistemas parece ser un tema común en energía solar (UNDP, 2019).

Se espera que los sistemas solares funcionen durante décadas, pero las baterías se agotan rápidamente. Se crean programas para generar conciencia sobre cómo mantener la energía solar.

Los sistemas son importantes para asegurar que sean utilizados a su máxima capacidad. Los programas deben capacitar a los participantes en precauciones, cómo manejar y solucionar problemas, y dónde encontrar ayuda si es necesario (UNDP, 2019).

Las buenas prácticas incluyen una evaluación adecuada de necesidades y requisitos para asegurar el cableado y los electrodomésticos que utilizan el sistema solar son más eficiente energéticamente. La energía solar no solo ha traído luz a oscuridad, ha iluminado el corazón de la gente y mentes como individuos y comunidades. Eso ha proporcionado comida, agua limpia y una oportunidad a una vida digna para muchas comunidades rurales
en Yemen, al tiempo que limita las emisiones de carbono (UNDP, 2019).

El estudio abordó el papel de la energía solar fotovoltaica - paneles en la mejora de la educación y capacitar a las escuelas para hacer frente a sus necesidades energéticas. Las escuelas necesitan poder para iluminación, circulación de aire, bombeo de agua para baños y la radio escolar diaria. Varias organizaciones internacionales se han comprometido a realizar intervenciones solares dirigidas a las escuelas en Yemen como UNICEF, PNUD, UNOPS y CARE International (UNDP, 2019).

El proyecto solar ERRY del PNUD se centró en las escuelas conforme al proceso de nominación preparado y llevado a cabo por las autoridades locales, oficinas ejecutivas y equipos de proyectos en el nivel de distrito y de gobernación. El proyecto también se dirigió a las escuelas que tienen un gran número de estudiantes, especialmente las escuelas para niñas. La mayoría de las escuelas participaron en el proyecto solar diseño, implementación y seguimiento, mientras que algunos recomendaron involucrar a los maestros, estudiantes y padres. Además, autoridades locales confirmaron su participación en la selección e identificación de escuelas. Tales prácticas permitidas en el proyecto de la comunidad local, propiedad y asistencia en la consecución del proceso de implementación del proyecto (UNDP, 2019).

Casi todas las escuelas indicaron un cambio positivo después de la instalación del sistema solar fotovoltaico, antes, estudiantes y profesores sufrían de clima caluroso, especialmente con el hacinamiento de estudiantes en el aula, lo que lleva a una alta tasas de deserción de estudiantes principalmente mujeres. Las escuelas tuvieron que reducir el número de sesiones con los estudiantes porque no pudieron continuar hasta el final del día escolar debido a los cambios climáticos (UNDP, 2019).

Lecciones aprendidas:

1. Las intervenciones futuras deben evaluar la infraestructura escolar y las necesidades energéticas antes a la implementación del sistema, incluso si los cables de alimentación actuales son lo suficientemente eficientes. Es posible que las luces no sean energéticamente eficientes y deban reemplazarse, al igual que otros electrodomésticos como ventiladores, computadoras y bombas de agua.

2. Introducir sistemas de eficiencia de energía solar, como el uso de ventiladores de bajo voltaje para las escuelas ya que son esenciales en condiciones y áreas de clima cálido.

3. Para garantizar la sostenibilidad del sistema solar y prolongar la vida útil de la batería, el encendido / apagado. Los sistemas solares de red deben introducirse para un uso específico donde los sistemas solares en las escuelas. Puede funcionar sin pilas durante las horas de luz solar.

G. Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica.

La disponibilidad del recurso energético constituye un eslabón fundamental del desarrollo económico, sus fuentes de producción pueden ser no convencionales y convencionales. Colombia genera en gran porcentaje la energía con centrales hidroeléctricas, una de ellas la represa de El Peñol Guatapé, ubicada en el Oriente antioqueño, construida en las décadas del sesenta y el setenta, con fuertes impactos sociales a la comunidad en la zona de influencia directa, dada la ausencia de la legislación ambiental y responsabilidad social de la época (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

Ante la nueva situación, la comunidad reaccionó y obligó a tomar medidas de manejo y compensación, convirtiéndose en una fuente de aprendizaje para las autoridades privadas y públicas, que junto con otros proyectos que se asentaban e impactaban la región, dieron origen a la autoridad autónoma regional CORNARE. Actualmente, con una legislación ambiental más madura, la preocupación del cambio climático por reducir la huella de carbono y atender una demanda de energía creciente, se impulsan las fuentes no convencionales de energía, dentro de las que clasifican las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), con menos requerimientos de tipo técnico y financiero, con un menor impacto ambiental, con algunas exigencias de normatividad menos rígida que otros proyectos de generación con represa o embalse (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

Sin embargo, esta última premisa exige no tomar su desarrollo en la región a la ligera, teniendo en cuenta el alto número de solicitudes para su construcción, lo cual amerita considerar las lecciones aprendidas y el principio de prevención y precaución con el fin de garantizar que los proyectos de energía sean sostenibles ambiental y socialmente en el tiempo (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

Según la información recopilada en el desarrollo de la investigación, se evidenciaron tres criterios que agrupan las lecciones aprendidas en el transcurso histórico desde el inicio del asentamiento de los grandes proyectos hidroeléctricos en el Oriente antioqueño y lo manifestado en las entrevistas por parte de los expertos de los tres grupos consultados, estos criterios corresponden a los componentes: social, ambiental e institucional.

1. Social: Es necesario, en la planificación de los proyectos, identificar otros que se estén realizando en el área de influencia, esto con el fin de generar verdaderas capacidades en la región, no se debe esperar a que los impactos se materialicen para dar una respuesta con medidas improvisadas que no responden a las necesidades reales, creando desconfianza en la comunidad. Para esto es necesario, como lo mencionaron los expertos, entrar a una comunidad con tiempo antes de intervenirla para conocerla e identificar sus

verdaderas necesidades, y en conjunto encontrar una solución objetiva y adecuada, esto exige un compromiso inicial de cooperación entre los inversionistas del proyecto, los ejecutores, las administraciones públicas y la corporación autónoma regional. No se puede volver a llegar a una población ignorando su individualidad, sus costumbres, arraigos y creencias con los informes de escritorio, como se llegó a la población del Peñol y Guatapé, es necesario conocer su realidad desde la experiencia y el contacto con sus comunidades (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

2. Ambiental: Es necesario tener herramientas científicas y técnicas para medir los verdaderos impactos ambientales. Hacer un levantamiento técnico de los verdaderos impactos de este tipo de proyectos, en conjunto con la academia y el Estado, que permita visionar y crear medidas efectivas antes de que ocurran los impactos irreversibles. Teniendo en cuenta el interés de la autoridad ambiental para el control de este tipo de proyectos, el volumen de estos en la región y su capacidad para dar respuesta, se sugiere tener una base de datos que permita cruzar la información de las diferentes cuencas y características de sus ecosistemas, además de los actores que están interviniendo en este tipo de proyectos, esto con el fin de no repetir información y optimizar recursos técnicos(Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

3. Institucional: se propone aumentar las capacidades para responder a la creciente demanda de las solicitudes de licenciamiento de este tipo de proyectos, es necesario que la autoridad ambiental cuente con un número de profesionales adecuado para esta tarea, y porque no, contar con el apoyo de las administraciones municipales de cada una de las áreas de influencia desde las secretarías de planeación y hábitat y medio ambiente (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

Lo anterior ha implicado un cambio en las costumbres y dinámicas de vida de los pobladores, este escenario trajo también consigo beneficios que han permitido consolidar la región como una de las más prósperas del país; pero para continuar en esta dirección es necesario conocer y tomar las lecciones que deja el pasado, con el fin de repetir proyectos exitosos y buscar caminos para evitar, mitigar o compensar impactos de manera adecuada, es necesario que a la par con los proyectos, la sociedad civil sea la ganadora en beneficios para su entorno y contexto (Jaramillo Montoya & Suárez Marín, 2018).

H. Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas

El diseño de parques solares fotovoltaicos presenta una incertidumbre técnica en la búsqueda de una solución óptima (beneficio/costo) para implementar en un determinado proyecto. Los beneficios en la selección de un sistema de inversores centralizados o distribuidos varían según la disposición tecnológica de cada país. Adicionalmente, los recientes desarrollos tecnológicos pueden presentar incompatibilidad con tecnologías tradicionales, es decir, la elección de una tecnología de inversores exigiría utilizar toda la gama de productos de determinada compañía (Jiménez, 2020).

Por lo tanto, seleccionar unas características para el diseño (tecnología en inversores centralizados o distribuidos, capacidad de cada panel solar de 330 Wp o 390 Wp) debe considerar una solución integral que incluya entre otros los impactos: técnicos (confiabilidad, pérdidas eléctricas, regulación, nivel de tensión, etc); económicos (precio de equipos, costos nivelados - LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logísticos (tiempos de importación, transporte de equipos, necesidad de infraestructura de telecomunicaciones y eléctrica, precio de importación de equipos, precio de tecnologías seleccionadas); regulatorios (requerimientos técnicos de cada país). En el documento se presentan las lecciones aprendidas durante la realización del diseño de un parque solar de 20 MW ubicado en Panamá (Jiménez, 2020).

Lecciones Aprendidas:

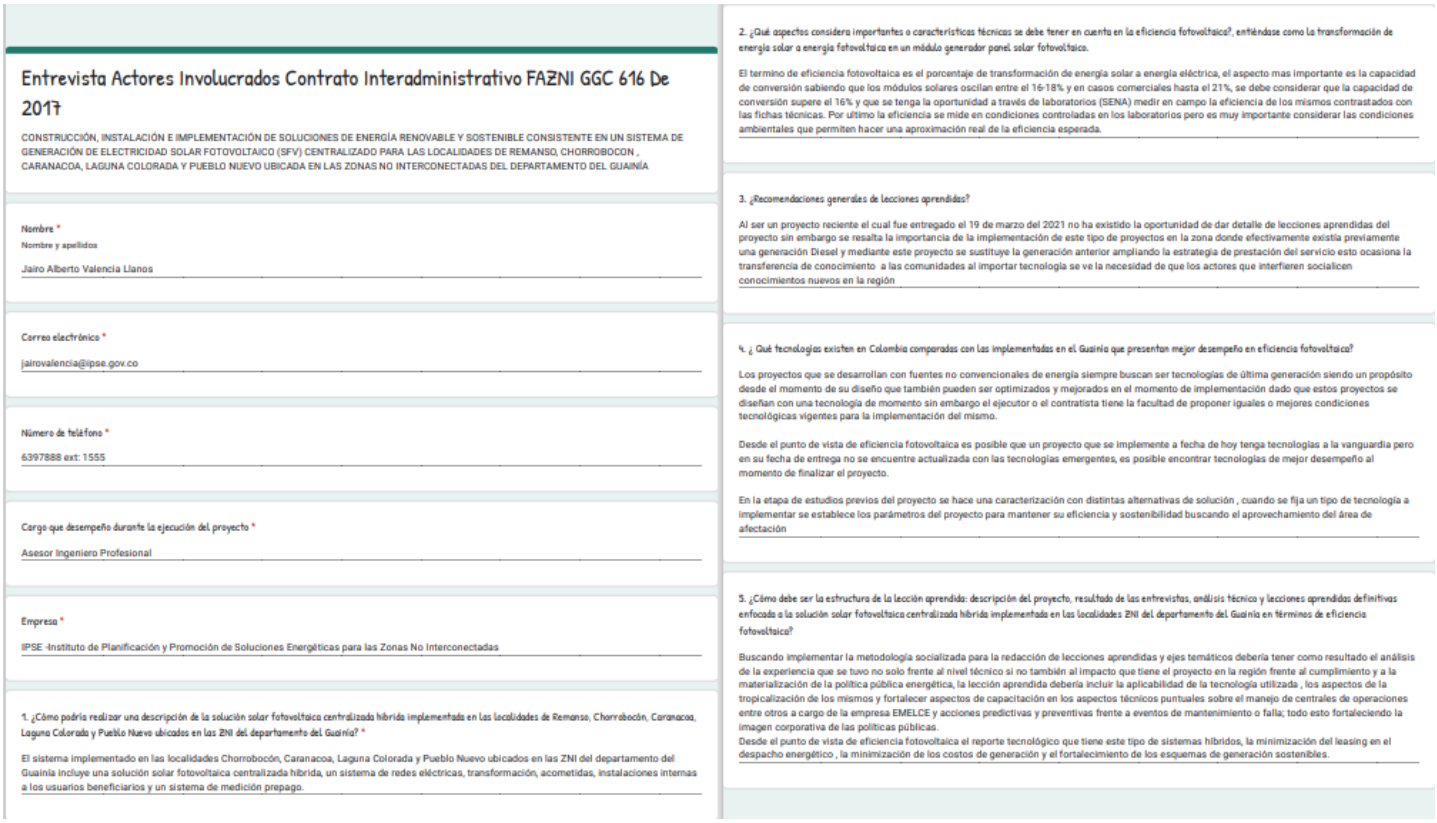
1. Garantías y soporte técnico. Los fabricantes de los inversores solares deben garantizar en general 5 años por defecto en equipos. Adicionalmente, se recomienda exigirle al proveedor un soporte técnico con respuesta menor a 24 horas (según la ubicación del proyecto).

2. Los principales factores a evaluar durante el diseño de un parque solar fotovoltaico son: impactos técnicos (confiabilidad, pérdidas eléctricas, regulación, nivel de tensión, horas de brillo solar etc); económicos (precio de equipos, costos nivelados – LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logísticos (tiempos de importación, transporte de equipos, necesidad de infraestructura de telecomunicaciones y eléctrica, precio de importación de equipos, precio de tecnologías seleccionadas), regulatorios (requerimientos técnicos de cada país); geográficos y topográficos.

7.2 Desarrollar un instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE.

En esta sección se muestra el resultado de desarrollar un instrumento de recolección de datos (Encuesta), con el fin de obtener información que sirva para poder identificar las lecciones aprendidas y el análisis de manera cuantitativa de los resultados de las encuestas, para poder encontrar los errores que se cometieron en cada fase del proyecto. Para el desarrollo de esta segunda etapa de la metodología propuesta se elaboró una encuesta la cual fue orientada a profesionales asesores del IPSE involucrados en el proyecto energético, Los resultados y la elaboración del formulario de encuesta se encuentra en el Anexo 2 de este documento .

En la Figura .19. se presenta el formulario de encuesta elaborado orientado a ser desarrollado por los profesionales asesores del IPSE involucrados en el proyecto energético. En este caso el Ingeniero Jairo Alberto Llanos Valencia profesional asesor del IPSE, encargado durante todas las fases de ejecución del proyecto fue el comisionado de dar respuesta a cada uno de los cuestionamientos formulados.



Entrevista Actores Involucrados Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 De 2017

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA

Nombre *
Nombre y apellidos
Jairo Alberto Valencia Llanos

Correo electrónico *
jairovalencia@ipse.gov.co

Número de teléfono *
6397888 ext: 1555

Cargo que desempeño durante la ejecución del proyecto *
Asesor Ingeniero Profesional

Empresa *
IPSE -Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas

1. ¿Cómo podría realizar una descripción de la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades de Remanso, Chorrobocón, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en las ZNI del departamento del Guainía? *

El sistema implementado en las localidades Chorrobocón, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en las ZNI del departamento del Guainía incluye una solución solar fotovoltaica centralizada hibrida, un sistema de redes eléctricas, transformación, acometidas, instalaciones internas a los usuarios beneficiarios y un sistema de medición prepago.

2. ¿Qué aspectos considera importantes o características técnicas se debe tener en cuenta en la eficiencia fotovoltaica?, entiéndase como la transformación de energía solar a energía fotovoltaica en un módulo generador panel solar fotovoltaico.

El termino de eficiencia fotovoltaica es el porcentaje de transformación de energía solar a energía eléctrica, el aspecto mas importante es la capacidad de conversión sabiendo que los módulos solares oscilan entre el 16-18% y en casos comerciales hasta el 21%, se debe considerar que la capacidad de conversión supere el 16% y que se tenga la oportunidad a través de laboratorios (SENA) medir en campo la eficiencia de los mismos contrastados con las fichas técnicas. Por ultimo la eficiencia se mide en condiciones controladas en los laboratorios pero es muy importante considerar las condiciones ambientales que permiten hacer una aproximación real de la eficiencia esperada.

3. ¿Recomendaciones generales de lecciones aprendidas?

Al ser un proyecto reciente el cual fue entregado el 19 de marzo del 2021 no ha existido la oportunidad de dar detalle de lecciones aprendidas del proyecto sin embargo se resalta la importancia de la implementación de este tipo de proyectos en la zona donde efectivamente existía previamente una generación Diesel y mediante este proyecto se sustituye la generación anterior ampliando la estrategia de prestación del servicio esto ocasiona la transferencia de conocimiento a las comunidades al importar tecnología se ve la necesidad de que los actores que interfieren socialicen conocimientos nuevos en la región

4. ¿ Qué tecnologías existen en Colombia comparadas con las implementadas en el Guainía que presentan mejor desempeño en eficiencia fotovoltaica?

Los proyectos que se desarrollan con fuentes no convencionales de energía siempre buscan ser tecnologías de última generación siendo un propósito desde el momento de su diseño que también pueden ser optimizados y mejorados en el momento de implementación dado que estos proyectos se diseñan con una tecnología de momento sin embargo el ejecutor o el contratista tiene la facultad de proponer iguales o mejores condiciones tecnológicas vigentes para la implementación del mismo.

Desde el punto de vista de eficiencia fotovoltaica es posible que un proyecto que se implemente a fecha de hoy tenga tecnologías a la vanguardia pero en su fecha de entrega no se encuentre actualizada con las tecnologías emergentes, es posible encontrar tecnologías de mejor desempeño al momento de finalizar el proyecto.

En la etapa de estudios previos del proyecto se hace una caracterización con distintas alternativas de solución , cuando se fija un tipo de tecnología a implementar se establece los parámetros del proyecto para mantener su eficiencia y sostenibilidad buscando el aprovechamiento del área de afectación

5. ¿Cómo debe ser la estructura de la lección aprendida: descripción del proyecto, resultado de las entrevistas, análisis técnico y lecciones aprendidas definitivas enfocada a la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades ZNI del departamento del Guainía en términos de eficiencia fotovoltaica?

Buscando implementar la metodología socializada para la redacción de lecciones aprendidas y ejes temáticos debería tener como resultado el análisis de la experiencia que se tuvo no solo frente al nivel técnico si no también al impacto que tiene el proyecto en la región frente al cumplimiento y a la materialización de la política pública energética, la lección aprendida debería incluir la aplicabilidad de la tecnología utilizada , los aspectos de la tropicalización de los mismos y fortalecer aspectos de capacitación en los aspectos técnicos puntuales sobre el manejo de centrales de operaciones entre otros a cargo de la empresa EMELCE y acciones predictivas y preventivas frente a eventos de mantenimiento o falla; todo esto fortaleciendo la imagen corporativa de las políticas públicas.
Desde el punto de vista de eficiencia fotovoltaica el reporte tecnológico que tiene este tipo de sistemas híbridos, la minimización del leasing en el despacho energético , la minimización de los costos de generación y el fortalecimiento de los esquemas de generación sostenibles.

Figura. 19 Formulario de encuesta orientado a los profesionales del IPSE involucrados en el proyecto, Fuente: Elaboracion propia

De los resultados obtenidos en la encuesta orientada a los involucrados en el proyecto de generación soportado en el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 se presenta el siguiente análisis cuantitativo Tabla 7, en el cual a cada una de las respuestas dadas por el profesional del IPSE mediante el rango de evaluación se determinó los puntos críticos a ser revisados para identificar las lecciones aprendidas.

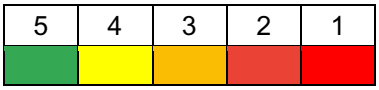
Tabla 7. Análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en el instrumento Encuesta, Fuente: elaboración propia

	Resultados
1. ¿Cómo podría realizar una descripción de la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en las ZNI del departamento del Guainía?	5
2. ¿Qué aspectos considera importantes o características técnicas se debe tener en cuenta en la eficiencia fotovoltaica?, entiéndase como la transformación de energía solar a energía fotovoltaica en un módulo generador panel solar fotovoltaico.	4
3. ¿Recomendaciones generales de lecciones aprendidas?	2
4. ¿ Qué tecnologías existen en Colombia comparadas con las implementadas en el Guainía que presentan mejor desempeño en eficiencia fotovoltaica?	3

5. ¿Cómo debe ser la estructura de la lección aprendida: descripción del proyecto, resultado de las entrevistas, análisis técnico y lecciones aprendidas definitivas enfocada a la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades ZNI del departamento del Guainía en términos de eficiencia fotovoltaica?	3
6. Según su experiencia en el proyecto ¿Se realizaron cambios en el diseño para la selección de los sistemas de generación de electricidad fotovoltaico centralizado en las diferentes localidades?	3
7. Según su experiencia en el proyecto ¿Quiénes fueron los encargados de seleccionar el sistema de generación de electricidad fotovoltaico centralizado y bajo que parámetros se realizó la selección ?	2
8. A nivel técnico los resultados obtenidos en los ensayos realizados por fabricantes sobre varios prototipos de panel solar fotovoltaico hibrido confirman que refrigerando las células se obtiene un aumento considerable en la eficiencia de las mismas. Este dato es contrastable observando las curvas I-V a diferentes temperaturas de trabajo en cualquier panel FV y fabricante, Debido a esto para la implementación de la solución solar fotovoltaica en las diferentes localidades ZNI del departamento del Guainía ¿Se realizo un estudio de refrigeración o ventilación del kit solar y en que ventana de tiempo se realizó?	1
9. ¿Al estar combinadas dos tecnologías tan diferentes en el panel solar híbrido implementado como solución energética en las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI del departamento del Guainía, en caso de averías de alguna de las tecnologías aplicadas, ¿Cómo podría repercutir en el conjunto? ¿Podría una avería en el circuito térmico perjudicar a la parte fotovoltaica? Se contemplo el mantenimiento de las tecnologías o su envejecimiento en el tiempo para su implementación ?	4
10. ¿Qué aspectos considera importantes o características técnicas se debe tener en cuenta en la eficiencia fotovoltaica, y que aspectos fueron determinantes para la implementación de la solución solar fotovoltaico hibrido?	2
11. Después de estar implementadas las unidades de generación SFV hibrida centralizada en las localidades del Guainía ¿Por cuánto tiempo de servicio van a estar en funcionamiento ?	3
12. Según su experiencia ¿Cuáles son para usted los aspectos más relevantes a tener en cuenta para lograr mejorar la eficiencia en las máquinas y sistemas de generación de energía eléctrica SVF híbridos implementados en las localidades del departamento del Guainía ?	4
13. ¿Cómo repercutirá la disparidad de años en el envejecimiento en las diferentes tecnologías del conjunto del panel solar fotovoltaico híbrido?	3
14. Según los estudios de manufacturas se promedia un periodo de 12 años de garantías desde la instalación de los sistemas de generación de electricidad solar fotovoltaico SFV , durante este tiempo se deberán realizar limpiezas mantenimientos o capacitaciones del buen uso de las soluciones solares con los habitantes de las localidades ZNI del departamento del Guainía?	3

15. Durante la fase precontractual del proyecto ¿Cree usted que le hizo falta algo al proyecto y se dieron cuenta de eso durante el desarrollo del proyecto?	2
16. Por parte del IPSE ¿Quién se encargó de realizar la evaluación de las especificaciones técnicas de las soluciones de generación de electricidad fotovoltaico centralizado?	3
17. ¿El mapa de radiación solar, las condiciones ambientales , ubicación geográfica y demás factores fueron evaluados para la selección de las soluciones de generación de electricidad fotovoltaico centralizados híbridos en las diferentes localidades?	4
18. En las soluciones fotovoltaicas, para poder responder rápidamente a una falla en cualquier equipo, es indispensable contar con un inventario de repuestos. Los repuestos cuestan dinero y su compra anticipada debe justificarse por el beneficio que trae la continuidad del servicio , ¿Dentro del estudio económico se evaluó la salida de los sistemas de generación FV centralizado por fallas?	4
19. En la mayoría de las comunidades ZNI, el clima presenta suficiente lluvia fuerte para mantener limpios los paneles solares. Estos sistemas de lluvias eliminan la necesidad de lavar los paneles de una manera frecuente. Pero en general, se considera una buena práctica lavar los paneles por lo menos una vez al año o cuando las condiciones de los paneles lo requieran. Teniendo en cuenta esto, ¿Se contempla un equipo especializado encargado para realizar estas labores de mantenimiento y un cronograma?	4
20. ¿Se realizo un plan de acción para prever estas situaciones de sombras en la venta de vida útil de las soluciones energéticas FV implementada en las localidades ZNI del departamento del Guainía?	4
	3,2

Índice de análisis cuantitativo para identificación de lecciones aprendidas



7.3 Identificación de los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica.

En esta sección se muestra el resultado de la identificación de los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica. Para el desarrollo de esta tercera y cuarta etapa de la metodología propuesta se elaboraron documentos en conjunto con cooperación de profesionales asesores del IPSE involucrados en el proyecto energético soportado en el instrumento contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 y estudios previos del contrato interadministrativo dicha documentación fue facilitada por los profesionales del IPSE involucrados, los documentos elaborados en cooperación conjunta con el IPSE se encuentran en el Anexo 3 y Anexo 4 de este documento.

En Colombia uno de los pilares de los planes nacionales de desarrollo propuesto en todos los escenarios; medios de comunicación, programas de gobierno, organizaciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, la academia, inversionistas locales y extranjeros, entre otros es el acceso a la energía eléctrica como servicio público esencial; y sucede porque la energía es un factor determinante en cada uno de estos sectores sociales y económicos del país.

No podría ser de otra manera porque Colombia es un país muy rico en recursos naturales lo que le ha permitido contar con importantes fuentes de generación de energía eléctrica , a través de termoeléctricas e hidroeléctricas, y hoy puede estar a la vanguardia de los países del continente en generación de energía a través de fuentes no convencionales, como lo son las energías limpias renovables, que aunque es una política de interés nacional relativamente nueva, se está avanzando rápidamente en su implementación, por lo cual es importante destacar la energía solar fotovoltaica, como una de las de mayor impacto social y económico, por su facilidad de implementación y cobertura, en toda la geografía nacional colombiana, también es importante resaltar su evolución científica, técnica, jurídica y económica.

La energía eléctrica ingreso a la vida de los colombianos a finales del siglo XIX, y fueron Bogotá en 1890, seguida de Bucaramanga en 1892, Barranquilla, Cartagena y Santa Marta en 93, posteriormente entran Medellín y Cali, mediante desarrollos hidroeléctricos, inicialmente solo era para alumbrado público, utilizando como tecnóloga la generación de energía a través de turbinas Pelton, impulsadas por la fuerza del agua, y un generador eléctrico. Años más tarde se fueron introduciendo al país nuevas formas de generación de energía, como la térmica a base de combustibles fósiles, hoy a gas, hasta llegar a las energías limpias renovables y sustentables (Velasco Muñoz & Calvache, 2019).

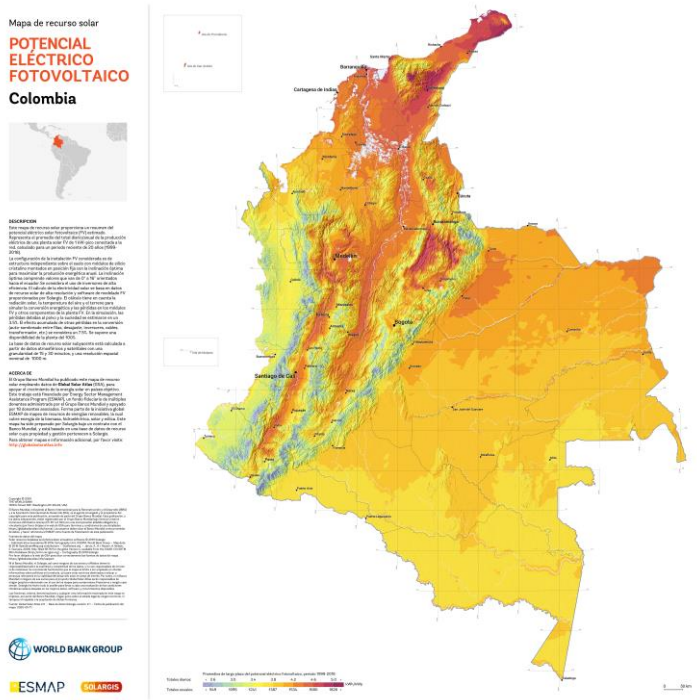


Figura. 20 Mapa potencial Eléctrico Fotovoltaico Colombia ,Fuente: SolarGIS

En la Figura.20. se observa el potencial eléctrico fotovoltaico del país, según valores de irradiación se considera que Colombia es uno de los países con alta capacidad de producción de energía fotovoltaica del mundo, por su posición geográfica, dado que está situado en el Ecuador medio, y cuenta con una exposición a la luz del sol durante 12 horas diarias, los 365 días del año, esto utilizando la más básica de las tecnologías fotovoltaicas existentes en el mercado.

Colombia cuenta con una irradiación que supera el promedio mundial, lo que favorece positivamente el potencial del país en energía solar fotovoltaica. Esta irradiación, presenta mayor concentración en las regiones de la costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquia y la Región Central. El promedio es de 4.5 kWh/m^2/d, que supera el promedio mundial de 3.9 kWh/m2/d, estando por encima de Alemania (3.0 kWh/m^2/d), país que hace el mayor uso de la energía solar en el mundo(Gómez et al., 2017).

La Figura.21. presenta el mapa de las zonas no interconectadas de Colombia desarrollado por el IPSE, de acuerdo con la normatividad vigente, son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN, ya sea por aspectos geográficos, técnicos o como sucede en muchos casos por los elevados costos de conexión por usuario. Las ZNI están ubicadas en lugares de difícil acceso, carecen de servicios públicos, de infraestructura y presentan dificultad para acceder a la comunicación.

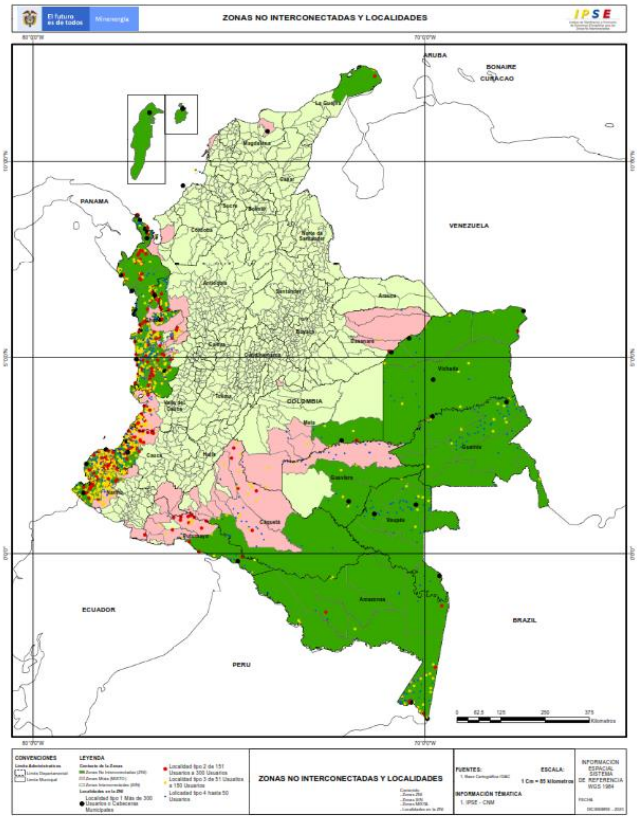


Figura. 21 Mapa Zonas No Interconectas Colombia , Fuente: IPSE

El Gobierno de Colombia a través del El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE, Establecimiento Público del Orden

Nacional, adscrito al Ministerio de Minas y Energía, ha identificado que el modelo actual de expansión del sector eléctrico presenta dificultades para llevar el servicio de electricidad a la población que vive en las zonas rurales y no interconectadas por diferentes aspectos. Esta situación conlleva a plantear soluciones energéticas con fuentes no convencionales de energía, FNCE y de tipo Híbrido, de modo que se garantice un servicio de calidad, continuo, seguro, asequible, no contaminante, y que en la generación de energía eléctrica, se aprovechen los potenciales energéticos de las regiones donde sean implementados, e incluir como factor de sostenibilidad de dichos proyectos, la asistencia técnica a los prestadores del servicio y el fortalecimiento de las capacidades organizativas, además de capacitar a la comunidades en eficiencia energética y en el uso racional de la energía.

Es así como se plantea los sistemas solares Fotovoltaicos como solución energética, los cuales minimizan el impacto ambiental. Este tipo de energía, generada por el sol, no necesita ser extraída como el caso de la energía fósil, ni es necesario transportarla hasta el lugar que se requiere, no genera emisión de gases ni de ruido, ni precisa de combustibles para su funcionamiento, tampoco requiere de grandes construcciones para su implementación y tiene requerimientos mínimos de cuidado y mantenimiento.

Su instalación puede llegar a ser más ventajosa que otras alternativas de solución desde el punto de vista económico, si se compara en muchos casos con la extensión de redes para conectarse al SIN; adicionalmente, Colombia es un país que cuenta con zonas que poseen un alto potencial energético solar por su ubicación y radiación, ya que se encuentra en la zona ecuatorial, lo que hace que se ubique en la zona tórrida o intertropical, región de bajas latitudes, ocasionando que cuente con la misma iluminación solar todo el año(Departamento Nacional de Planeación, 2020).

7.3.1 Marco Legal Energización Zonas No Interconectadas

El objeto del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE apoyado en el marco jurídico, artículo 4 del decreto 257 de 2004 consiste en identificar, promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo. Procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las Zonas No Interconectadas, ZNI apoyando técnicamente a las entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía – MME.

La ley 1715 de 2014 en su artículo 5 numeral 22, define las zonas no interconectadas de la siguiente forma :.. " *Se entiende por Zonas No Interconectadas a los municipios corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN*)"(Ministerio de Minas y Energía, 2014), como se advierte de la definición expuesta se considera ZNI a un espacio geográfico que no se encuentre conectado al SIN, esta definición se complementa con el objeto legal atribuido al IPSE, lo que en suma establece la competencia del instituto.

7.3.1.1 Suscripción de Contratos Interadministrativos

Los fines que persigue la contratación tiene como objetivo específico el cumplimiento de los fines del Estado y el acceso al servicio público de la energía eléctrica en las Zonas No

Interconectadas, así como su continua y eficiente prestación. Esto se sustenta conforme al siguiente desarrollo normativo:

La ley 80 de 1993 define en su artículo 3º:.. "*De los fines de la contratación estatal. Los servidores públicos tendrán en consideración que al celebrar contratos y con la ejecución de los mismos, las entidades buscan el cumplimiento de los fines estatales, la continua y eficiente prestación de los servicios públicos y la efectividad de los derechos e intereses de los administrados que colaboran con ellas en la consecución de dichos fines*"(Congreso de la República, 1993).

Es importante mencionar lo dispuesto en el artículo 5 de la ley 143 de 1994, el cual contempla que:..*"La generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad están destinadas a satisfacer necesidades colectivas primordiales en forma permanente, por esta razón, son consideradas servicios públicos de carácter esencial, obligatorio y solidario, y de utilidad pública"*(Ministerio de Minas y Energía, 2002).

El plan nacional de desarrollo 2018-2022 en el capítulo denominado "*Desarrollo minero – energético para la equidad regional – Energía Eléctrica para todos – Universalización y calidad del servicio",* establece que:...*"En el caso de las Zonas No Interconectadas, cobertura mediante la prestación del servicio de energía las 24 horas del día en las cabeceras municipales con fuentes no convencionales de energía y sistemas híbridos, así como el Gobierno Nacional planea consolidar las localidades y municipios de mayor tamaño. También impulsará esquemas de generación aplicación de estrategias de eficiencia energética. Para estos efectos se implementarán esquemas empresariales con inversiones públicas y privadas, tales como áreas de servicio exclusivo de energía eléctrica…En las Zonas No Interconectadas y en zonas de difícil acceso se implementarán sistemas de generación de energía eléctrica con un criterio de eficiencia económica, dando prioridad a los proyectos contenidos en los planes de energización para estas zonas que consideren el uso productivo del recurso energético en beneficio de la comunidad*"(Departamento Nacional de Planeación, 2018).

La Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMNUCC) es el tratado internacional ambiental que busca darle solución a la problemática del cambio climático. Se firmo en la Cumbre de Rio de 1992 y entro en vigor en 1994. Actualmente, todos los países miembros de la ONU hacen parte de la Convención. El objetivo de la Convención es "*La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático*"(Nations, 1992).

La conferencia de las partes (COP) es el máximo órgano decisorio de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas y es el único órgano que puede tomar decisiones de la implementación del tratado. En la Conferencia de las partes COP 21 realizada en París – Francia en noviembre de 2015, Colombia efectuó, entre otros compromisos:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del País en un 20% con relación a las emisiones proyectadas a 2030.

- Fomentar el intercambio de conocimiento, tecnología y financiamiento para acelerar las contribuciones planteadas en materia de adaptación y mitigación de gases de efecto invernadero.

7.3.2 Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 – IPSE 110 DE 2017

Según consta en el Acta CAFAZNI No. 068, entre otros, aprobó el proyecto "CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA", el cual cuenta con el mecanismo de cofinanciación FAZNI – IPSE, y que con dicho proyecto se pretende ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas – ZNI. Se confiere al Ministerio de Minas y Energía o a quien este delegue, la facultad de ejecutar los recursos del FAZNI y que durante la misma sesión de CAFAZNI, el comité indico los ejecutores de los proyectos aprobados, teniendo en cuenta la capacidad gerencial y administrativa requerida para la ejecución de las obras, así como la experiencia acreditada en la ejecución de proyectos de características similares en zonas no interconectadas, seleccionando a la EMPRESA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P – GENSA. E.S.P para la suscripción del contrato de administración general y asistencia técnica por considerar viable la ejecución de dicho proyecto por parte de esta empresa.

El MINISTERIO considero que por las características técnicas del proyecto, el ADMINISTRADOR cuenta con una reconocida experiencia en gestión de proyectos de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas y así lo indico al IPSE.

El MINISTERIO y el IPSE con el fin de llevar a cabo la ejecución de los proyectos mencionados, los cuales benefician a las comunidades de las áreas de influencia de los mismos y para el logro de los fines esenciales del estado tales como el mejoramiento de la calidad del servicio y la satisfacción de la demanda. Suscribieron el contrato interadministrativo(MINMINAS, 2017).

7.3.2.1 Comunidades Beneficiadas

Según su localización territorial el departamento del Guainía se encuentra situado al oriente del país, en la región del Amazonia, localizado entre los 01°10'17" y 04°02'21" de latitud norte, y los 66°50'44" y 7°55'16" de longitud oeste. Tiene una extensión de 72.238 km^2 que corresponde al 6.33% del territorio nacional; llamada extensión amazónica, entre sabana y selva, siendo uno de los Departamentos con menor población del País.

El análisis de información se concentra en 2 grandes sectores a saber: sector residencial u comercial y sector institucional o educativo, para un total de 22 localidades con 268 viviendas actualmente sin embargo, se obtuvo información de 1109 viviendas, locales e instituciones educativas encuestadas y analizadas. Cada uno de ellos presenta unca caracterización de las unidades primarias del sector y la identificación del consumo energético por fuente y procesos(Ministerio de Minas y Energía, GENSA, IPSE, 2017).

De acuerdo a la proyección del Censo DANE – 2005, el departamento del Guainía para el año 2016 contaba con una población de 42.123 habitantes, la densidad poblacional es de 0,58 hab/ km^2, siendo baja si se compara con la extensión territorial que es de 72.238 km^2. Tal circunstancia refleja los altos niveles de dispersión de los habitantes en el departamento.

7.3.2.2 Servicio de Energía

El departamento del Guainía cuenta con 55 comunidades que se benefician de Grupos Electrógenos (Plantas Diesel). La empresa administradora de estas plantas es la EMPRESA DE ENERGÍA DEL GUAINÍA EMELCE SA ESP. y se puede acompañar con el auge en el uso de las energías renovables que en Colombia ha venido en aumento debido a su aplicabilidad en regiones alejadas de las metrópolis, caso de las comunidades indígenas, zonas rurales y de difícil acceso geográfico para la obtención de energía por sistemas convencionales. Por su utilidad en los sectores agropecuarios de las pequeñas y medianas empresas es importante para el avance y desarrollo en estos niveles de la economía y mejorar la calidad de vida de las Comunidades marginadas.

El departamento del Guainía no cuenta con redes viales que puedan considerarse primarias o secundarias debido a su situación política en la cual no cuenta sino con un Municipio propiamente declarado y también a que actualmente no existe vía terrestre alguna que lo comunique con otra región del país, es decir el Departamento del Guainía está aislado de Colombia si de vías terrestre se habla.

7.3.3 Factores Relevantes en la eficiencia de los Sistemas Solares Fotovoltaicos

La innovación de energías no convencionales o energías renovables para formar sistemas híbridos (Diesel – fotovoltaico) supone una opción cada vez más atractiva para reducir la dependencia en combustibles fósiles. Esto debido a la proyección geográfica de los sistemas solares híbridos, como por ofrecer un servicio casi ininterrumpido de energía (Grado, 2019). Debido a esto en los últimos años el Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas – IPSE ha desarrollado proyectos de energización en zonas no interconectadas – ZNI o zonas aisladas del país, estas soluciones son conocidas como soluciones solares fotovoltaicos híbridos- SSFH conformadas principalmente por paneles solares, bancos de baterías, equipos de conversión y plantas o grupos electrógenos Diesel, este artículo se enfoca principalmente en la evaluación de eficiencia en la generación de energía de los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas híbridas implementadas en las localidades ZNI del departamento del Guainía y materializadas gracias al instrumento - contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 DE 2017 "*Construcción, instalación e implementación de soluciones de energía renovable y sostenible consistente en un sistema de generación de electricidad solar fotovoltaico (SFV) centralizado para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicada en las zonas no interconectadas del departamento del Guainía*".

Las Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas -SSFH son sistemas compuestos por tecnología

fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica, en Colombia en los últimos años se ha implementado en zonas no interconectas o zonas aisladas del país como una solución energética, los grupos electrógenos Diesel también se aplican ampliamente en instalaciones aisladas o ZNI y se pueden hibridar con módulos fotovoltaicos (FV) (Corral, Garcíavillalba, Caberta, & Alberto, 2016). Debido a esto un sistema solar fotovoltaico hibrido es considerado un sistema eficiente capaz de reducir el consumo de combustibles fósiles como las emisiones de CO^2 .

La implementación de soluciones solares fotovoltaicas híbridos –SSFH como sistemas energéticos en las localidades ZNI Chorrobocon, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo, Caranacoa y Remanso en el departamento del Guainía se origina gracias a que en estas localidades se cuenta con una planta o grupo electrógeno Diesel con algunos años de operación capaz de suministrar electricidad durante un reducido número de horas al día, en muchos casos con un elevado consumo de combustible fósil y algunos problemas de pérdidas de energía y fiabilidad. Al realizar una conexión en paralelo de un generador renovable (panel solar fotovoltaico) con un grupo electrógeno Diesel conlleva a ampliar el número de horas de suministro del servicio de energía eléctrica y/o el ahorro en el consumo de combustible. Desde el punto de vista económico ha aumentado el interés en soluciones de repotenciación de generadores Diesel debido a los altos costos actuales de los combustibles en el mundo(Pablo Diaz, Rafael Peña, Carlos A. Arias, 2010).

El Ministerio de Minas y Energía- MME en una tipificación orientada a las horas de prestación de energía y a la máxima energía subsidiable, a través de la Resolución 182138 de 2007 clasificó las localidades ZNI en 4 tipos así: a) Localidades Tipo 4, comprenden poblaciones entre 0 y 50 usuarios y consumo subsidiado de 4 horas. b) Localidades Tipo 3 comprenden poblaciones entre 51 y 150 usuarios y consumo subsidiado de 5 horas. b) Localidades Tipo 2 comprenden poblaciones entre 151 y 300 usuarios y consumo subsidiado de 8 horas y por ultimo las zonas que cuentan con el servicio de energía eléctrica las 24 horas del día conocidas como localidades Tipo 1 (Ministerio de Minas y Energía, 2007).

En contexto con la clasificación anteriormente descrita, las localidades ZNI objeto de estudio en el presente informe, antes de la implementación de los sistemas híbridos contaban con servicio de energía eléctrica entre 4 y 8 horas diarias las cuales eran suministradas por la capacidad energética del generador Diésel, ahora a partir de la implementación de la nueva central de generación híbrida con módulos FV y subsistema de almacenamiento de energía con baterías, se logró que los 624 usuarios de las localidades Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo dispusieran de un servicio de energía de mayor confiabilidad. En la Figura.22 se presenta la ubicación geográfica de las SSFH implementadas en el departamento del Guainía localidades ZNI objeto de estudio, usuarios beneficiados, tipo de localidad, capacidad total instalada Diesel y renovable (IPSE, 2021).

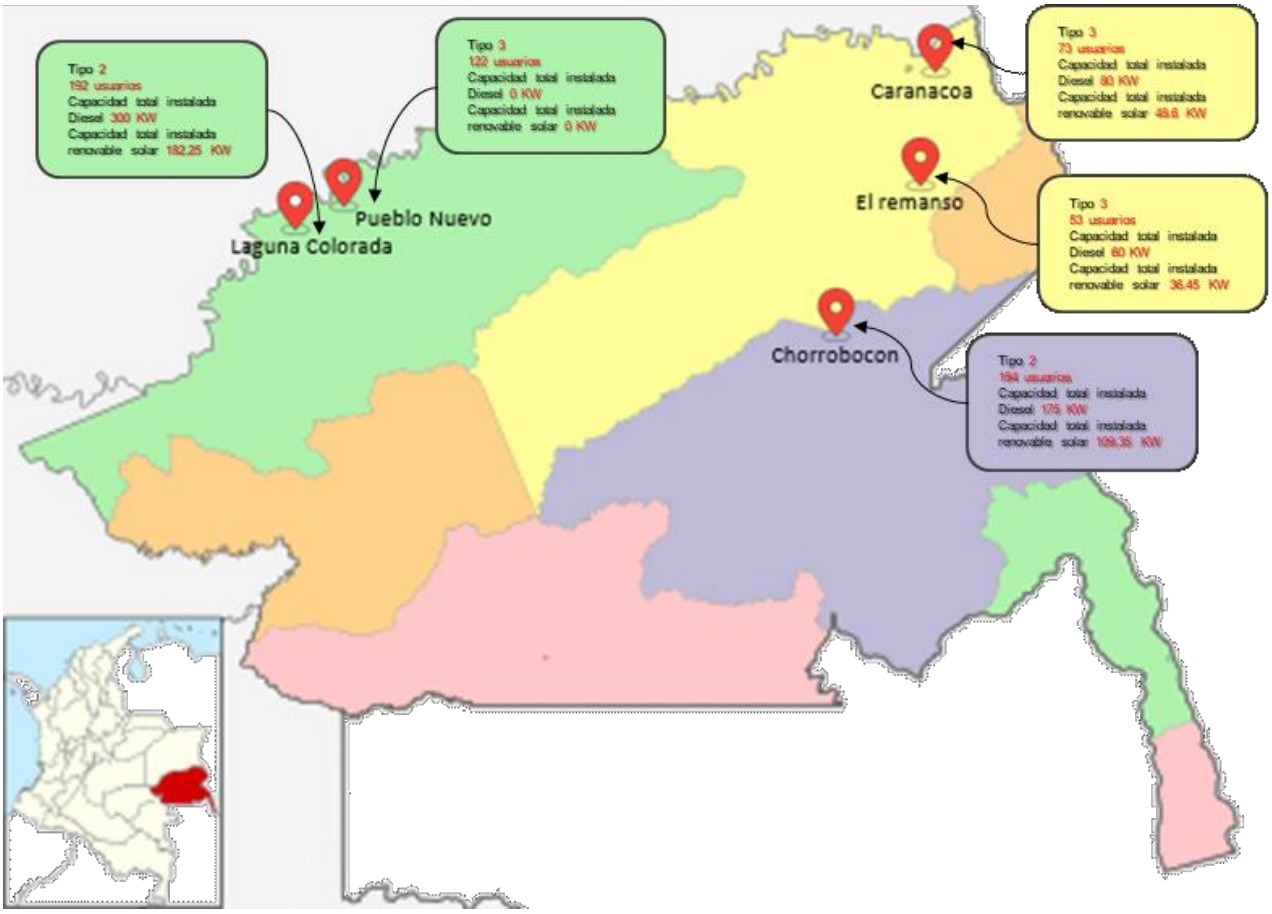


Figura. 22 Distribución geográfica SSFH en el Departamento del Guainía , Fuente: Elaboración propia

Las SSFH implementados en las cinco localidades ZNI representan 615 kW de capacidad total instalada Diesel y 376,6 kW de capacidad total instalada solar fotovoltaica. Las soluciones energéticas solares fotovoltaicas híbridas están conformadas principalmente por paneles solares, bancos de baterías, equipo de conversión y grupos electrógenos Diesel. A continuación se realiza una breve descripción de los principales componentes de las SSFH implementadas por el IPSE en las cinco localidades ZNI.

Tabla 8. Componentes SSFH Localidad Remanso, Fuente: Autores

LOCALIDAD REMANSO		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	36450 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	57600 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	120 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	30 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**

1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 75 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz.	Stand by 60 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

Tabla 9. Componentes SSFH Localidad Chorrobocon, Fuente: Autores

LOCALIDAD CHORROBOCON		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	109350 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	172800 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	90 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	90 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 218.75 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 175 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

Tabla 10. Componentes SSFH Localidad Pueblo Nuevo, Fuente: Autores

LOCALIDAD PUEBLO NUEVO		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino de 270 Wp	182250 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	288000 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 375 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 300 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	2000 galones

Tabla 11. Componentes SSFH Localidad Laguna Colorada, Fuente: Autores

LOCALIDAD LAGUNA COLORADA		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	182250 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	288000 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
4	Inversor bidireccional cargador de batería, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 375 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 300 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	2000 galones

Tabla 12. Componentes SSFH Localidad Caranacoa, Fuente: Autores

LOCALIDAD CARANACOA		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	48600 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	86400 Ah - 2 V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	60 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	45 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 100 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 80 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

7.3.3.1 Evaluación de Eficiencia

La evaluación de la eficiencia de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas se contextualizó en los siguientes componentes: paneles solares, inversores, baterías y grupos electrógenos Diésel, inicialmente se describen las características técnicas según ficha técnica, para el caso de los módulos solares fotovoltaicos, se compara la eficiencia teórica con la eficiencia real según datos de radiación solar promedio en la zona de influencia del proyecto, se revisa la eficiencia de las baterías e inversores y por último se analiza la eficiencia teórica del grupo electrógeno Diesel.

A. Paneles Solares

Los paneles solares policristalinos implementados en las SSFH de las cinco localidades ZNI bajo la referencia RSM60-6-260P-280P/5BB cuyo fabricante es RISEN, se conforman de 60 celdas policristalinas y con las siguientes características: potencia (270 Wp), eficiencia (16.50%), temperatura de operación (-40°C +85°C), máximo voltaje del sistema (1500 VDC) tensión en punto máximo potencia (31.20 V) , corriente en el punto máximo de potencia (8.66 A), voltaje en circuito abierto de (35.5 V) y corriente de corto circuito (7.44 A) según datos obtenidos del fabricante en su ficha técnica (RISEN SOLAR TECHNOLOGY, 2019).

Para evaluar la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos implementados, se utilizaron dos métodos, primero el Método de Conversión de energía y segundo el Método de Factor de forma, en ambos casos es indispensable conocer el punto de máxima potencia (Pmp). Como se observa en la Figura .23. el Pmp corresponde a la magnitud de potencia limite que se obtiene cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos de forma simultánea (Cepeda & Sierra, 2007).

Este valor se determina de acuerdo a la ecuación (1).

$$Pmp = Vmp\ x\ Imp \quad (1)$$

$$Pmp = 31.20V * 8.66\ A = 270.192\ W \quad (2)$$

Donde:

Pmp: Punto de potencia máxima
Vmp: Voltaje de máxima potencia
Imp: Corriente de máxima potencia

En la Figura.23. se observa la curva de producto I-V para una irradiancia determinada

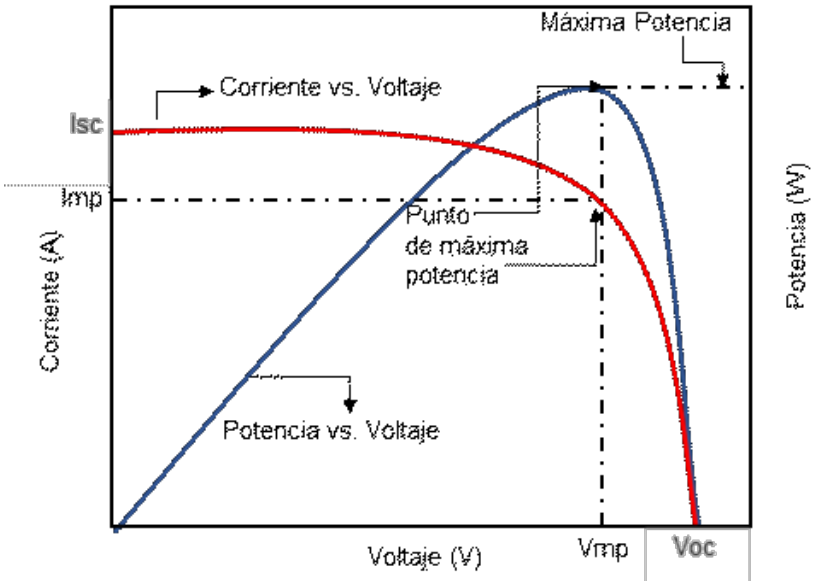


Figura. 23 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V, Fuente: Elaboración propia

1) Método de Eficiencia en la conversión de Energía

Como referencia de los módulos de captación solar, la eficiencia en la conversión de energía es definida como el porcentaje de energía eléctrica generado en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico (Jonathan & María, 2015). Con utilización de la ecuación (3) se calculó la eficiencia teórica soportada en los datos del fabricante en su ficha técnica y seguidamente se calculó la eficiencia real apoyados en valores de irradiación solar en el sitio de instalación del campo solar fotovoltaico.

$$\eta = \frac{Pmp}{E\ x\ Ac} \qquad (3)$$

$$\eta_T = \frac{270.192\ W}{1000\ \left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right) * (1.65m * 0.992\ m)} = 16.50\% \qquad (4)$$

Donde:

E: Nivel de radiación sobre la superficie del panel ($W/m2$), bajo condiciones estándar.
Ac: Superficie del panel fotovoltaico ($m2$)
η_T: Eficiencia teórica, según valores ficha técnica del fabricante
η_R : Eficiencia real, según valores reales de irradiación en el departamento del Guainía

Para la evaluación de la eficiencia real en sitio se tomó como base la Irradiación promedio del departamento del Guainía apoyados en el software de simulación fotovoltaico PVsyst como se observa en la Figura.24, se geolocalizo bajo coordenadas geográficas (3.8653°, -67.9239°) el municipio de Inírida y se obtuvieron los resultados de irradiación promedio bajo bases de datos de importación meteorológica de la NASA.

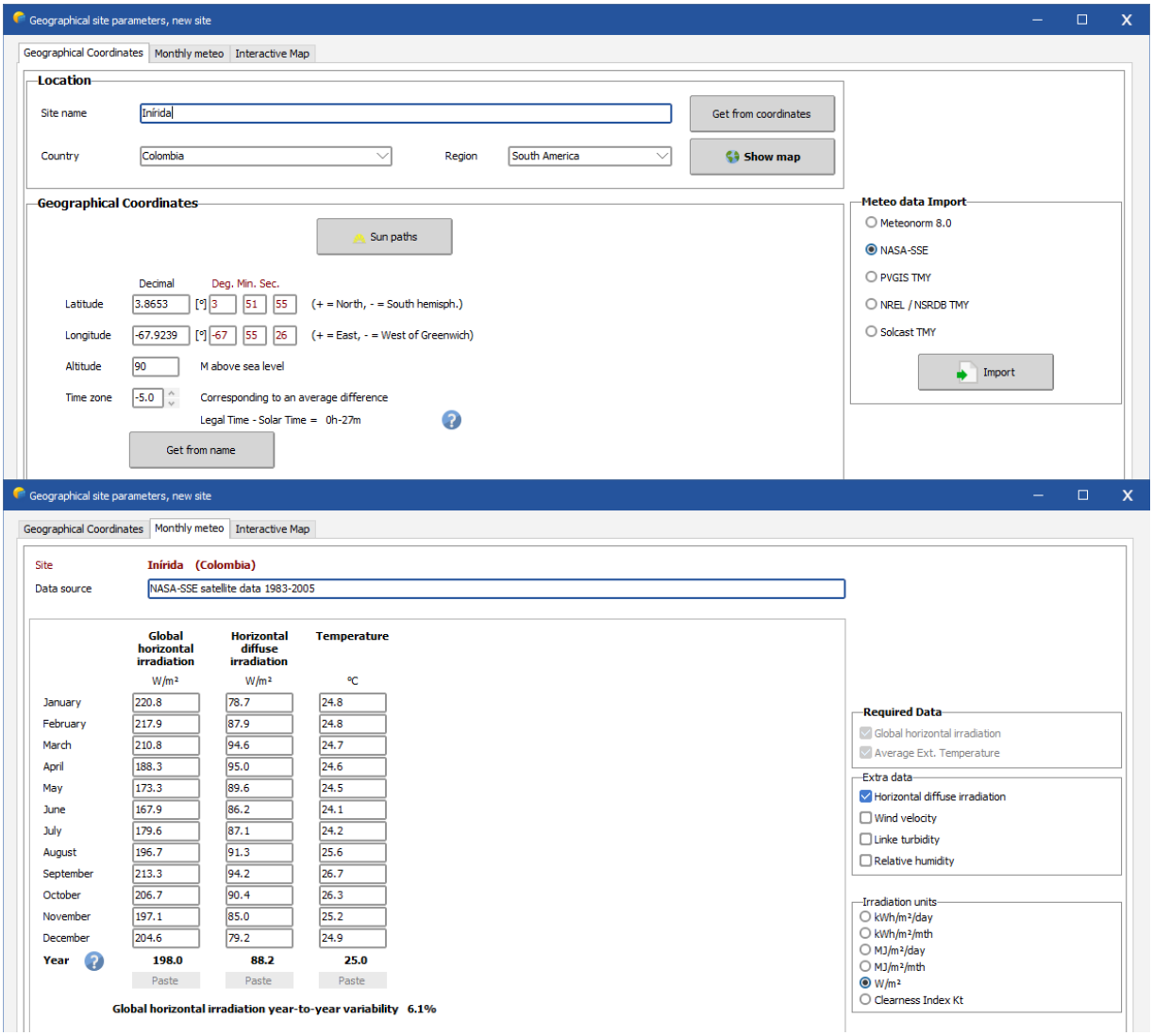


Figura. 24 Irradiancia promedio municipio de Inírida – software de simulación fotovoltaico PVsyst Fuente: PVsyst 7.2.8.

Los resultados obtenidos en el software PVsyst determinaron una irradiación promedio de 198 W/m^2. La ecuación (5) permitió el calculó del punto máximo de potencia de acuerdo a los valores de irradiación del departamento apoyados en la Figura.25.

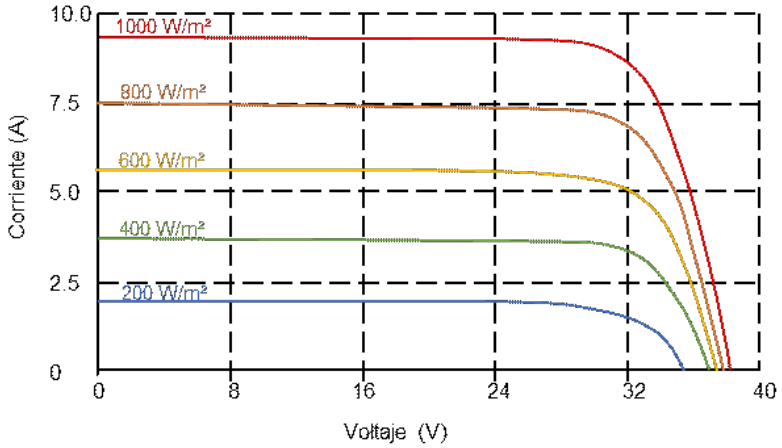


Figura. 25 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V para diferentes valores de irradiación ficha técnica del fabricante, Fuente: Tomado y adaptado (RISEN SOLAR TECHNOLOGY, 2019).

Seguidamente se relacionan los valores de Vmp e Imp según la irradiación del departamento para finalmente determinar la eficiencia en la conversión de la energía. Este valor se establece de acuerdo a la ecuación (6).

$$Pmp = 32.2\ V * 1.66\ A = 53.47\ W \quad (5)$$

$$\eta_R = \frac{53.47\ W}{198\ \left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right) * (1.65m * 0.992\ m)} = 16.49\% \quad (6)$$

Lo anterior evidencia igualdad de resultados tanto para el cálculo de eficiencia teórico como para el caso práctico

2) Método de Eficiencia según el factor de forma

La eficiencia teórica de un panel solar según el factor de forma, se define como la relación en el punto de máxima potencia, dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto y la corriente de cortocircuito (Jonathan & María, 2015). Como se muestra en la ecuación (7). Para realizar la evaluación de la eficiencia aplicando el factor de forma, se calculó la eficiencia teórica apoyados en los datos del fabricante en su ficha técnica y luego se calculó la eficiencia real en sitio apoyados en valores de irradiación en sitio de instalación del panel solar fotovoltaico.

$$\eta = \frac{Pmp}{Voc\ x\ Isc} \quad (7)$$

$$\eta_T = \frac{270.192\ W}{35.5\ V * 7.44\ A} = 1.023 \approx 100\% \quad (8)$$

Donde:

Voc: Voltaje a circuito abierto
Isc: Corriente de cortocircuito

η_T: Eficiencia teórica, según valores ficha técnica
η_R : Eficiencia real, según valores reales de irradiación en el Guainía

Para el cálculo de la eficiencia real del factor de forma en sitio se apoya en la curva de productos corriente – voltaje para diferentes valores de irradiación según los datos del fabricante de la Figura.25. esto permite calcular los valores de Isc y Voc para la potencia calculada en la ecuación (5) Pmp del departamento del Guainía.

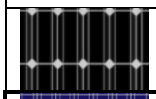
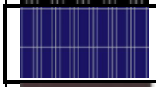
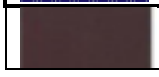
En la ecuación (9) se presenta la eficiencia real del factor de forma evaluada en el sitio de instalación de los SSFH. Indicando esto la máxima es un parámetro que, en conjunto con Voc y Isc, determina la potencia máxima de una célula solar teniendo en cuenta su eficiencia

$$\eta_R = \frac{53.47\ W}{35.9\ V * 1.9\ A} = 0.78 \approx 78.39\% \quad (9)$$

a) Eficiencia de Células Policristalinas

Las células que componen los paneles solares fotovoltaicos son muy importantes, dependiendo de su tipo y características estructurales, así como de su eficiencia, se utilizan tres tipos de células: (i) monocristalinas, (ii) policristalinas y (iii) amorfas. Las células policristalinas utilizadas en los paneles solares fotovoltaicos implementados en SSFH en la región ZNI de las localidades ZNI del departamento del Guainía están fabricadas con materiales de silicio similares a los monocristales, excepto que no se cultivan en monocristales, sino que se funden y se vierten. Esto forma bloques cuadrados que se pueden cortar en obleas cuadradas. A medida que el material se enfría, cristaliza de manera imperfecta, formando tonalidades de diferentes colores en su superficie. Las células policristalinas con iguales dimensiones y condiciones alcanzan un rendimiento de hasta el 12% (EAST, n.d.).

Tabla 13. Eficiencia células monocristalinas, policristalinas y amorfas, Fuente: Elaboración propia

Tipo de Célula usada en paneles solares fotovoltaicos		**Eficiencia Mediada en Laboratorio**	**Eficiencia Directa**
	Monocristalina	24%	14-17%
	Policristalina	19-20%	11-14%
	Amorfas	16%	<10%

En la Tabla 13. se presentan dos tipos de eficiencia, en laboratorio y directa o de uso. La eficiencia en laboratorio es mucho mayor debido a que al estudiar las células se hace bajo condiciones estándar esto quiere decir: irradiación de 1000 $W/\ m^2$, distribución espectral de 1.5 AM y temperatura de la célula 25°C. Las células de eficiencia directa o de uso, se estudian bajo condiciones ambientales normales donde se puede presentar una baja irradiación, temperaturas mayores a 25°C de la célula, esto afecta directamente su eficiencia. De este estudio se obtuvo como resultados que las células policristalinas poseen una eficiencia en laboratorio del 19-20% y una eficiencia directa del 11-14% (Cepeda & Sierra, 2007).

B. Inversor Enlazado a la Red

Un inversor de corriente o convertidor es el equipo eléctrico que se encarga de convertir la corriente continua (CC) procedente de los paneles solares o de las baterías de la instalación fotovoltaica, en corriente alterna (CA) que es la que utilizan los equipos finales para su correcto funcionamiento, Los inversores implementados en cada una de las cinco localidades poseen las siguientes características: Enlazado a la red de 10 KW, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD. El cálculo de su eficiencia se apoya en la curva característica del inversor implementado en los SSFH de las localidades ZNI objeto de estudio según ficha técnica de fabricante (Sunny Places, n.d.).

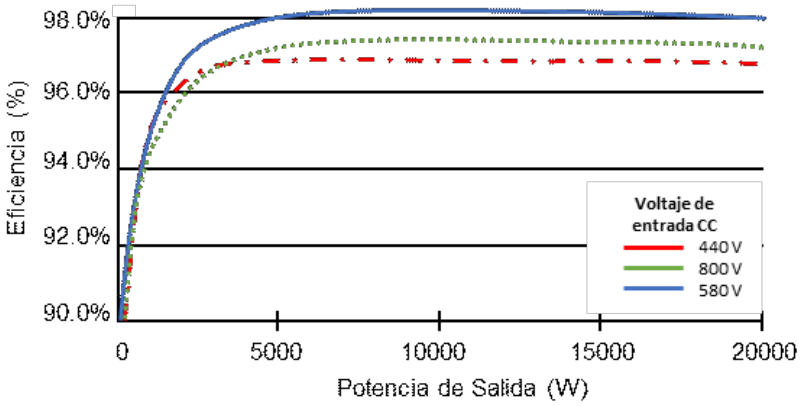


Figura. 26 Curva de eficiencia para un inversor Sunny Tripower 5000TL – 12000TL, Fuente: Tomado y adaptado (Sunny Places, n.d.).

La Figura.26. presenta la curva de eficiencia para un inversor Sunny Tripower 5000TL – 12000TL cuyo fabricante es SMA , según ficha técnica del fabricante, se puede observar que la eficiencia del inversor utilizado en las soluciones solares fotovoltaicas híbridas implementados en las cinco localidades del departamento del Guainía equivale en su punto de máxima eficiencia 97,6% para un voltaje de entrada de 440 VDC (10 KW).

C. Inversor Bidireccional

Los cargadores de inversor o inversores bidireccionales convierten la corriente en dos direcciones: de batería a corriente alterna y de corriente alterna a batería. Tienen entrada AC y pueden cargar la batería desde la red pública o mediante un generador. Junto con los inversores solares (en sustitución de los reguladores de carga), proporcionan una gran flexibilidad de instalación porque se pueden utilizar para cargar baterías con corriente alterna proporcionada por inversores solares, que a su vez pueden entregar energía de las baterías a la misma red de corriente alterna (EAST, n.d.).

Apoyados en la ficha técnica de fabricante se conocen las siguientes características técnicas: potencia nominal (5000 W), tipo de entrada forma de onda sinusoidal , voltaje nominal de entrada (120 VAC), frecuencia (60 Hz), rango PV entrada (120 VDC para 48V), max. PV voltaje circuito abierto (48 V para 120 VAC), modo de cargador MPPT y voltaje nominal de la batería (48 V). La eficiencia medida bajo pruebas y estándares eléctricos de fabricante tuvo como resultados un

(>95%), se discrimina la eficiencia en dos clases : (i) Eficiencia modo batería (>92%), (ii) Eficiencia modo de línea (>98%) (Solar, n.d.).

D. Baterías

Una batería estacionaria, también llamada batería solar, es una batería compuesta por elementos de 2 voltios conectados en serie hasta que alcanza la tensión de funcionamiento requerida por la instalación solar. De esta forma, la batería estacionaria de 12V está compuesta por 6 componentes de 2V conectados en serie, y la batería estacionaria de 24V está compuesta por 12 de estos componentes. El elemento de 2 voltios, también conocido como pilas o vasos, puede tener una capacidad desde 200Ah hasta más de 4000Ah, lo que permite la configuración de una batería solar con el voltaje requerido y suficiente capacidad acumulativa para cualquier aplicación (Monsolar, 2019).

Las baterías estacionarias están diseñadas para aplicaciones estacionarias, es decir, no necesitan ser movidas, y son adecuadas para aplicaciones con consumo medio a alto, uso continuo y picos de corriente medianos. Por tanto, son ideales para aplicaciones solares fotovoltaicas (Monsolar, 2019).

Apoyados en la ficha técnica de fabricante se conoce las siguientes características técnicas: voltaje por unidad (2V por célula), capacidad (1200 Ah), máxima corriente de descarga (4000 A -5s), resistencia interna (0.25 mΩ), numero de celdas (6), capacidad nominal (1200 Ah), máxima corriente de carga (2A), máxima corriente de carga (240 A), rango óptimo de temperatura de operación (25°C ± 5°C) (Unit et al., n.d.). La Figura.27. presenta la curva de numero de ciclos vs capacidad de una batería estacionaria tipo gel 1200 Ah – 2V implementada en los SSFH de las localidades ZNI objeto de estudio.

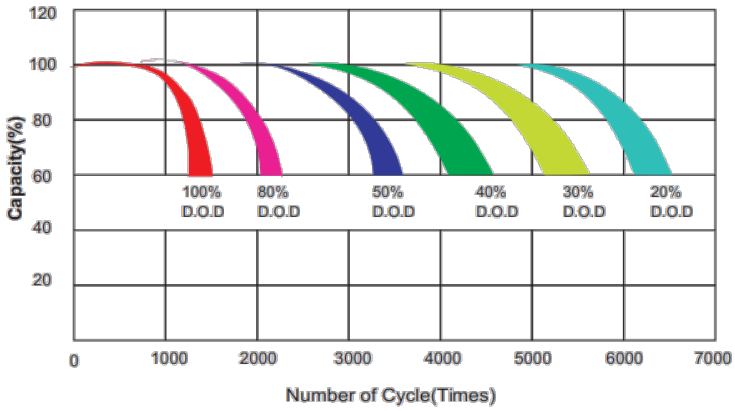


Figura. 27 Curva de numero de ciclos vs capacidad de las baterías estacionarias, Fuente: Tomado (Unit et al., n.d.).

E. Grupo Electrógeno Diesel

El grupo electrógeno para generar energía utiliza combustible, el combustible se quema mediante la rotación del motor diésel y la rotación del motor se convierte en energía eléctrica mediante el alternador, los generadores diésel se pueden definir como dispositivos que utilizan energía mecánica para generar corriente eléctrica de forma continua. Estos generadores son muy

adecuados para alimentar completamente equipos o instalaciones y pueden funcionar durante largos períodos de tiempo (ENVERD, 2021).

Los grupos electrógenos pueden ser de diferentes tipos en el caso de estudio de los SSFH son generadores Diesel insonorizados, los generadores Diesel insonorizados están equipados con una cubierta adicional para reducir el ruido resultante (ENVERD, 2021). Para el cálculo de la eficiencia del grupo electrógeno se evalúan los datos según ficha técnica del fabricante para las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía.

1. Remanso

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 60 kW – 75 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y - \Delta$).

1. El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (10)$$

$$\eta = \frac{75\ kVA * 0.8}{75\ kVA} = 80\% \quad (11)$$

2. Chorrobocon

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 175 kW – 218.75 kVA .

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{218.75\ kVA * 0.8}{218.75\ kVA} = 80\% \quad (13)$$

3. Pueblo Nuevo

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 300 kW – 375 kVA.

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (14)$$

$$\eta = \frac{375\ kVA * 0.8}{375\ kVA} = 80\% \quad (15)$$

4. Laguna Colorada

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 300 kW – 375 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y - \Delta$).

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{375\ kVA * 0.8}{375\ kVA} = 80\% \quad (17)$$

5. Caranacoa

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 80 kW – 100 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y - \Delta$).

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (18)$$

$$\eta = \frac{100\ kVA * 0.8}{100\ kVA} = 80\% \quad (19)$$

La evaluación de la eficiencia de generación del grupo electrógeno Diesel se observa en la Figura.28. Apoyados en el estudio del comportamiento del grupo electrógeno a diferentes potencias se evalúa su eficiencia tomando como referencia el fabricante del grupo electrógeno Cummins Diesel operando a una velocidad de 1800 rpm, recién salido de fábrica, el estudio del grupo electrógeno consistió en evaluar el punto de máximo rendimiento sometiendo a ensayos de laboratorio, el equipo opera en cuatro niveles de carga diferentes (25%, 50%, 75% y 100%) de potencia eléctrica y se esperaba hasta llegar a un estado estable (Forero Núñez, Eduardo-Arango, & Sierra Vargas, 2014). Esta investigación sirve como base para comprender los grupos electrógenos del fabricante que funcionan en condiciones normales de operación.

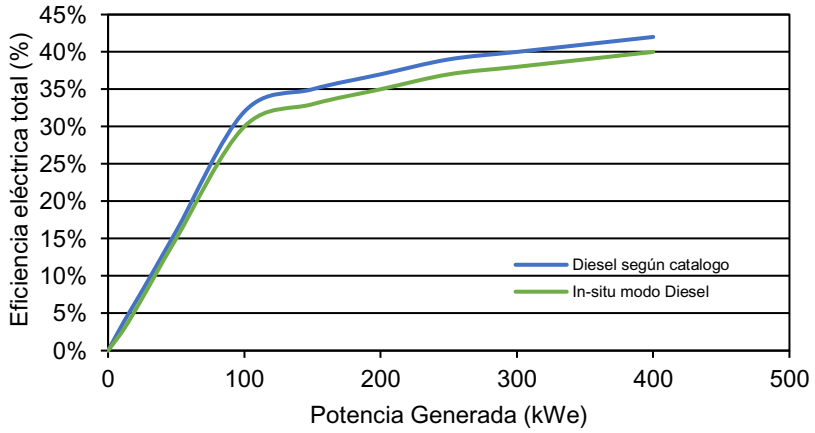


Figura. 28 Eficiencia eléctrica total en función de la potencia eléctrica generada según catálogo, Fuente: Tomado y adaptado (Forero Núñez et al., 2014).

Apoyados en la ficha técnica del fabricante se describen las características técnicas del grupo electrógeno Diesel Cummins instalado en la localidad de Caranacoa: modelo (4BTA3.9-G11), potencia en modo stand by (80 kW -107 HP), revoluciones por minuto (1500-1800) y consumo de combustible en modo stand by (24 L/h) (Cummins, n.d.).

7.4 Lecciones Aprendidas y divulgación para ser tenida en cuenta en los siguientes proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos.

En esta sección se muestra el resultado de la identificación de las lecciones aprendidas y divulgación para ser tenida en cuenta en los siguientes proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos problemática de eficiencia. Para el desarrollo de esta quinta y sexta etapa de la metodología propuesta se documenta la lección aprendida en conjunto con cooperación de profesionales asesores del IPSE involucrados en el proyecto energético soportado en el instrumento contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017, resultados previos de identificación de factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos y estudios previos del contrato interadministrativo dicha documentación fue facilitada por los profesionales del IPSE involucrados, la documentación de lecciones aprendidas en cooperación conjunta con el IPSE se encuentra en el Anexo 5 de este documento.

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE ha desarrollado en los últimos años diversos proyectos enfocados en la energización de Zonas No Interconectadas – ZNI a través de contratos interadministrativos en los cuales diversos actores de entidades privadas o públicas del estado participan.

Este apartado se centra en las lecciones aprendidas del servicio de energía eléctrica en las centrales de generación fotovoltaica implementadas mediante el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 , IPSE 110 de 2017 "*CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA*"(MINMINAS, 2017).

El proyecto de generación solar fotovoltaica buscaba ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en las ZNI. El contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 cuenta con el mecanismo de cofinanciación FAZNI – IPSE, confiere al Ministerio de Minas y Energía la facultad de ejecutar los recursos del FAZNI y el comité CAFAZNI, indico los ejecutores de los proyectos aprobados, teniendo en cuenta la capacidad gerencial y administrativa requerida para la ejecución de las obras, así como la experiencia acreditada en la ejecución de proyectos de características similares en zonas no interconectadas, seleccionando a la EMPRESA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P – GENSA. E.S.P para la suscripción del contrato de administración general y asistencia técnica por considerar viable la ejecución de dicho proyecto por parte de esta empresa (MINMINAS, 2017).

El 19 de marzo de 2021, José David Insuasti, Director del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas Distritales No Conectadas y Pablo Willian Acosta alcalde de Inírida, inauguraron el proyecto para la generación del servicio de energía eléctrica a 624 hogares de las localidades indígenas de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo del departamento del Guainía(Tintiando, 2021).

El contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 aprobó el proyecto "*CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA*"(MINMINAS, 2017). En la Tabla 14. se discriminan los actores participantes en el desarrollo del proyecto de generación fotovoltaica.

Tabla 14. Actores involucrados contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Elaboración propia

Promotor	IPSE
Ejecutor	Ministerio de Minas y Energía
Administrador	GENSA
Contratista Ejecutor	EMELCE

GENSA entrego el proyecto a los usuarios finales de las localidades ZNI del departamento del Guainía el 19 de marzo del año 2021, para el desarrollo del proyecto el promotor del proyecto IPSE y el Ejecutor MINISTERIO presentaron una metodología como parte integrante del contrato en el cual se tuvieron en cuenta las siguientes etapas:

Etapa 1- Actividades previas a la contratación de obras:

I. Suscripción del Encargo Fiduciario
II. Incorporación de los recursos al presupuesto de la entidad
III. Revisión y aceptación de diseños y presupuestos
IV. Realización de socialización y verificación de usuarios
V. Realizar verificación de la localización prevista del proyecto en campo
VI. Verificar la realización de las consultas previas, en caso de ser necesarias
VII. Verificación de responsables de la financiación y ejecución de las redes internas de los usuarios beneficiarios
VIII. Verificación de la existencia de las servidumbres y/o permisos de paso necesarias
IX. Verificación de licencia o permisos ambientales necesarios, y planes de aprovechamientos forestal, según corresponda
X. Verificación que las obras objeto de ejecución no se encuentran ubicadas en zonas de alto riesgo
XI. Elaboración de pliegos de contratación

Etapa 2- Actividades de contratación de obras:

I. Publicación de pliegos o invitación directa según corresponda
II. Recibo, evaluación y adjudicación de ofertas
III. Firma de contratos de interventoría, suministros de obra, según corresponda y suscripción de Actas de inicio

Etapa 3- Actividades de suministro, construcción y liquidación de obras:

I. Actividades o ítems relevantes de suministro y construcción
II. Acta de recibo de obras
III. Actas de liquidación de los contratos de interventoría, suministro y obra, según corresponda
IV. Revisar, ajustar y entregar al Operador de Administración, Mantenimiento y Operación – AOM que designe el MINISTERIO y el IPSE, un "Esquema de Sostenibilidad"

Etapa 4- Actividades de recibo y liquidación del contrato del Administrador:

I. Acta de recibo y entrega de inventarios entre el MINISTERIO e IPSE
II. Acta de entrega de redes e inventarios al Operador de Administración, Operación y Mantenimiento , según corresponda
III. Entrega de todos los documentos y soportes requeridos para efectuar el acta de liquidación del contrato

Originalmente el contrato interadministrativo contaba con el cronograma presentado a continuación para el desarrollo del proyecto pero la entrega a los usuarios finales como ya se mencionó se llevó a cabo hasta el 19 de marzo del 2021. El IPSE y el MINISTERIO acordaron con el operador de Administración GENSA el presente cronograma de ejecución de contrato.

Tabla 15. Cronograma ejecución de contrato FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Tomado y Adaptado (MINMINAS, 2017)

PROYECTO	**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA**	
ADMINISTRADOR	GESTIÓN ENERGÉTICA S.A ESP	
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN CONTRATO		
FECHA ACTA DE INICIO (Fecha estimada)	11-Dic-17	
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL CONTRATO (Fecha estimada)	31-Jul-18	
Ítem	**Actividad**	**Duración (días)**
a) Etapa 1 - Actividades previas a la contratación de Obras		
1	Suscripción del contrato fiduciario	4
2	Incorporación de los recursos al presupuesto de la entidad (si aplica)	0
3	Revisión y aceptación de diseños especificaciones y presupuesto	12

4	Realización de socialización y verificación de usuarios	44
5	Realizar verificación de la localización prevista del proyecto en el campo	44
6	Verificar la realización de las consultas previas, en caso de ser necesarias (si aplica)	72
7	Verificación de responsables de la financiación y ejecución de las redes internas de los usuarios beneficiados (si aplica)	72
8	Verificación de la existencia de la servidumbre y/o permisos de paso necesarias	72
9	Verificación de la existencia del Operador de Administración Operación y Mantenimiento (si aplica)	72
10	Verificación de licencia o permiso ambiental necesarios, y planes de aprovechamiento forestal, según corresponda (si aplica)	72
11	Verificación que las obras objeto de ejecución no se encuentran ubicadas en zonas de alto riesgo	72
12	Elaboración de pliegos de contratación	14
b) Etapa 2 - Actividades de contratación de obra		
1	Publicación de pliegos o invitación directa según corresponda	19
2	Recibo, evaluación y adjudicación de ofertas	12
3	Firma de contratos de interventoría, suministros y obra, según corresponda y suscripción de Actas de inicio	12
c) Etapa 3 - Actividades de suministro y construcción de obras y liquidación		
1	Actividades o ítems relevantes de suministro y construcción (Desplegar las actividades de ejecución)	87
2	Acta de recibo de obras	46
3	Revisión , ajuste y entrega al Operador de Administración, Mantenimiento y Operación - AOM que designe el MINISTERIO y el IPSE del "Esquema de Sostenibilidad"	46
4	Actas de liquidación de los contratos de interventoría, suministro y obra , según corresponda	31
d) Etapa 4 - Actividades de recibo y liquidación de contrato de Administrador		
1	Acta de recibo y entrega de Inventarios entre el MINISTERIO , IPSE y el ADMINISTRADOR (GENSA)	16
2	Acta de entrega de redes e inventarios al Operador de Administración, Operación y Mantenimiento , según corresponda	16
3	Documentación requerida para la liquidación del Contrato de Administración	92

Como administradora, GENSA construyó cuatro plantas solares fotovoltaicas en la provincia de Guainía, las cuales beneficiaron a 624 familias de las localidades indígenas de El Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo, las cuales ya cuentan con energía eléctrica desde las 6:00 de la mañana hasta las 10:00 de la noche.

El proyecto ha sido entregado a EMELCE, empresa que opera la Red local Guainía (OR), y sus ingenieros y técnicos han recibido instrucciones sobre la gestión, control, operación y mantenimiento de cada central fotovoltaica, lo que garantizará la durabilidad de los equipos.

El proyecto contempla que los usuarios gestionen su propio consumo, para lo cual se aplica el concepto de prepago, mediante un sistema de comunicaciones los usuarios pueden hacer recargas desde cada una de las comunidades al operador de red el cual controla el sistema de manera centralizada.

Bajo el marco del convenio 078 de 2017 vigente entre el IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se desarrolló el estudio, evaluación, identificación y documentación de las lecciones aprendidas del proyecto de generación fotovoltaica a través de mesas de trabajo con dos sesiones por semanas instauradas entre profesionales IPSE y miembros del semillero de investigación apoyado en trabajo autónomo y colaborativo, se estableció una metodología para la caracterización de las lecciones aprendidas como se presentan en la Figura.29.

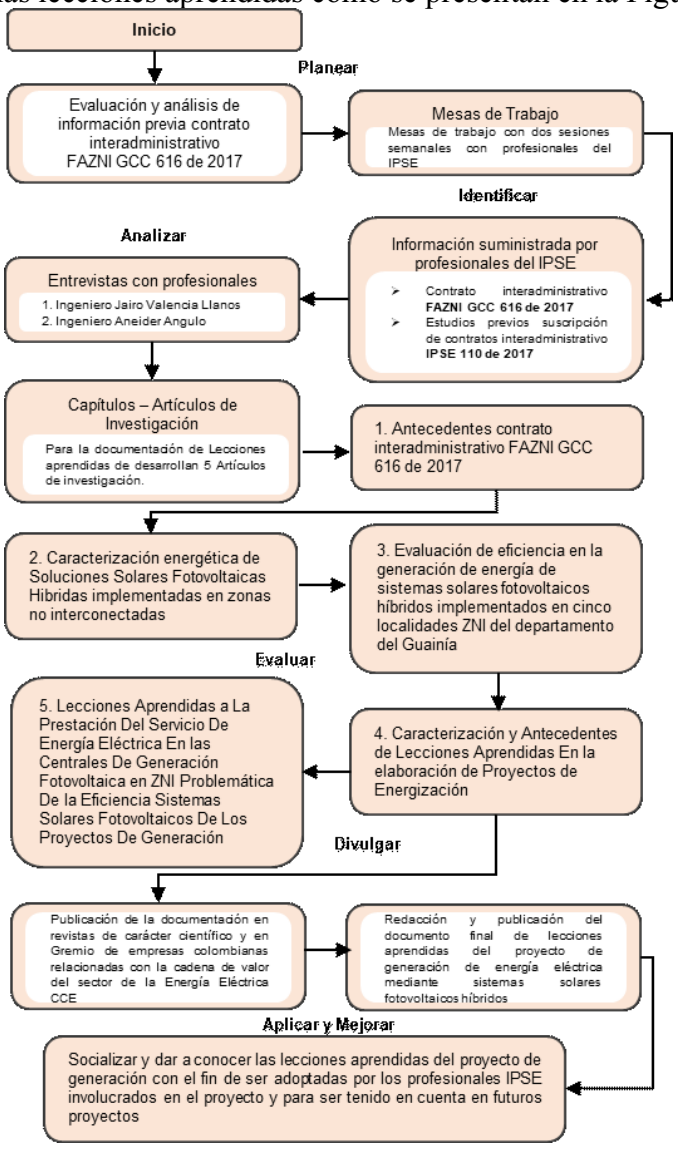


Figura. 29 Metodología caracterización de lecciones aprendidas proyecto de generación, Fuente: Autores.

7.4.1 Lecciones Aprendidas Selección de características técnicas de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos

La evaluación de eficiencia en la generación de energía de los sistemas solares fotovoltaicos híbridos implementados en las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía identificó las características técnicas involucradas a garantizar la eficiencia de los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos de los proyectos de generación.

A continuación, se listan las principales características técnicas que deben ser evaluadas por los diseñadores para una selección adecuada de una solución de diseño para un proyecto de generación fotovoltaico.

1. Nivel de tensión

En los últimos años, ha habido una tendencia a utilizar un nivel de voltaje de corriente continua de 1500 VDC. La motivación para usar este nivel de voltaje es promover a los principales fabricantes de paneles e inversores para una nueva generación de dispositivos que tienen los beneficios de reducir la pérdida de energía, ahorrar costos (reducir el cableado de DC) y mejorar la disponibilidad del servicio
como es el caso de la ficha técnica del fabricante seleccionado para el nivel de tensión de los paneles solares implementados en las SSFH en las localidades objeto de estudio. En general, los principales beneficios de tener un sistema solar fotovoltaico a 1500 VDC son (Jiménez, 2020):

1. Menos cajas- DC Box (concentración en serie). En particular, la caja con la misma potencia se reduce en un 30%.
2. Reducir el cableado en DC. Dado que hay menos DC Box, la potencia en serie está más concentrada, es decir, hay más módulos en la misma cadena
3. Se pueden instalar inversores de mayor potencia (en el mercado, los inversores de mayor potencia funcionan a 1500 VDC).
4. Menos cableado de baja tensión, porque se necesitan interconectar menos unidades.

Lecciones Aprendidas

i. Bajo el nivel de voltaje de 1500 VDC, se reduce el tamaño del cable DC, se reduce el número de DC Box y el número de inversores, lo que reduce el costo del sistema.

2. Paneles Solares

Los paneles solares son fabricados por muchas empresas en todo el mundo. Algunas empresas han establecido procedimientos de fabricación de calidad estrictos basados en estándares internacionales como IEC 61730-1: 2016 (Whitfield et al., 2017). Sin embargo, otras empresas no tienen procedimientos estándar para la fabricación de módulos solares.

Para la selección de paneles solares, se recomienda comenzar con la potencia disponible (280W, 320W, 370W, etc.), estándares de fabricación de paneles, tecnología de fabricación (monocristalino, policristalino), tiempo de importación (si es necesario), y finalmente el precio (Jiménez, 2020). Todas las características mencionadas deben ser consideradas durante la selección del módulo solar a utilizar en cada Planta solar.

Lecciones Aprendidas

ii. Pérdida de garantía y eficiencia. Los fabricantes de paneles solares suelen ofrecer una garantía de 25 años. La ficha técnica de fabricante muestra la curva de pérdida de eficiencia durante 25 años. Por tanto, se recomienda comparar el valor de la eficiencia y el tiempo de garantía de cada panel con las opciones a adquirir.

iii. Certificación de panel. A mayor número de certificaciones obtenga un panel solar, mayor será la calidad del panel solar. Sin embargo, es necesario determinar las certificaciones y pruebas más relevantes del mercado. Requerimientos de seguridad y estándar en la construcción IEC 61730-1:2016. Pruebas de desempeño y calificación de energía IEC 61730-3:2018. Pruebas de confiabilidad y durabilidad de los paneles IEC TS 63049:2017.

3. Inversores

En la actualidad, la elección del nivel de tensión está relacionado con el tipo de tecnología utilizada por el inversor (centralizada o distribuida). En el mercado, los inversores centralizados operan a un nivel de tensión de 1500 VDC, mientras que los inversores distribuidos operan a un nivel de voltaje de 1000 VDC o un nivel menor. En los últimos años, algunos fabricantes han desarrollado inversores distribuidos con niveles de tensión de 1500 VDC (Jiménez, 2020).

Lecciones Aprendidas

iv. Garantía y soporte técnico. Los fabricantes de inversores solares generalmente tienen que asegurarse de que el equipo tenga un incumplimiento de 5 años. Además, se recomienda exigir al proveedor que brinde soporte técnico, y el tiempo de respuesta no debe exceder las 24 horas (dependiendo de la ubicación del proyecto).

v. Certificación de inversionista. El grupo de inversores que se recomienda instalar cuenta con las siguientes certificaciones: prueba anti-isla recomendada, cambios de potencia activa y reactiva, entre otras - UL 1741, IEEE 1547, IEEE 1547.2 .

7.4.2 Lecciones Aprendidas Rendimiento del colector térmico fotovoltaico (PVT)

Se ha invertido mucho esfuerzo en el desarrollo de PVT híbrido, con el fin de mejorar su eficiencia tanto térmica como celular. La combinación de eficiencias térmicas y de celda, que se conoce comúnmente como “eficiencia total del PVT”, está influenciada por muchos parámetros de diseño del sistema y condiciones de operación. Debido a eso, se diseñan, investigan y comparan nuevas configuraciones de diseño de colectores absorbedores que son recomendables tener en cuenta por el diseñador al momento de establecer sus criterios de diseño y la selección

de los paneles solares fotovoltaicos a utilizar en SSFH en especial al ser implementados en ZNI. Estudios previos realizados por diversos autores tuvieron como resultados las simulaciones para determinar el mejor diseño de absorbedor que brinda la mayor eficiencia (eficiencia total) (Ibrahim et al., 2009).

Dichos autores realizaron el análisis de 7 configuraciones diferentes de intercambiadores de calor y mediante simulaciones estudiaron la eficiencia de cada geometría utilizando agua como fluido de trabajo, las geometrías y comparaciones se muestran en la Figura.30. y Figura.31. respectivamente.

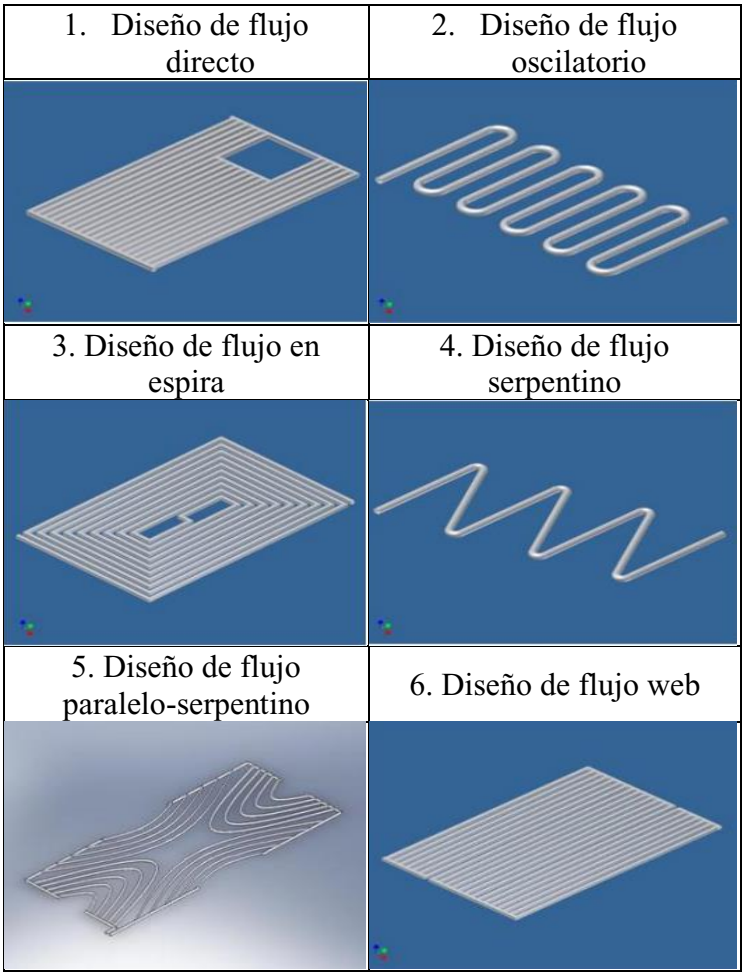


Figura. 30 Geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado (Francisco et al., 2020).

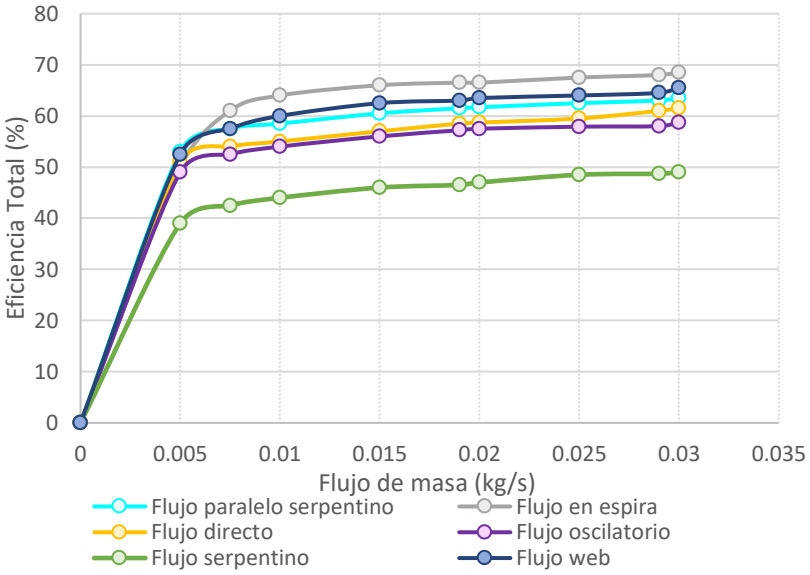


Figura. 31 Curva de eficiencia, geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado (Francisco et al., 2020).

En la Figura. 31. se puede ver que, con la excepción de diseño de flujo serpentino, la eficiencia global de cada tipo de intercambiador de calor es muy cercana entre sí.

Lecciones Aprendidas

Las geometrías más fáciles de fabricar son aquellas con los perfiles más comercializados en el mercado, como los perfiles tubulares circulares y cuadrados. Por lo tanto, las configuraciones más viables a implementar son flujo oscilatorio capaz de entregar una eficiencia total del 59%, flujo directo capaz de entregar una eficiencia total del 61% y flujo paralelo serpentino capaz de entregar una eficiencia total del 62%.

En trabajos anteriores, varios investigadores han desarrollado intercambiadores de calor de flujo directo, que es el cuarto más eficiente de las geometrías planteadas por Ibrahim. et al. (2009) (Ibrahim et al., 2009).

7.4.3 Lecciones Aprendidas Esquema de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos

Durante la ejecución del proyecto de generación fotovoltaico implementado en las localidades ZNI objeto de estudio a través del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 y sus estudios previos (Ministerio de Minas y Energía, GENSA, IPSE, 2017), el contratista ejecutor (EMELCE) adquirió la obligación de estructurar un esquema comunitario para la comercialización y AOM de los sistemas híbridos fotovoltaicos instalados en el departamento del Guainía, En la Figura.32. se presentan el esquema establecido por EMELCE para llevar a cabo los procesos relacionados con la Administración, Operación y Mantenimiento.

PROCESO	ACTIVIDAD	PERIOCIDAD	ALCANCE
1. Mantenimiento preventivo	Registro datos funcionamiento	Bimensual	Voltaje, corriente y consumo
	Mantenimiento menor	Bimensual	Limpieza paneles, gabinete, borneras, fumigación
	Mantenimiento mayor	Semestral	-Mantenimiento menor -Revisión Estructura -Revisión paneles -Revisión electrónica inversor y controlador -Revisión conexión, protecciones y puesta a tierra -Verificación carga e instalaciones internas -Recomendaciones al usuario -Registro fotográfico y georreferenciado de la visita
2. Mantenimiento correctivo	Reparación daños reportados	Por solicitud	Incluye reposición a nuevo de componentes
3. Lectura, corte y reconexión	Uso de PDA software dedicado	Bimensual	Visita y recorrido según programación
4. Facturación	Elaboración factura	Trimensual	Visita y recorrido según programación
5. PQR	Oficina en cabecera municipal y Línea de atención al usuario	Diario	Atención , registro de PQR y emisión de OT
6. Registro SUI SSPD	Registro	Según normatividad	De acuerdo con resolución SSPD

Figura. 32 Esquema de OAM de los sistemas híbridos fotovoltaicos propuesto por el OR EMELCE, Fuente: Autores

EMELCE como Operador de Red juega un papel muy importante en la ejecución del proyecto de generación fotovoltaico como ejecutor contratista encargado de comercializar la energía producida por el proyecto al mismo tiempo administrar, operar y realizar mantenimiento a los sistemas híbridos fotovoltaicos. De la Figura.32. se puede inducir que el mantenimiento que se le debe hacer a los sistemas solares fotovoltaicos consta de dos modalidades: **Preventivo y Correctivo.**

A continuación se describe las modalidades de mantenimiento en caminada a los sistemas solares fotovoltaicos propuesta por el OR EMELCE y las actividades a desarrollar las cuales se identificaron como lecciones aprendidas:

- *Mantenimiento Preventivo*
  - Paneles Solares Fotovoltaicos

Hay dos consideraciones principales, por un lado, asegurar que ningún obstáculo arroje sombras sobre los módulos, y por otro lado, mantener limpias las partes de los módulos fotovoltaicos expuestas a los rayos del sol. La pérdida causada por la suciedad puede llegar al 5%, lo que puede evitarse con una limpieza regular adecuada. El mantenimiento consiste en:

Lecciones Aprendidas

1. Limpieza con regularidad del panel. La suciedad acumulada en el panel reducirá su rendimiento, la capa de polvo que reduce la intensidad de la luz solar no es peligrosa y la reducción de potencia no suele ser significativa. La limpieza de los paneles se realizará una vez al mes. Se limpiará con agua (sin abrasivos ni utensilios metálicos). Lo mejor es hacerlo fuera del centro horario del día para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel.

2. Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente).

   ✓ Se comprobará que ninguna célula solar esté en mal estado (el cristal protector está roto, normalmente debido a un funcionamiento externo).

   ✓ Verificará que el marco del módulo esté en el estado correcto (sin deformaciones ni roturas).

Lecciones Aprendidas

3. Control de temperatura del panel (una vez cada trimestre). Si es posible, se utilizarán imágenes térmicas infrarrojas mediante pruebas eléctricas de termografía para controlar cualquier punto del panel dentro del rango de temperatura permitido por el fabricante.

4. Características eléctricas del panel solar (anual). Se revisará el estado de la conexión, entre otros:
   - ✓ Sin exposición a la sulfatación.
   - ✓ No hay oxidación ni soldadura de la batería en el circuito, generalmente debido a la entrada de humedad.
   - ✓ Comprobación de estado y adherencia de los cables a los terminales de los paneles.
   - ✓ Comprobación de la estanqueidad de la caja de conexiones o el estado del casco de seguridad. Si corresponde, las piezas que estén en malas condiciones serán reemplazadas y/o se limpiarán los terminales. Comprobación de la resistencia a tierra y el potencial a tierra
   - ✓ La temperatura de conexión se comprobará mediante imágenes térmicas infrarrojas, prueba eléctrica de termografía. Si alguna conexión aparentemente correcta alcanza una temperatura superior a 60 ºC, se medirá su voltaje y corriente para comprobar si está dentro del rango normal. Si es necesario, se sustituirá dicha conexión.

- Estructura soporte de los paneles

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses y consistirá en:

- ✓ Comprobación de posibles degradaciones (deformaciones, grietas, etc).
- ✓ Comprobación del estado de fijación de la estructura a cubierta. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada, controlando el par de apriete si es necesario. Si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos, se sustituirá por otro nuevo. Comprobación de la estanqueidad de la cubierta. Consiste básicamente en cerciorarse de que todas las juntas se encuentran correctamente selladas, reparándolas en caso necesario.
- ✓ Comprobación del estado de fijación de módulos a la estructura. Operación análoga a la fijación de la estructura soporte a la cubierta.
- ✓ Comprobar la puesta a tierra y la resistencia de paso a tierra.

- Cajas de campo o Combiner Boxes

Resistentes a la intemperie (ubicadas a la sombra). Se recomienda realizar las siguientes operaciones de mantenimiento:

- ✓ Comprobar el correcto anclaje de la caja a la estructura soporte correspondiente y horizontalidad de la misma, asegurándose de que la tornillería está correctamente apretada, sustituyendo algún elemento de fijación si se encuentra en mal estado.
- ✓ Comprobar que la carcasa de la caja se encuentra en correcto estado y no presenta síntomas de deterioro debido a agentes externos. Sustituirla en caso necesario.
- ✓ Comprobar la estanqueidad de la carcasa y si presenta daños.

- *Mantenimiento Correctivo*

Las labores de mantenimiento correctivo delegadas a EMELCE, empresa que opera la red local del Guainía, especialista en el sector, encargada de realizar todas las reparaciones pertinentes así como suministrar los repuestos necesarios identificadas como lecciones aprendidas son las siguientes:

Lecciones Aprendidas

- ✓ Garantizar la visita a la instalación en los plazos establecidos y cada vez que el usuario lo requiera debido a cualquier incidencia en la misma. Dicha visita a la instalación se atenderá en el menor plazo posible, teniendo en cuenta la ubicación de las centrales de generación solar fotovoltaica.
- ✓ Analizar y realizar un presupuesto adecuado de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto y normal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.
- ✓ Subsanar correctamente cualquier incidencia en el menor tiempo posible, excepto cuando se trate de causas de fuerza mayor debidamente justificadas.

8. Análisis de Resultados y Productos

La validación de las lecciones aprendidas consistió en la socialización , aprobación, análisis a detalle y publicación de los documentos presentados en los anexos de este informe, en cooperación con profesionales asesores del IPSE en diferentes fuentes de información de tipo académico, en la medida que se desarrollaba cada una de las etapas propuesta en la metodología se elaboraba en conjunto un documento producto con la recopilación de los hallazgos encontrados, un ejemplo de esto fue que gracias a anuar esfuerzos entre el IPSE y la Universidad Distrital se realizó una publicación en la Cámara Colombiana de la energía como se observa en la Figura.33.

1. El producto Caracterización Energética De Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia se encuentra disponible en la siguiente dirección web para consulta: https://www.ccenergia.org.co/estudiosconenergia/ y presente en el Anexo 6 de este informe. Esta investigación realizaba una descripción a detalle de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas – SSFH- implementadas en las zonas no interconectadas- ZNI- por el IPSE en Colombia. Se muestra inicialmente las zonas no interconectadas, su localización geográfica y usuarios energizados en contraste con la ubicación geográfica y características de las SSFH como su participación en la generación en las ZNI, la comparación con otro tipo de generación en la ZNI, la cantidad de usuarios que se benefician con estos sistemas y la forma como interactúan los sistemas de generación Diésel y fotovoltaicos para disminuir el consumo de combustible. Por último se presenta la distribución y características específicas de las SSFH en los departamentos de la ZNI esto permitió tener un panorama inicial de las SSFH implementadas como soluciones energéticas mediante el instrumento.

2. El producto Energía Solar Fotovoltaica En Zonas No Interconectadas- Contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 presente en el Anexo 3 de este informe muestra el estado del arte y antecedentes de la inserción de la energía solar fotovoltaica como soluciones energéticas para zonas aisladas o zonas no interconectadas las cuales cuentan con un difícil acceso a los servicios esenciales como la energía eléctrica, Marco legal, legislación e incentivos de la participación de entidades públicas a través de contratos interadministrativos suscritos por el Ministerios de Minas y Energía , IPSE y GENSA con el fin de dar a conocer los proyectos llevados a cabo con tecnología solar fotovoltaica en los últimos años en Colombia específicamente en el Departamento del Guainía por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE.

3. El producto Caracterización y Antecedentes de Lecciones Aprendidas En la elaboración de Proyectos de Energización presente en el Anexo 1 presenta la Caracterización de lecciones aprendidas en el desarrollo de proyectos, se presentan las experiencias y lecciones aprendidas en el estudio de antecedentes de proyectos de energización en zonas rurales o zonas aisladas desarrolladas por diversos autores, relacionados con proyectos que se presentan como soluciones energéticas para usuarios que no cuentan con el servicio de energía eléctrica o a los cuales se les hace difícil su acceso con el fin de dar a conocer la importancia de caracterizar y socializar las lecciones aprendidas en el

desarrollo de proyectos asegurando el éxito y evitando los reprocesos en el desarrollo de los mismos.

4. El producto Evaluación de Eficiencia En La Generación de Energía De Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas Implementadas En Cinco Localidades ZNI Del Departamento Del Guainía presente en el Anexo 4 de este informe muestra la evaluación de la eficiencia en la generación de energía en soluciones solares fotovoltaicas híbridas SSFH implementadas como sistemas energéticos en zonas no interconectadas por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE mediante el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 DE 2017, la evaluación de la eficiencia de los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas involucrados en la generación de energía eléctrica, implementados en las localidades de Chorrobocon , Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo y Remanso del departamento del Guainía, Zonas No Interconectadas en Colombia, con el fin de dar a conocer las soluciones energéticas propuestas en el departamento del Guainía con la participación activa del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas- IPSE.

5. El producto Lecciones Aprendidas a La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica En las Centrales De Generación Fotovoltaica en ZNI Problemática De la Eficiencia Sistemas Solares Fotovoltaicos De Los Proyectos De Generación presente en el Anexo 5 documenta las lecciones aprendidas en la prestación del servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas del país caso de estudio departamento del Guainía mediante la implementación de soluciones solares fotovoltaicos híbridos por parte del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE a través del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 el cual beneficia a 624 usuarios de las localidades de Chorrobocon , Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo y Remanso del departamento del Guainía.

   Las lecciones aprendidas expuestas en este documento se centran en la problemática de la eficiencia en los sistemas solares híbridos de los proyectos de generación implementados como soluciones energéticas en estas localidades del departamento del Guainía con el fin de ser divulgadas y puestas en práctica en futuros proyectos desarrollados con la participación activa del IPSE.

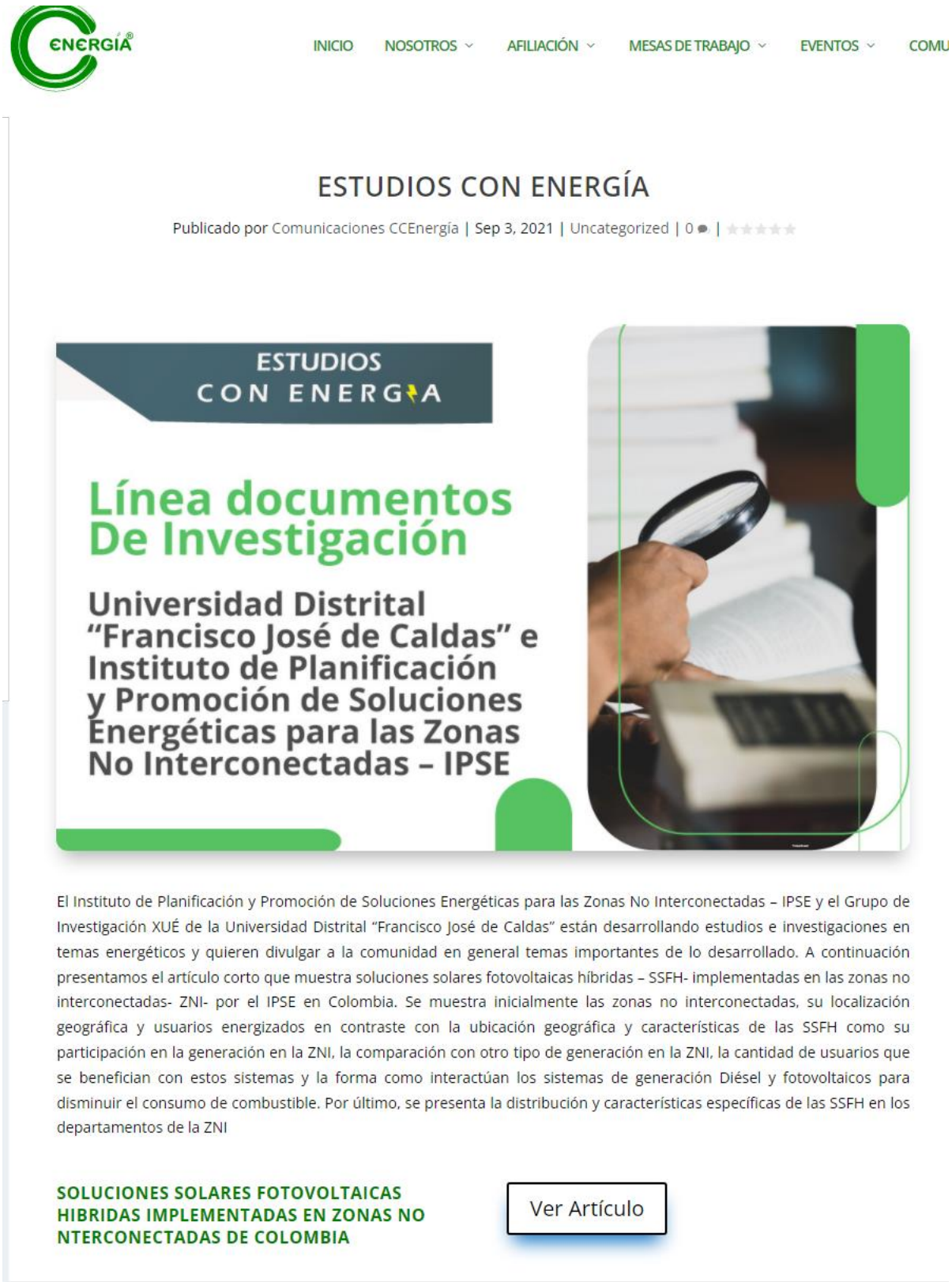


Figura. 33 Caracterización Energética De Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia, Fuente: Camara Colombiana de la Energia

9. Alcances e Impactos del Trabajo

Durante la revisión bibliográfica se pudo identificar metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares.

Otro aspecto que se logra identificar durante la revisión bibliográfica es la importancia de la divulgación de las lecciones aprendidas aplicadas en proyectos, en este caso proyecto de generación de energía eléctrica a través del establecimiento de metodología a pasos del método científico.

En la etapa del desarrollo e implementación de un instrumento de recolección de datos al personal implicado se logró identificar los actores del proyecto energético por parte del IPSE. Se permitió conocer la trasversalidad del proyecto de generación de energía solar fotovoltaica hibrida soportar en información suministrada por el IPSE y conocer los puntos críticos donde se pueden identificar y evaluar lecciones aprendidas.

Además, en la etapa de identificación de los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctricas se logra afianzar conocimientos sobre los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos híbridos, sus principales características , su incidencia en la evaluación de la eficiencia y características técnicas de diseño que deben ser tenidas en cuenta al diseñar este tipo de soluciones solares fotovoltaicas hibridas – SSFH.

Como resultado de la validación de las Lecciones Aprendidas se logra observar la utilidad de estas misma, obteniendo resultados que inciden en la elaboración de proyectos energéticos a través de contratos interadministrativos establecidos entre el MME – IPSE – GENSA y los operadores de red designados en el área a desarrollar el proyecto. Las lecciones aprendidas identificadas a través del desarrollo de esta pasantía son puntos de partida que deberán ser tenidos en cuenta por el IPSE o cualquier entidad de carácter privado o público interesado en desarrollar soluciones energéticas mediante la implementación de SSFH en ZNI.

A nivel profesional poder realizar la pasantía a través del convenio 078 de 2017 vigente entre el IPSE y la Universidad Distrital me permitió afianzar conocimientos en el área de fuentes no convencionales de energías renovables, eficiencia de generación de energía, electrificación rural, sistemas solares fotovoltaicos, profundizar en conocimientos como metodologías y modelos para la caracterización de lecciones aprendidas entorno a la eficiencia en los sistemas eléctricos con base en tecnología solar fotovoltaica de los proyectos de generación implementados actualmente como soluciones energéticas en zonas no interconectadas.

Por último, personalmente el trabajo de pasantía me permitió relacionarme con profesionales asesores del IPSE los cuales fueron de aporte significativo para el desarrollo de esta pasantía y contribuyeron a mi desarrollo profesional, también esto permitió la aplicación de conocimientos adquiridos durante el desarrollo de mi pregrado en busca de obtener el título profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

10. Evaluación y Cumplimiento de Objetivos

Una vez culminado el proceso de la pasantía a través del convenio 078 de 2017 vigente entre el IPSE y la Universidad Distrital, se sigue una metodología para dar cumplimiento con los objetivos propuestos en este informe. Para el cumplimiento de los objetivos se realizan diferentes actividades ligadas a cada uno de estos. En la Figura 34 se muestra la secuencia de cumplimento para cada objetivo.

Para la primera etapa que concierne a la investigación de metodologías y modelos existentes para caracterizar las lecciones aprendidas aplicadas al mejoramiento de la eficiencia de los grupos de generación eléctrica basados en sistemas solares su desarrollo es presentado en el numeral 7.1 de este informe, el siguiente objetivo ceñido referente al desarrollo de un instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE es presentado en el numeral 7.2 de este informe, el siguiente objetivo desarrollado referente a la identificación de los factores relevantes que permiten mejorar la eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos usados en proyectos de generación eléctrica es presentado en el numeral 7.3 y para terminar la etapa de identificación de lecciones aprendidas y divulgación para ser tenida en cuenta en los siguientes proyectos de generación eléctrica basados en sistemas solares fotovoltaicos es presentado en el numeral 7.4.

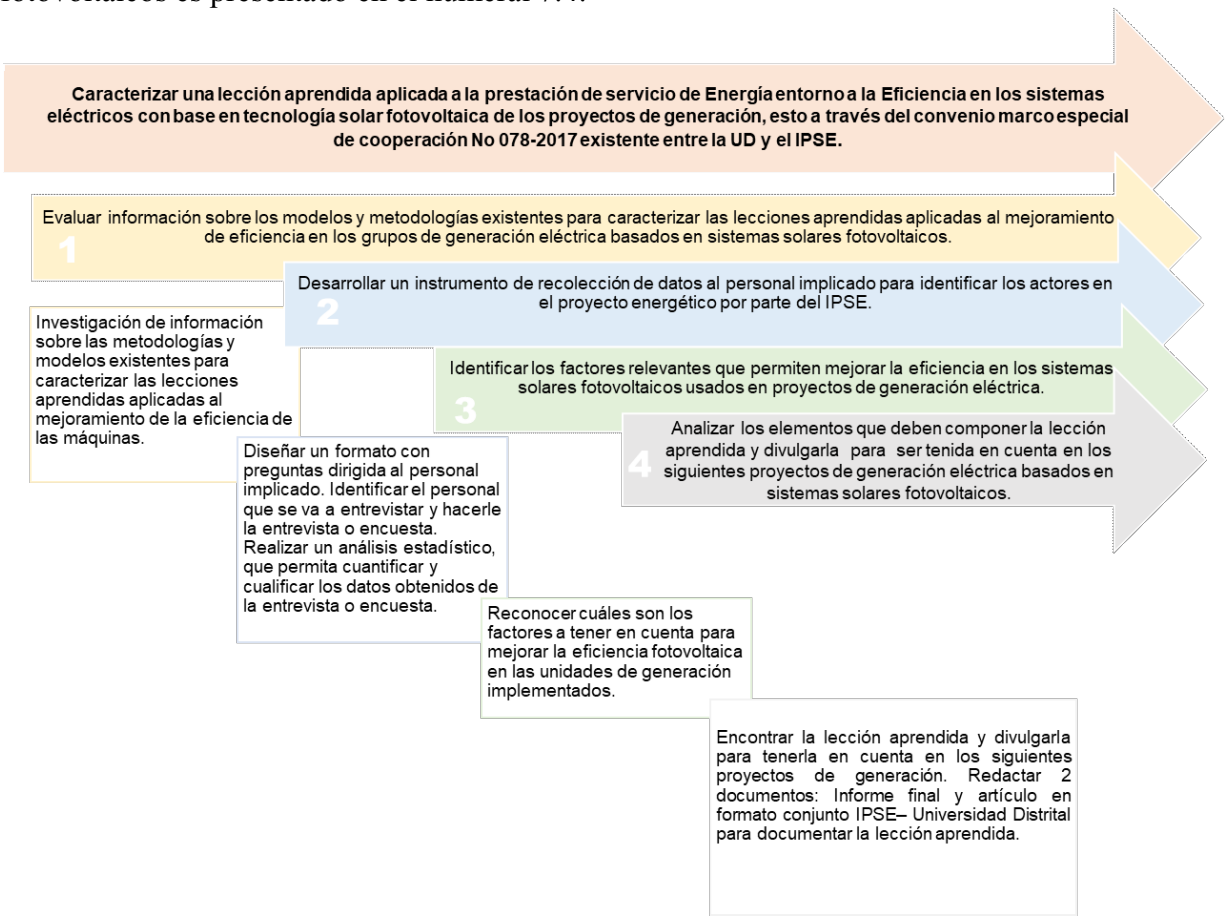


Figura. 34 Evaluación y cumplimiento de objetivos , Fuente: Elboración propia

11. Conclusiones

1. Con el desarrollo de esta investigación se pudo concluir que el proyecto soportado por el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 contribuirá a ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica del departamento del Guainía, y a plantear la energía Solar Fotovoltaica como una alternativa viable para dar solución a la cobertura del servicio en Zonas No Interconectadas ZNI, especialmente a viviendas rurales dispersas o comunidades indígenas.

2. En el desarrollo de esta investigación se concluye que los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas híbridas a los cuales se evaluó la eficiencia en la generación de energía eléctrica, cumplen los rangos de eficiencia en sitio de instalación localidades ZNI del departamento del Guaina contrastados con la eficiencia teórica calculadas por los fabricantes de los componentes de los SSFH en sus correspondientes ensayos y pruebas.

3. Los principales factores que deben evaluarse durante el proceso de diseño de los proyectos de generación de energía solar fotovoltaica son: impacto técnico (confiabilidad, pérdida de potencia, regulación, nivel de voltaje, irradiación solar, horas de incidencia de brillo solar, etc.); económico (precio del equipo, costo horizontal-LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logístico (tiempo de importación, transporte de equipos, demanda de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, precios de importación de equipos, precios de tecnologías seleccionadas), supervisión (requerimientos técnicos de cada país); geográfico y topográfico.

4. Los proyectos solares fotovoltaicos híbridos llevados a cabo por el Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas IPSE permite a localidades de ZNI que disponen de un servicio de energía eléctrica de 4 o hasta 8 horas al día, un servicio continuo de energía soportado por paneles solares fotovoltaicos, bancos de baterías y un grupo electrógeno que garantizan la continuidad del servicio de energía eléctrica con un número mayor de horas de servicio.

5. Las lecciones aprendidas identificadas en este documento sirven como criterios diseños que deben ser socializados y tenidos en cuenta para el dimensionamiento de proyectos de generación fotovoltaico con el fin de servir de apoyo y solución a las problemáticas de eficiencia de los sistemas solares.

6. El actor encargado de la Administración, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos híbridos tiene el carácter de preservación fundamental de eficiencia de las especificaciones técnicas y criterios de diseño establecidos a la componentes de los sistemas solares fotovoltaicos, ya que pese a seleccionar los componentes que presentan mayor eficiencia de generación si no conservan un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado su vida útil se reducirá ocasionando envejecimiento de los componentes o en casos extremos desconexión o perdidas en el servicio a los usuarios finales.

12. Recomendaciones

1. Para la implementación del proceso de lecciones aprendidas es fundamental, como en cualquier otra iniciativa que se decida emprender, el apoyo y compromiso de la alta dirección. La estandarización del proceso, la normatividad interna y externa, el compromiso de la alta gerencia y el cambio de pensamiento, y la gestión del cambio organizacional, viabilizan el éxito del proceso.

2. En la ejecución del proceso de lecciones aprendidas se requiere la información histórica y la participación de los involucrados en el ciclo de vida del proyecto, para transformar la información mediante el análisis y categorización y divulgación al equipo del proyecto y otros interesados.

3. En la construcción de proyectos pertenecientes al sector energético mediante contratos interadministrativos, se debe tener en cuenta los lineamientos establecidos por el Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas, dada su condición de líder del sector. Las entidades territoriales cuentan con diversas fuentes de financiación como el Presupuesto General de la Nación (PGN), el Sistema General de Regalías (SGR), el Sistema General de Participaciones (SGP), el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y Rentas Propias. Todas estas fuentes deben ser consultadas, identificando los recursos que pueden financiar el proyecto y los requisitos a cumplir para tener acceso a cada una de ellas. De acuerdo con la fuente o fuentes de financiación con la cual se vaya a financiar el proyecto, es indispensable en la etapa de formulación y estructuración consultar la normatividad aplicable para que los proyectos sean susceptibles de financiación, cumpliendo las normas que los rijan.

4. Las especificaciones técnicas deben ser actualizadas de acuerdo a las normativas vigentes o fecha de entrada de operación de los sistemas solares fotovoltaicos , ya que estas normativas se soportan en pruebas y estándares específicos orientados a los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos. Para una correcta selección de especificaciones técnicas es imperativo cumplir con estándares de calidad y pruebas en laboratorio necesarias para garantizar no solo su vida útil si no su porcentaje total de eficiencia en sitio.

5. Finalmente, Se recomienda configurar personal de puesta en marcha, técnicos capacitados desde la fuente de diseño del sistema solar fotovoltaico, actores involucrados en el desarrollo de proyectos de generación con el fin de establecer los responsables del comisionamiento (commissioning) permitiendo intermediarios y acuerdos multilaterales entre inversores a través de contratos interadministrativos, jefes de proyecto y equipos de diseño. Por tanto, se concluye que son mayores los beneficios globales evaluados en el proceso de diseño del proyecto y la adecuación tecnológica seleccionada de común acuerdo a través de la ejecución de contratos interadministrativos.

13. Referencias

Abella, M. (2011). Master en Energias Renovables y Mercado Energetico. *Ciemat*, *1*(1), 59. Retrieved from http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf

Almeshqab, F., & Ustun, T. S. (2019). Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *102*(October 2018), 35–53. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.035

Altomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. (2003). Energias renovables y eficiencia energética en América Latina y en el Caribe. Restricciones y perspectivas. In *Cepal*. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6426/S039642_es.pdf?sequence=1

ÁNGELA GUALDRÓN ROMERO, K. A. P. (2015). DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCESO PARA APROVECHAR LAS LECCIONES APRENDIDAS EN LA GERENCIA DE TECNOLOGÍA DE COLSUBSIDIO, TOMANDO COMO CASO DE ESTUDIO TRES PROYECTOS. *ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO*, *151*, 10–17.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). Como Documentar lecciones Aprendidas. Retrieved from 01-15 website: http://blogs.iadb.org/abierto-al-publico/2015/01/15/como-documentar-lecciones-aprendidas/

Bari, I., & Conformità, C. T. E. D. (2017). Estudio de la Eficiencia Energética en una vivienda aislada. *Universidad Politecnica de Valencia*, 6.

Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Monteagudo, F. E., & Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, *11*(2), 105. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.742

Biomass Users Network. (2012). Manual sobre energua renovable solar fotovoltaica. *FOCER*, 93.

Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, C. S. H. (2005). *Lecciones aprendidas en Electrificación Rural*. *9*, 1–42.

Cadena, C. (2006). ¿Electrificación O Energización? Mediante Energías Alternativas En Zonas Rurales. *AVERMA Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, *10*, 83–90.

Cardona, J. A. (2019). Región Amazonia primer lugar en poblados sin energía eléctrica. *BETA*, 10. Retrieved from http://pagina10.com/web/narino-primer-lugar-en-poblados-sin-energia-electrica/

Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J. R., & Donado Campos, J. (2013). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención Primaria*, *31*(8), 527–538. https://doi.org/10.1016/s0212-6567(03)70728-8

Casilimas, C. A. S. (2011). Investigación cualitativa. In *Pharmaceutical Care Espana* (Vol. 13). https://doi.org/10.2307/j.ctv1cfthrh.8

Castanheira, É. G., Acevedo, H., Freire, F., Caspary, G., Botero B, S., Isaza C, F., … Yeregui, A. U. (2013). Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *114*(3), 50–68. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.010

Centers for Disease Control and Prevention. (2010). PMG: Centers for Disease Control and Prevention. Retrieved from CDC website: http://www2a.cdc.gov/cdcup/library/pmg/implementation/ll_description.htm%0D

Cepeda, J., & Sierra, A. (2007). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. *NAFA SCR Document*, *07/80*, 17.

Chantrabose, R., Kayalvizhi, S., Murugan, V., Karpagavalli, B., & Kirubakaran, V. (2016). Development of energy efficient wood stove for rural application. *2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, ICEETS 2016*, 792–795. https://doi.org/10.1109/ICEETS.2016.7583855

CIS. (2016). ¿Qué es una encuesta? Cómo se hacen las encuestas en el CIS. *Centro de Investigaciones Sociológicas*. Retrieved from http://www.cis.es/cis/opencms/ES/1_encuestas/ComoSeHacen/queesunaen%0Acuesta.html

Clawson, J. F., & Oberhettinger, D. (2001). The lessons learned process: An effective countermeasure against avoidable risk. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 94–97. https://doi.org/10.1109/rams.2001.902448

Cohen, L., & Manion, L. (1990). Introcucción: La naturaleza de la Investigación. In *Metodos de Investigacion Educativa* (pp. 23–74).

Collison, C., & Parcell, G. (2011). Practical lessons from one of the world's knowledge leading companies. *Capstone Publishers*. https://doi.org/978-1841121246

Congreso de la República. (1993). Ley 80 de 1993 "Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública." *Gaceta Del Congreso de Colombia*, *1993*(octubre 28), 1–34. Retrieved from http://www.esu.com.co/esu/images/Descargables/PDF/Normograma2/leyes/Ley 80 1993.pdf

Corral, C. P., Garcíavillalba, L. A., Caberta, R. Ñ., & Alberto, R. (2016). Diseño de un sistema Hibrido solar para suministro de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua. *Cultura Científica y Tecnológica*, *0*(54).

Cortés, D., & Cabrera, M. (2014). Energía Solar Fotovoltaico Como Estrategia. *PERS*.

Cristina, A. N. A., & Rojas, C. (2017). Diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para la estación aeronáutica Araracuara de la aeronáutica civil de Colombia. *Universidad Distrital*.

Cummins. (n.d.). Grupo eletrogeno 4BTA3.9-G11. *Generator Engine Performance Data*, 9–12.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2020: Pacto por Colombia, Pacto por la equidad - Tomo I. *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2020*, *I*, 1397–1407. Retrieved from https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND-Pacto-por-Colombia-pacto-por-la-equidad-2018-2022.pdf

Departamento Nacional de Planeación, M. de M. y E. (2020). Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. *DNP*, 1–51.

Díaz-Niño, C. I., Fraile-Neira, D. M., Rodríguez-Higuita, D. Y., & Giraldo-Gonzalez, G. E. (2016). Hacia la excelencia en la gerencia de proyectos a través del proceso de lecciones aprendidas -Towards excellence in project management through the lessons-learned process. *Revista Científica*, *3*(23), 82. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.rc.2015.23.a7

EAST. (n.d.). INVERSOR CARGADOR SOLAR CON CONTROLADOR SOLAR MPPT SERIE HYBRID (BI-DIRECCIONAL). *Saicanarias*.

Elba Luna Bu, L. R. (2011). Lecciones aprendidas. *BID Sector de Conocimiento y Aprendizaje*, 4. Retrieved from http://services.iadb.org/wmsfiles/products/Publications/36075405.pdf

ENVERD. (2021). Generadores Electricos - Grupos Eléctrogenos. Retrieved from Generadores Eléctricos website: https://www.generadoreselectricos.org/generador-diesel/

Escobar Portal, R., Gamio Aita, P., Moreno Morales, A. I., Castro Rivera, A., Cordero Torres,

V., & Vásquez Baca, U. (2016). Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible. Propuestas para alcanzar el acceso universal a la energía en el Perú. *Soluciones Practicas Tecnologias Desafiando La Pobreza*, 1–68. Retrieved from www.fasert.org/...80af.../Energizacion-rural-mediante-el-uso-de-energias-ren.aspx%0A

Felipe, R. B. A. (2018). Diseño de un sistema fotovoltaico paraa la iluminacion perimetral del centro de entrenamineto Bosanova. *Universidad de Cordoba*, (2), 52. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712107005

Forero Núñez, C. A., Eduardo-Arango, J., & Sierra Vargas, F. E. (2014). Energy analysis of a 400 kWe power system operated on dual fuel mode with diesel - liquefied petroleum gas. *Ingenieria Mecanica*, *17*(3), 205–215.

Francisco, V., Igor, I., Ifes, B., Mateus, S., Fazolo, A., Ifes, N., … Ifes, R. F. (2020). MODELADO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO (PV / T). *VIII Congreso Brasileño de Energía Solar - Fortaleza*.

Fu, R., Feldman, D., & Margolis, R. (2018). U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018. *NREL*, (Novmnber), 1–47. Retrieved from https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf

Gómez, J., Murcia, J. D., & Cabeza, I. (2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. *Universidad Santo Tomás*, 19. Retrieved from http://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312

González, F. (2019). Lecciones aprendidas: qué son y para qué sirven. Retrieved from Ingennus website: https://ingennus.com/lecciones-aprendidas-que-son-para-que-sirven/

Gowrishankar. (2012). Learning from Lessons Learned: Project Management Research Program. *American Journal of Economics and Business Administration*, *4*(1), 13–22. https://doi.org/10.3844/ajebasp.2012.13.22

Grado, T. F. D. E. (2019). *IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR-DIÉSEL) Memoria*.

Guía del PMBOK. (2013). Project management Institute Publications. *Project Management Institute*, *5*, 550.

Henao, F., Dyner, I., Aristizábal, J., & Alvarez, C. (2003). Modelos para análisis de políticas y toma de decisiones en energización rural. *Boletín Del Observatorio Colombiano de Energía*, (February), 14. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Alvarez2/publication/267426040_MODELOS_PARA_ANLISIS_DE_POLTICAS_Y_TOMA_DE_DECISIONES_EN_ENERGIZACIN_RURAL/links/54e7362a0cf277664ff80c5b.pdf%0Ahttps://www.gov.uk/dfid-research-outputs/modelos-para-analisis-de-p

Henner, D., & REN21. (2020). *RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT*. Retrieved from https://abdn.pure.elsevier.com/en/en/researchoutput/ren21(5d1212f6-d863-45f7-8979-5f68a61e380e).html

Huraib, F. S., Hasnain, S. M., & Alawaji, S. H. (1996). Lessons learned from solar energy projects in Saudi Arabia. *Renewable Energy*, *9*(1-4 SPEC. ISS.), 1144–1147. https://doi.org/10.1016/0960-1481(96)88480-1

Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., Yahya, M., Zaharim, A., & Sopian, K. (2009). Performance of photovoltaic thermal collector (PVT) with different absorbers design. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, *5*(3), 321–330.

IPSE. (2020). Informe de Informe de Gestión 2020. *Informe de Gestión*, 118. Retrieved from

https://empresa-de-servicios-publicos-de-aguazul.micolombiadigital.gov.co/sites/empresa-de-servicios-publicos-de-aguazul/content/files/000122/6062_informe-de-gestion-20182019-vfinal.pdf

IPSE. (2021). Reporte Localidades ZNI - Caracterización Energética. Retrieved from https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/

IRENA. (2017). A World of Renewables. *International Renewable Energy Agency*.

Jaimurzina, A. (2017). Eficiencia energética y movilidad eléctrica fluvial : soluciones sostenibles para la Amazonía. *Division de Recursos Naturales e Infraestructura CEPAL*.

Jaramillo Montoya, S. P., & Suárez Marín, L. A. (2018). *Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica*. 63. Retrieved from https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13511/trabajo de grado Maestría.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Jiménez, J. D. (2020). Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas. *I+D Tecnológico*, *16*(2). https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2826

Jonathan, B., & María, C. L. (2015). *Eficiencia en la Conversión de Energía*. 1–6.

Kreuzer, F. M., & Wilmsmeier, G. (2014). Eficiencia Energética En América Latina Y El Caribe : Avances Y Desafíos Del Ultimo Quinquenio. *Comision Economica Para America Latina y El Caribe*.

Ladino, R. (2011). La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare. *Pontifia Universidad Javeriana. Bogota, D.C., Marzo 2011*, (2), 135. Retrieved from http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf

Ledesma, S. (2015). CARACTERIZACIÓN ESTÁNDAR DEL PROCESO DE LECCIONES APRENDIDAS EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN ERP EN EL SECTOR DE SOFTWARE EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO SAP SORAIDA. *ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO*, 615.

Lessons, D., & Helps, L. (2012). *Integrate a Robust Lessons Learned Process into Product Development Documenting Lessons Learned Helps the Business Capturing lessons learned provides organizations with a valuable opportunity to streamline their*. 1–3.

Li, J., & Jing, Y. (2011). Rural structure change and rural energy efficiency. *BMEI 2011 - Proceedings 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information*, *2*, 575–578. https://doi.org/10.1109/ICBMEI.2011.5917976

Luna E, R. L. (2016). Lecciones aprendidas. BID. Sector de Conocimiento y Aprendizaje. *BID Sector de Conocimiento y Aprendizaje*, *1*, 4. Retrieved from https://publications.iadb.org/es/publicacion/14982/lecciones-aprendidas

Luxan, M. De. (2007). Guía de la eficiencia energética para Administradores de Fincas. *Fundación Gas Natural*.

Macias, A. M., & Andrade, J. (2014). Estudio de generación bajo escenarios de cambio climatico. *UPME*, 8. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/generacion_electrica_bajo_escenarios_cambio_climatico.pdf

Margolis, R., Mitchell, R., & Zweibel, K. (2006). *Lessons Learned from the Photovoltaic*

Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects. (September), 26. Retrieved from http://www.nrel.gov/pv/pdfs/39780.pdf

Ministerio de Minas y Energía, GENSA, IPSE, E. (2017). *Estudio previo para suscribir contratos interadministrativos IPSE - CO - F40* (p. 20). p. 20. Diario Oficial.

Ministerio de Minas y Energía. (2002). *Ley Eléctrica - Ley 143 de 1994*. *1994*(41), 347. Retrieved from http://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e

Ministerio de Minas y Energía. (2007). *Resolución 182138 de 2007 - Porcedimientos subsidios ZNI* (p. 4). p. 4.

Ministerio de Minas y Energía. (2014). Ley 1715 de 2014 - Regulación de la integración de las energías renovables no convencioanles al sistema energético nacional. *MME*, (May), 2014.

MINMINAS. (2017). *Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 - IPSE 110 de 2017* (p. 26). p. 26.

Monsolar. (2019). Baterias Estacionarias Fotovoltaicas. Retrieved from https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/baterias/estacionarias.html

Montedonico, M., Herrera-Neira, F., Marconi, A., Urquiza, A., & Palma-Behnke, R. (2018). Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile. *Energy Research and Social Science*, *45*(December 2017), 173–183. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.08.004

Mózo, B. S. (2017). INCIDENCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PRODUCCIÓN RURAL SOBRE EL DESPOBLAMIENTO DEL CAMPO COLOMBIANO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Muñoz, Y. A. (2012). Optimizacion de recursos energéticos en zonas aisladas mediante estrategias de suministro y consumo. *Ing.Puc.Cl*, 345. Retrieved from http://www2.ing.puc.cl/iee2682/biblio/IEE2682_PROGRAMA_0601.pdf

Nations, U. (1992). *United Nations Framework Convention*. *62220*.

NREL. (2014). OpenEI. Retrieved from http://en.openei.org/apps/TCDB/

Open, P. (2010). Eficiencia energética y energías limpias. *OPEN*.

Pablo Diaz, Rafael Peña, Carlos A. Arias, D. S. (2010). Estudio De Campo De La Generación Híbrida Diesel / Renovable Para Electrificación Rural. *IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA)*, 1–5.

Pinilla, A. (2016). Soluciones Energéticos para zonas rurales. *Revista de Ingeniería N°44*, 36–39. https://doi.org/Revista de Ingeniería

Pinzón, L. V. (2016). Alternativa En El Aprovechamiento De Energía Solar Ante Crisis Energética En Colombia. *Universidad Militar Nueva Granada*, 25. Retrieved from https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15275/PinzonArevaloLadyViviana2016.pdf;jsessionid=DB86C11352B573D88409BB27F701DFC9?sequence=3%0Ahttp://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15275/3/PinzonArevaloLadyViviana2016.pdf

PMBOK, G. del. (n.d.). Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) – Sexta Edición. *Guía de Los Fundamentos Para La Direccion de Proyectos*, *6*, 15.

Poschen, P., & Renner, M. (2015). Green jobs. In *Finance and Development* (Vol. 52). https://doi.org/10.2307/j.ctt1t89gc5.19

Poveda, M. (2007). Eficiencia Energética: Recurso no aprovechado. *Latin American Energy Organization*, 25.

Project Management Doc. (2019). Lecciones aprendidas. Retrieved from Project Management website: https://www.projectmanagementdocs.com/template/project-closure/lessons-learned/#axzz6sLrIY7uv

RISEN SOLAR TECHNOLOGY. (2019). *Panel Solar Fotovoltaico 270WP RSM60-6-260P-280P/5BB*. 1–3.

Robles-Algarín, C. A., Taborda-Giraldo, J. A., & Ospino-Castro, A. J. (2018). Sistemas de potencia estabilidad y transitorios. *Información Tecnológica*, *29*(3), 71–80. https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000300071

Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *74*(June 2016), 590–601. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081

Sánches Guevara, S., & Gil, J. F. (2016). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la universidad tecnológica de Pereira. *Universidad Tecnologica de Pereira*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Solar, S. (n.d.). *Sunny Island Inverter*.

Sostenible, D., Energreencol, Perpiñan Lamigueiro, O., Granda-Gutiérrez, E. E., Orta-Salomón, O. A., Díaz-Guillén, J. C., … Ministerio de Minas. (2013). Atlas de radiación solar de Colombia. *Congr. Int. Ing. Electrón. Mem. Electro 2013*, *2007*(October), 1–23.

Sunny Places. (n.d.). Inversor Sunny TripowEr 5000TL – 12000TL. *SMA Solar Technology*, 5.

Superservicios. (2017). Diagnóstico Anual de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica en las Zonas no Interconectadas. *Diagnóstico De La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica 2017*, (September), 1–43. Retrieved from https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD Publicaciones/Publicaciones/2018/Sep/diagnosticozni-superservicios-oct-2017.pdf

Tintiando. (2021). GENSA ENTREGÓ CENTRALES DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL GUAINÍA. Retrieved from 28 de mayo de 2021 website: https://www.tintiando.com/2021/05/28/gensa-entrego-centrales-de-generacion-fotovoltaica-en-el-guainia/

Umaña, S. (2019). *Modelo De Negocio Para Propiciar La Conexión a Red De Sistemas Fotovoltaicos En Unidades De Vivienda Subsidiadas Del Departamento Del Atlántico*.

UNDP. (2019). *Good Practices and Lessons Learned: Solar Interventions under Erry Projects in Yemen*. Retrieved from www.ye.undp.org

Unit, V. P., Resistance, I., Range, O. T., Operating, O., Range, T., Current, M. C., … Material, C. (n.d.). OPzV2-1200 OPzV2-1200 Bateria RITAR. *RITAR*, *1200*.

UPME. (2012). *Energy and Mining Planning Unit (UPME). Projection of fuel demand in the transportation sector in Colombia (in Spanish)*. 53. Retrieved from http://www.sipg.gov.co/sipg/documentos/Proyecciones/2015/Proy_Demanda_Mar2015.pdf

UPME. (2015). Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia. In *Ministerio de minas y energía*. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

UPME. (2018). *Plan de Expansión de Referencia Generación*. Retrieved from

https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/47894-res_40790_310718.pdf

Uribe Tirado, A. (2013). Lecciones aprendidas en programas de Alfabetización Informacional en universidades de Iberoamérica . Propuesta de buenas prácticas. *Universidad de Gran Granada*, *1*, 126. https://doi.org/10.13140/2.1.1786.2085

Velasco Muñoz, Á., & Calvache, Ó. S. (2019). Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia. *Repositorio Institucional USC*, 1–16. Retrieved from https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/2781

Velo, E., Sneij, J., & Delclós, J. (2006). Energía, participación y sostenibilidad. In *Ingeniería sin Fronteras, Barcelona*. Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Energ?a+Participaci?n+y+sostenibilidad#0

Walker, A. (2012). *Renewable Energy 101 Outline • RE Policy • Integration Issues Operating Principle • RE Technologies*.

Weber, R., Aha, D. W., Muñoz-ávila, H., & Breslow, L. A. (2000). *An Intelligent Lessons Learned Process*. (July), 358–367. https://doi.org/10.1007/3-540-39963-1_38

White, M., & Cohan, A. (2015). A Guide to Capturing Lessons Learned. *The Nature Conservancy*. Retrieved from https://www.conservationgateway.org/ConservationPlanning/partnering/cpc/%0ADocuments/Capturing_Lessons_Learned_Final.pdf

Whitfield, K., Laboratories, U., Sample, T., Monokroussos, C., Hacke, P., & Renewable, N. (2017). *QUALIFICATION TESTING VERSUS QUANTITATIVE RELIABILITY TESTING OF PV – GAINING CONFIDENCE IN A RAPIDLY CHANGING TECHNOLOGY*. (September).

Zhang, X., Sharma, R., & He, Y. (2012). Optimal energy management of a rural microgrid system using multi-objective optimization. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2012*, 1–8. https://doi.org/10.1109/ISGT.2012.6175655

14. Anexos

Anexo 1 Caracterización y Antecedentes de Lecciones Aprendidas En la elaboración de Proyectos de Energización.

Anexo 2 Instrumento de recolección de datos al personal implicado para identificar los actores en el proyecto energético por parte del IPSE.

Anexo 3 Energía Solar Fotovoltaica En Zonas No Interconectadas- Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017.

Anexo 4 Evaluación de Eficiencia En La Generación de Energía De Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas Implementadas En Cinco Localidades ZNI Del Departamento Del Guainía.

Anexo 5 Lecciones Aprendidas a La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica En las Centrales De Generación Fotovoltaica en ZNI Problemática De la Eficiencia Sistemas Solares Fotovoltaicos De Los Proyectos De Generación.

Anexo 6 Caracterización Energética De Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia.

Caracterización y Antecedentes de Lecciones Aprendidas En la elaboración de Proyectos de Energización

Bello Torres Astrid Jessenia, ajbellot@correo.udistrital.edu.co Coautores IPSE: Jairo Valencia Ll.

Abstract— The following article presents the Characterization of lessons learned in the development of projects, the experiences and lessons learned in the study of the background of energization projects in rural areas or isolated areas developed by various authors are presented, related to projects that are presented as solutions. energy services for users who do not have electricity service or to whom access is difficult in order to publicize the importance of characterizing and socializing the lessons learned in the development of projects, ensuring success and avoiding reprocessing in their development.

***Keywords*— Lessons Learned, Solar Photovoltaic, Hybrid, Electric Power, Non-Interconnected Zones.**

***Resumen*— El siguiente artículo presenta la Caracterización de lecciones aprendidas en el desarrollo de proyectos, se presentan las experiencias y lecciones aprendidas en el estudio de antecedentes de proyectos de energización en zonas rurales o zonas aisladas desarrolladas por diversos autores, relacionados con proyectos que se presentan como soluciones energéticas para usuarios que no cuentan con el servicio de energía eléctrica o a los cuales se les hace difícil su acceso con el fin de dar a conocer la importancia de caracterizar y socializar las lecciones aprendidas en el desarrollo de proyectos asegurando el éxito y evitando los reprocesos en el desarrollo de los mismos.**

***Palabras Clave*— Lecciones Aprendidas, Solar Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Zonas No Interconectadas.**

I. Introducción

Las lecciones aprendidas pueden definirse como el conocimiento adquirido sobre un proceso o una o varias experiencias, a través de la reflexión y el análisis sobre sus resultados y los factores críticos o condiciones que pueden haber incidido sobre su éxito o en su obstaculización. Las lecciones aprendidas se enfocan en la hipótesis que vincula causalmente los resultados buscados y aquello que ha funcionado o no ha funcionado para alcanzarlos [1].

Para la ejecución de proyectos, las lecciones aprendidas son un insumo importante, teniendo en cuenta que son antecedentes que, de ser conocidos, pueden garantizar el éxito, evitar reprocesos y encontrar nuevas soluciones de manera más adecuada. Según el PMBOK, una lección aprendida se define como "el conocimiento adquirido durante un proyecto, la cual muestra cómo se abordaron o deberían abordar en el futuro los eventos del proyecto, a fin de mejorar el desempeño futuro"[2].

Articulo de Investigación Fecha de entrega 17 de Octubre de 2021. Este documento fue realizado por estudiantes activos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la supervisión y acompañamiento del Docente Andrés Escobar Díaz director Semillero de investigación Barión de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bello Torres Astrid Jessenia. Cód. 20152007046 Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, (ajbellot@correo.udistrital.edu.co) y profesionales IPSE.

Las lecciones aprendidas capturan evidencias e identifican tendencias y relaciones causa-efecto, acotadas a un contexto específico, y sugieren recomendaciones prácticas y útiles para la aplicación o replicación del nuevo conocimiento en otros contextos y en el diseño o ejecución de otros proyectos o iniciativas que se proponen lograr resultados similares; pueden dar una ventaja competitiva entre actores de una misma industria [3]. Para que el proceso de lecciones aprendidas sea exitoso no solo se requiere el esfuerzo individual del director del proyecto o encargado, sino que se deben entender como el fruto del trabajo de todo el equipo, por eso se hace necesario conocer el proceso de caracterización de lecciones aprendidas en el desarrollo de proyectos y los antecedentes de lecciones aprendidas que apliquen al proyecto que se está estudiando para garantizar el éxito del mismo.

II. Metodología Lecciones Aprendidas

En el desarrollo de proyectos con frecuencia se identifican, documentan y comparten lecciones aprendidas producto de la experiencia y de los resultados, lo que no se realiza en varios de ellos es lograr aplicarlas y usarlas con el rigor esperado. Hay condiciones que afectan la implementación de las lecciones obtenidas, el desconocer por qué o cómo hacerlo, el tiempo, los incentivos, entre otros, que llevan a no realizar la gestión de este conocimiento[4].

El proceso de lecciones aprendidas es una forma facilitadora de la gestión de este conocimiento, tanto en los proyectos, como en las organizaciones, que ayuda a trabajar de una forma más efectiva sin llegar a ser considerado como actividades adicionales en el trabajo. El proceso de lecciones aprendidas cuenta con elementos claves, que facilitan el conocimiento o entendimiento ganado a partir de un proceso sistémico de análisis y la reflexión colectiva de las experiencias, de los procesos y de sus combinaciones [5].

Los elementos claves que dan origen a una estructura básica del proceso de lecciones aprendidas se muestran en la Fig.1.

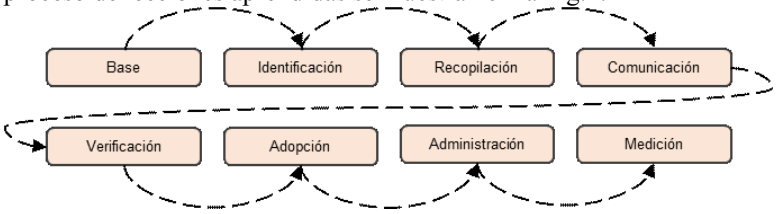


Fig. 1 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y Adaptado [5]

1. Base: asignación de los recursos necesarios (personal, sistemas, instalaciones, equipos, materiales).
2. Identificación: localización de las lecciones potenciales a través de sentidos (vista, oído, olfato, tacto, prueba).
3. Recopilación: extracción de las LA reunidas, las cuales se clasifican y consolidan.
4. Comunicación: corresponde a difusión y entrega de las LA, junto a su presentación (publicaciones para que sean revisadas y discutidas de acuerdo a las políticas y prácticas establecidas).
5. Verificación: rectificación de las LA involucrando un proceso de revisión y confirmación de las LA presentadas y propuestas.
6. Adopción: definición de un acuerdo mutuo del significado de las LA presentadas entre los interesados.
7. Administración: gestión del mantenimiento de las LA integradas (prestar soporte técnico) asegurando la funcionalidad del repositorio de LA
8. Medición: generación de indicadores frente al uso y aprendizaje ofrecido por el proceso de LA.

A. Metodología

Para el desarrollo de Lecciones Aprendidas se propone por diversos autores metodologías para la caracterización de Lecciones Aprendidas las cuales pueden adoptar un enfoque descriptivo, el cual describe un fenómeno en específico, sus propiedades o componentes relacionados con este a través de un enfoque exploratorio.

1) Población y objeto de estudio

Se realiza un estudio de la población objeto la cual es la principal beneficiada de la implementación del proyecto y la principal involucrada durante todas las fases del mismo, según el organigrama o estructura organizacional se identifican todos los actores involucrados, las empresas que participan en el desarrollo del proyecto, los directivos y los gerentes de cada división o departamento en cargado de la ejecución del proyecto y los usuarios finales beneficiados.

2) Técnicas e Instrumentos

a) Entrevista

Se conoce como la fase cualitativa, se emplea la entrevista para identificar los aspectos más relevantes en las organizaciones para gestionar el proceso de lecciones aprendidas. El diseño de esta entrevista se realiza con base en los aspectos que se identifiquen en la revisión de la literatura del proyecto, como resultado se plantea un cuestionario de preguntas, el cual deberá ser revisado por un asesor externo especializado en la investigación del proyecto. La entrevista puede ser aplicada a gerentes de proyectos, lideres, responsables de proyectos, o de áreas de gerencia de proyectos, quienes cuentan con el conocimiento de los procesos y actuaron como representantes de las organizaciones [6].

b) Encuesta

Se conoce como la fase cuantitativa, mediante el estudio exploratorio, se emplea la técnica de encuesta, la cual cuenta con un numero de preguntas cerradas que serán realizadas al personal identificado responsable del proyecto, o personal involucrado. La encuesta deberá ser validada con un asesor externo, experto en la investigación, para comprobar la efectividad de las preguntas y garantizar que permitieran la recolección de información analizable y concluyente. La encuesta debe ser aplicada a gerentes de proyectos, lideres, responsables de proyectos, o de áreas de gerencia de proyectos, quienes cuentan con el conocimiento de los procesos y actuaron como representantes de las organizaciones [6].

3) Propuesta

La propuesta de proceso de lecciones aprendidas se deriva de la revisión de literatura y análisis cualitativo con alcance exploratorio descriptivo. La propuesta contempla las actividades para identificar y recopilar y aplicar las lecciones aprendidas en el desarrollo y gerencia de los proyectos en organizaciones [6].

III. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE LECCIONES APRENDIDAS

La Fig.2. presenta la propuesta del proceso de caracterización de Lecciones Aprendidas, la integración del proceso con procesos de desarrollo y gerencia de proyectos y otros procesos organizacionales. Las entradas buscan alimentar el proceso con la información necesaria. La salida sugiere información con valor agregado para transformar procesos y formas de pensamiento en los proyectos y las organizaciones. Todo esto orientado en los procesos de mejora continua (PHVA: planear, hacer, verificar y actuar), permitiendo que las experiencias analizadas y transformadas en lecciones aprendidas, sean evaluadas con hechos y datos. Se propone un líder del proceso, tanto a nivel organizacional, como en el desarrollo de la gerencia de proyectos. Además, un repositorio de lecciones aprendidas en el sistema de información para la gestión de proyectos [6].

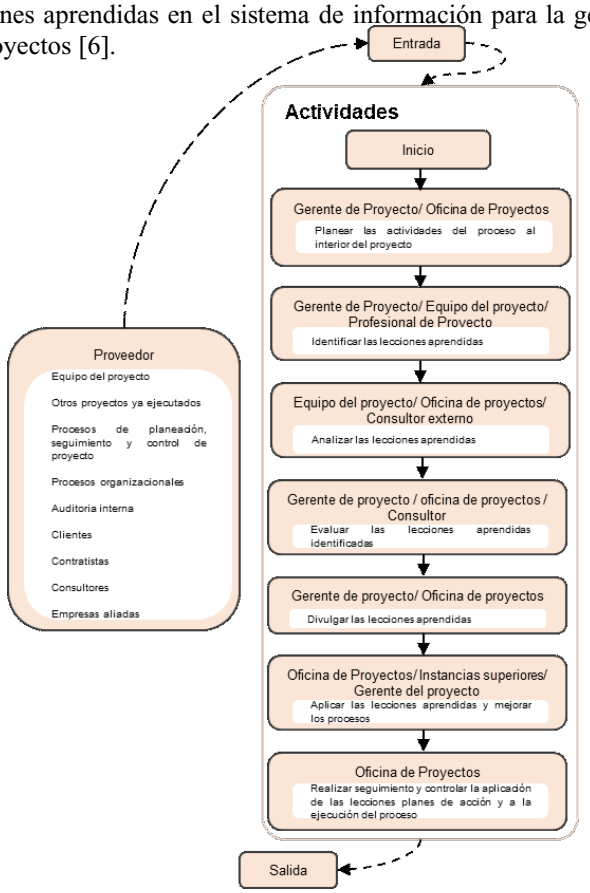


Fig. 2 Estructura básica del proceso de lecciones aprendidas , Fuente: Tomado y adaptado [6].

A. Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de Lecciones Aprendidas

Basados en el articulo “Hacia la excelencia en la gerencia de proyectos a través del proceso de lecciones aprendidas”. Como se muestra en la Fig.3 (a-e). presenta el procedimiento propuesto, los responsables, actividades e interacción con otros procesos. Donde se visualiza 7 etapas generales.

1. Planeación: desde la identificación de la información requerida, hasta la conformación de los planes de trabajo.

2. Identificación: inicia con el registro progresivo de los eventos, su revisión y validación, hasta la consolidación de las experiencias y los clasificados de eventos críticos (de atención inmediata).

3. Análisis: determinación de la causa raíz de los eventos, así como las consecuencias e impactos generados a las personas, medio ambiente, entorno e infraestructura.

4. Evaluación: categorización y ajuste de las lecciones mediante el juicio de expertos. Las categorías sugeridas son: *Estratégica*, muestran incidencia en la definición de planes estratégicos e impacto para el logro de los objetivos estratégicos. *Administrativa*, brindarán recomendaciones para los procesos organizacionales, buscando la mejora continua en las áreas administrativas. *Operativa*, relacionadas con la puesta en marcha del producto del proyecto. *Técnica*, asociadas con el diseño del producto del proyecto y especificaciones técnicas de los equipos e infraestructura requerida, áreas de conocimiento de la dirección de proyectos, otras áreas específicas del proyecto.

5. Divulgar: comunicación, de acuerdo con la categorización y alineación con las estrategias de comunicación interna.

6. Aplicar y Mejora: Desde la adopción, la definición y revisión de los planes de acción , hasta la implementación de dichos planes.

7. Seguimiento y Control: verificación de los planes de acción y del cumplimiento del proceso, y la definición de acciones oportunas que mejoren su desempeño.

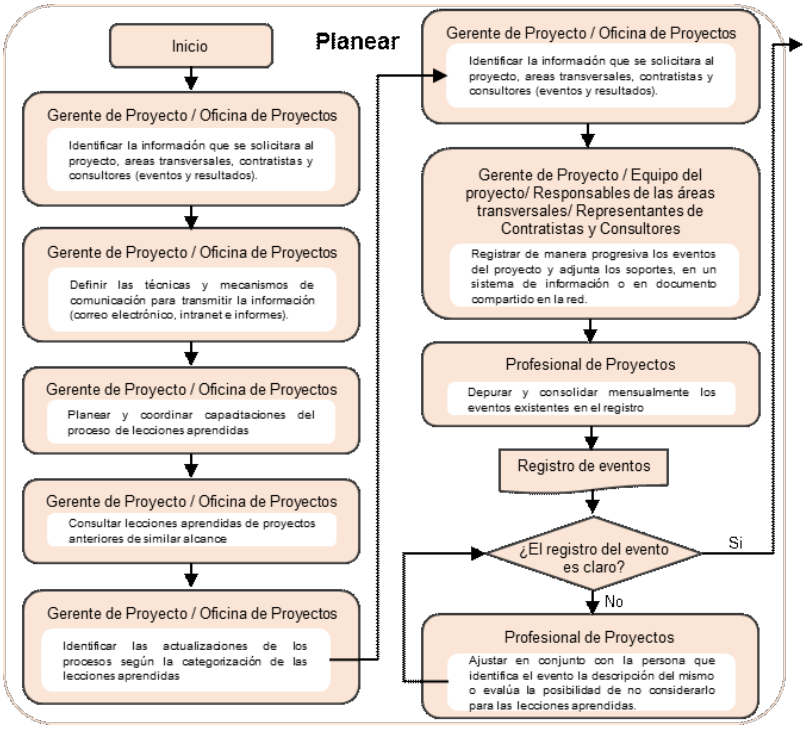


Fig. 3 (a) Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

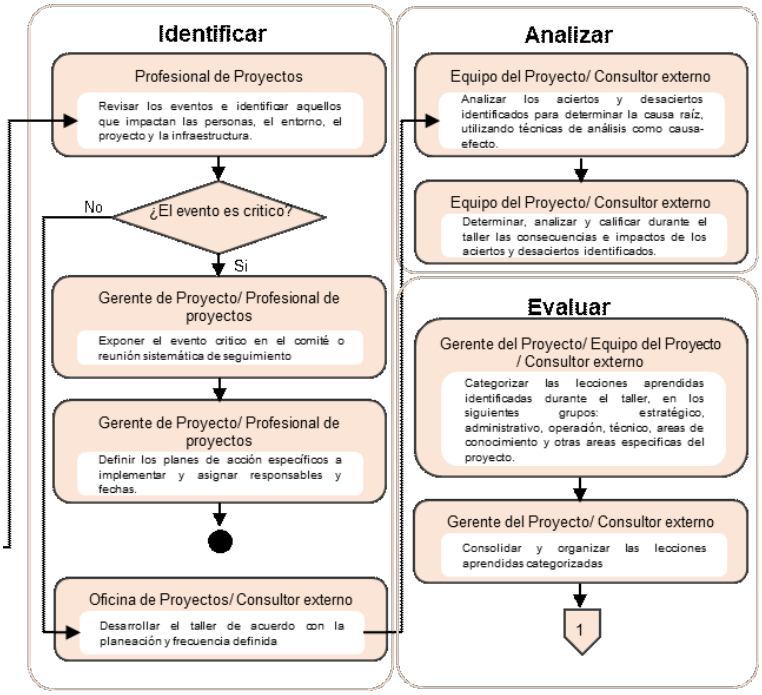


Fig. 3 (b) Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

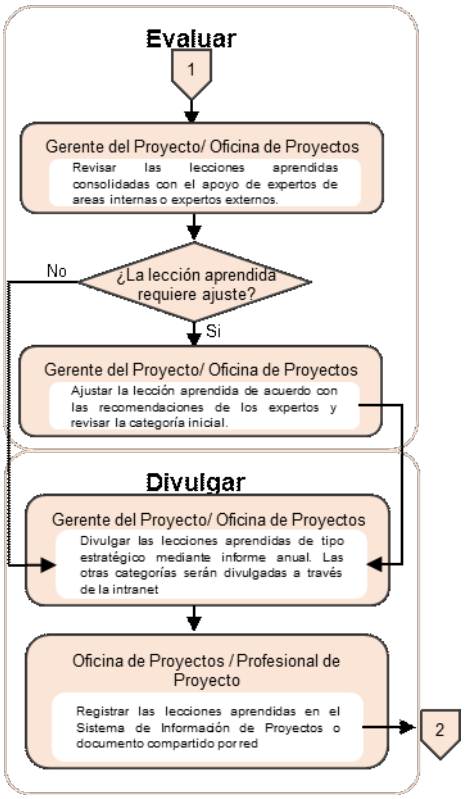


Fig. 3 (c) Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

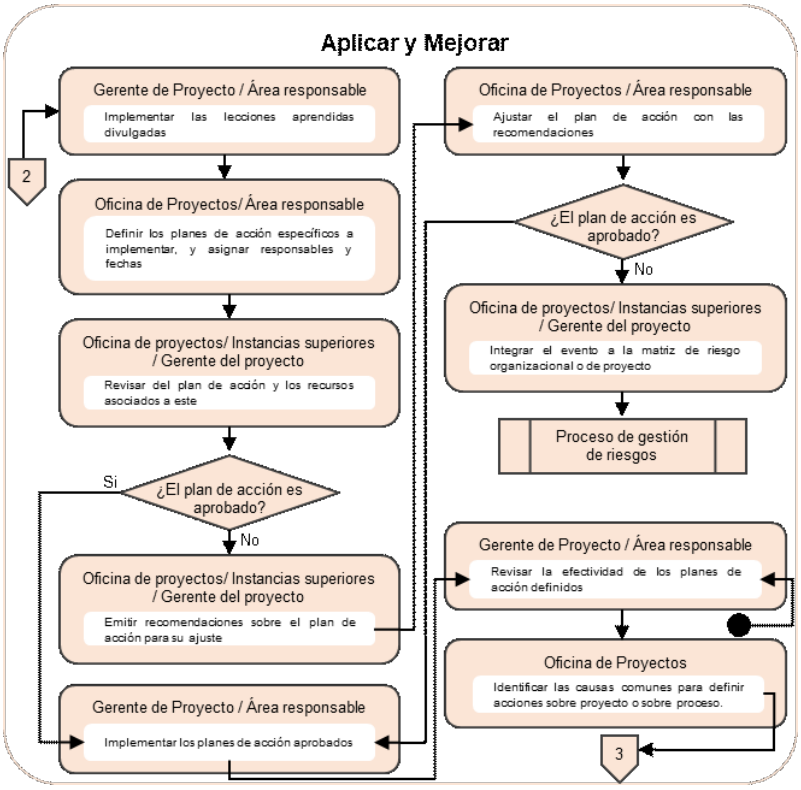


Fig. 3 (d) Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

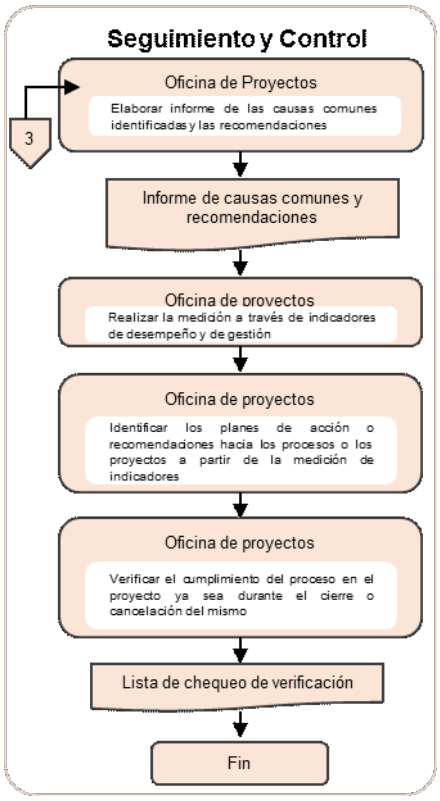


Fig. 3 (e) Diagrama de flujo de procedimiento para el proceso de lecciones aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

Como se puede visualizar en las Figuras cada actividad del proceso requiere información de entrada y técnicas que facilitan la obtención y análisis de la información, de forma a que se generen salidas de cada actividad del proceso propuesto.

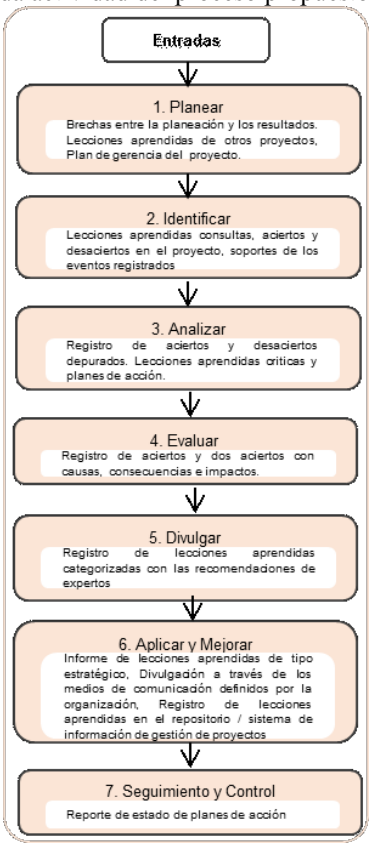


Fig. 4 Interacción de las entradas en el proceso de Lecciones Aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

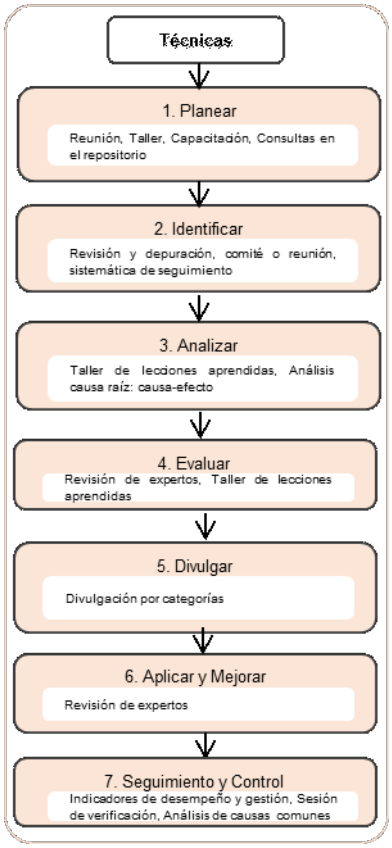


Fig. 5 Interacción de las técnicas en el proceso de Lecciones Aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

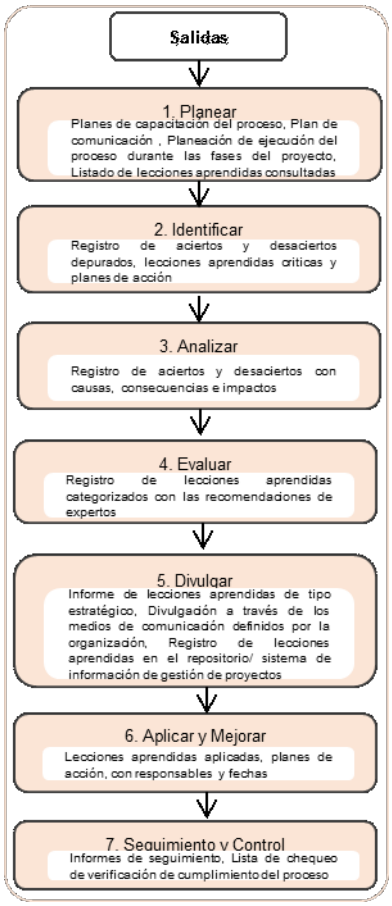


Fig. 6 Interacción de las técnicas en el proceso de Lecciones Aprendidas, Fuente: Tomado y adaptado [6].

IV. Resultados

En la revisión de la literatura de las lecciones aprendidas en proyectos de electrificación rural se presentaron en la Tabla 1. los siguientes antecedentes de resultados:

Articulo	Autores	Año de Publicación
Lessons Learned from Solar Energy Projects in Saudi Arabia	F.S. HURAIB, S.M. HASNAIN, and S.E. ALAWAJI	Saudi Arabia (1996)
Lecciones Aprendidas en Electrificación Rural	Cadena, C; Barcena, H; Caso3 , R; Fernández4 , C; Suligoy5 H.	Salta-Argentina (2005)
Lessons Learned from the Photovoltaic Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects	R. Margolis, R. Mitchell, and K. Zweibel	Colorado (2006)
Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile	Marcia Montedonicoa, Francisca Herrera-Neiraa, Andrés Marconia, Anahí Urquizab, Rodrigo Palma-Behnkec.	Chile (2018)
Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects.	Fatema Almeshqaba, , Taha Selim Ustunb	USA (2018)
Good practices and lessons learned: Solar interventions under erry project in Yemen	Abyan, Hajjah, Hodeidah, and Lahj	Yemen (2019)
Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica.	Sandra Patricia Jaramillo Montoya , Lucy Albany Suárez Marín	Colombia (2019)
Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas.	Juan David Marín-Jiménez, Parménides Justo González-Cruz	Colombia (2019)

Tabla 1. Antecedentes revisión literaria en bases de datos de Lecciones aprendidas.

A. Lessons Learned from Solar Energy Projects in Saudi Arabia

Este documento describe las lecciones aprendidas de las principales actividades de RD&D en el Energy Research Institute (ERI), Ciudad Rey para la Ciencia y la Tecnología (KACST) en el campo de la energía solar fotovoltaica, niveles termales, calentamiento solar de agua, bombeo y desalinización de agua solar, producción de hidrógeno solar y la utilización son algunas de las áreas estudiadas para aplicaciones de energía solar. Recomendaciones y pautas también se ofrecen para futuras investigaciones, desarrollo, demostración y difusión de energía solar en Arabia Saudita[7].

La energía solar en Arabia Saudita es de gran valor por las siguientes razones:

- La mayoría de la población se concentra en áreas urbanas, pero sus habitantes restantes se encuentran dispersos en pequeñas comunidades nómadas, donde el consumo de energía es muy bajo. No es económicamente viable y a veces no es posible conectar esas comunidades con la red eléctrica [7].

- En las regiones montañosas, el transporte de combustible, las telecomunicaciones y la transmisión de energía son difíciles. Por lo tanto, se requieren sistemas descentralizados, que puedan adaptarse adecuadamente a la energía solar. Para aplicaciones urbanas e industriales, se puede producir agua caliente mediante un eficiente calentamiento solar de agua. sistema que podría conservar enormes cantidades de electricidad. Los sistemas de energía solar también podrían proporcionar catódicos protección contra la corrosión de revestimientos de pozos de petróleo y oleoductos en todo el país [7].

Debido a su potencial, la investigación sobre energía solar en Arabia Saudita está siendo realizada por el Rey Abdulaziz. Ciudad para la ciencia y la tecnología (KACST) en Riad. KACST tiene varios programas conjuntos en el campo incluyendo SOLERAS con los Estados Unidos de América e HYSOLAR con la República Federal de Alemania. El principal trabajo de RD&D en el campo de la energía solar en Arabia Saudita lo está llevando a cabo el Energy Research Institute (ERI) en KACST [7].

A pesar de la viabilidad técnica y el gran potencial de diversas tecnologías de energía solar, su uso sigue siendo limitado. Las principales limitaciones en el uso de energía solar son el mayor costo y la menor eficiencia de conversión. Uno de los factores más importantes para reducir los costos y aumentar la eficiencia de conversión es el rendimiento de diversos materiales básicos utilizados en dispositivos solares. Se debe llevar a cabo una investigación exhaustiva para diversas fuentes de energía solar, dispositivos, así como materiales básicos como materiales de revestimiento, silicio policristalino y no cristalino materiales de silicona [7].

Se deben realizar estudios detallados para evaluar el campo cultural, social y económico de aceptación de las tecnologías de energía solar en diferentes grupos de población. Competitividad económica, falta de conciencia del consumidor y falta de información sobre el rendimiento, la durabilidad, la fiabilidad y el coste. La eficacia de las tecnologías de energía solar en condiciones climáticas reales son las barreras para el uso de energía solar, una vez que se superen estas barreras, habrá un futuro prometedor para las tecnologías de energía solar en Arabia Saudita [7].

KACST ha logrado un éxito en programas internacionales conjuntos en el avance de la energía solar tecnología y transferencia de la misma. Ha aprendido varios tipos de lecciones administrativas y de gestión de operar estos programas. Esas lecciones pueden concluirse como:

- La financiación compartida es más productiva que la financiación de una sola fuente.
- Puede producirse un impacto sustancial en los resultados del programa, si los objetivos del programa no se organizan claramente según la importancia.
- Una menor participación oficial en la administración diaria del programa ayuda a acelerar la generación de resultados, participación de individuos, en lugar de organizaciones comerciales, para llevar a cabo el trabajo de RD&D requerido es más eficaz para difundir las tecnologías desarrolladas a otros.

No obstante, las experiencias adquiridas durante los programas conjuntos internacionales ayudan a establecer una serie de proyectos independientes de energía solar en ERI, KACST [7].

B. Lecciones Aprendidas en Electrificación Rural

Existen en Salta, al menos en las que tuvo participación el INENCO, instalaciones fotovoltaicas, que funcionaron desde principios de los ochenta. Si se tiene en cuenta, las características de la región en cuestión, solo por mencionar el stress térmico de los materiales, el ataque de la radiación ultravioleta, o el persistente viento en algunos sitios de la Puna, no es poco tiempo. Sin embargo, y debido probablemente entre otras razones, a una estrategia inadecuada en la transferencia de la tecnología solar en general y de los módulos FV en particular, la utilización masiva de la isma, se viene postergando año tras año[8].

El objetivo del proyecto fue el de la investigación de la trasferencia de tecnologías, mucho más allá de lo meramente técnico, los equipos en general funcionan aceptablemente. Se puede decir que a pesar de que no existen recetas o fórmulas que aplicar tal cual lo haría un alquimista, es factible reconocer ciertas acciones que permiten llevar adelante la inserción de la tecnología con el menor impacto [8].

En líneas generales los primeros proyectos en los que intervino el INENCO fueron planteados como experiencias demostrativas en general del tipo térmico pero también de la tecnología solar fotovoltaica. La planta de bombeo, colocada en el marco de un convenio con la provincia de Salta vigente en esa época, fue instalada a unos 40 km al norte de la localidad de San Antonio de los Cobres. Constaba de un conjunto de módulos de 1KWP, y una motobomba sumergible, y funcionó una temporada, hasta que el vandalismo la dejó fuera de servicio [8].

Diferente fue el caso del puesto sanitario de Castro Tolay, donde el aspecto central del proyecto fue el acondicionamiento térmico del local, dado que es una zona de clima muy riguroso en invierno y frío en la mayor parte del año, como así también la provisión de

agua caliente, ocupando la parte eléctrica un papel secundario. No obstante, los dos módulos de 45WP instalados, fueron empleados sistemáticamente para iluminación, incluso sirvieron como centro de cargas (no declarado) de baterías de plomo ácido en la zona, y funcionaron satisfactoriamente muchos años. Puede decirse que los objetivos propuestos se consiguieron largamente, y el servicio mejoró claramente sus prestaciones, ya que tanto médicos como agentes sanitarios mejoraron su frecuencia de atención en el lugar, y tanto la temperatura en el interior del mismo, como el servicio de provisión de agua caliente es siempre adecuado. El equipamiento térmico continúa funcionando, mientras que una decisión política hizo que se levantara prematuramente el eléctrico, aunque en la actualidad posee suministro, provisto por la empresa privada que posee la concesión del servicio disperso [8].

Si bien como se planteó antes, no hay recetas en la transferencia de tecnología, la experiencia adquirida en el marco de este proyecto, abrirá las puertas para que en el futuro no se repitan cierto tipo de errores. El trabajo previo con la comunidad con profesionales del área social aportó mucha información acerca de sus necesidades, pero estas acciones deben tener necesariamente un "ida y vueltas con los responsables del área técnica" y con decisiones consensuadas. Esto ayudará a que los usuarios finales se apropien de la tecnología. En igual sentido se deben idear los mecanismos para trasmitir la mayor cantidad de conocimientos posible con todo el arsenal de medios con que se cuente sin subestimar la capacidad de los actores que participen [8].

Buscar su organización para fortalecer la sostenibilidad, entendiéndose que si el proyecto no es sostenible en el tiempo, no cumplió sus objetivos. Por considerar un ejemplo mínimo: la inclusión de dispositivos para producir agua destilada, sumado a la explicación de su funcionamiento y a la importancia del líquido en la durabilidad del sistema significó un gran avance. De allí el papel tan importante de la capacitación, que deberá ser considerado como un bien muy preciado, pues colaborará con las tareas de mantenimiento. Es de destacar el rol de los actores con consenso social más allá de su área específica de formación profesional, como en cada equipo de trabajo, debe existir algún integrante con habilidades especiales para el contacto y la capacitación [8].

También resulta muy útil reconocer la existencia de los diferentes actores, como una interrelación dinámica, donde el aporte de cada uno de ellos mejora el proyecto. En ese sentido, se tomaron experiencias previas de la zona y por ejemplo, cada una de las alternativas planteadas para la distribución de la energía utilizadas, tuvo sus ventajas y factores negativos: la interconexión de los tres subsistemas con cableado exterior resultó muy vulnerable frente a las descargas atmosféricas por un lado, y el consumo si bien esporádico pero descontrolado en las actividades del salón comunitario produjeron en general inconvenientes. Estos son temas de discusión que no pueden ni deben ser dejados de lado. Finalmente es para mencionar que imprescindible la inclusión en el presupuesto general de un rubro, no-inferior al 5% para la realización de las visitas periódicas post instalación, ya que mucho proyectos comienzan después de la instalación propiamente dicha de los equipos y se pueden justificar plenamente, ya que en los hechos el seguimiento nunca se acaba [8].

C. Lessons Learned from the Photovoltaic Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects

Desarrollar tecnologías innovadoras como la fotovoltaica implica asumir riesgos financieros y tecnológicos. Ayudar a compartir el riesgo de I + D entre los sectores público y privado, se produjo un cambio de importancia crítica durante la década de 1980, desde la contratación de costos más costos hasta la contratación de costos compartidos. Con la aprobación de la Tecnología Ley de Innovación de 1980 (también conocida como Ley Stevenson-Wydler) y Patentes y Marcas Ley de Enmiendas de 1980 (también conocida como Ley Bayh-Dole), se sentaron las bases para la distribución de costos. Durante los últimos 20 años, el uso de costos compartidos, al involucrar al sector privado en I + D, se ha vuelto práctica bastante estándar[9].

Evaluar propuestas de proyectos y otorgar reconocimiento requiere establecer algún tipo de selección de panel solar fotovoltaico. La eficacia de este proceso está relacionada con la independencia, objetividad y experiencia real o percibida de los miembros del panel. La composición del panel tiene implicaciones para la efectividad y credibilidad del proceso de selección [9].

Las siguientes lecciones sobre el costo compartido público-privado han surgido del proyecto PVMaT / PVMR & D:

• Grandes empresas que no pueden permitirse compartir los costos al 50% o más en la fabricación de gran valor en dólares .Los subcontratos de I + D no cuentan con los recursos para mantener la expansión de la capacidad y la competitividad [9].

• Es posible que las empresas más pequeñas y menos maduras no puedan compartir los costos tanto: un costo compartido del 30% para un subcontrato de menor valor en dólares es razonable para tecnologías probadas. A medida que estas empresas maduran, es razonable esperar que compartan los costos al 50% para los subcontratos de menor valor en dólares [9].

• Muchas empresas se muestran reacias a implementar nuevos procesos de fabricación, pero una asociación con el gobierno de la industria puede ayudar a que la implementación de nuevas tecnologías sea una prioridad. Por ejemplo, Solarex (ahora BP Solar) se mostró reacia a implementar sierras de alambre a principios de la década de 1990, hasta que firmó un Subcontrato de PVMaT / PVMR & D, y el personal clave argumenta que todavía podría estar usando la tecnología anterior si no fuera por la participación en el proyecto. Hoy, esta mejora ahorra a BP Solar millones de dólares por año, y el uso de sierras de alambre se ha extendido ampliamente a otras empresas fotovoltaicas y a otras partes de la industria de semiconductores [9].

Desde el principio, las propuestas de proyectos se evaluaron mediante paneles independientes con expertos de los sectores público y privado. Para asegurarse de que no haya conflictos de intereses, no hay panel de evaluación. Se eligieron expertos que tuvieran vínculos actuales con la industria fotovoltaica. Aunque el proyecto del día a día, la gestión estuvo a cargo de un equipo de especialistas en I + D en la sede del DOE, NREL. Laboratorios

Nacionales, los paneles tenían un control real sobre la asignación de los recursos del proyecto.

• Por lo general, los paneles de evaluación incluían una persona de NREL y una persona de Sandia en un panel de 12 o más personas. Estos paneles fueron diseñados para tener una representación de la industria pesada. para asegurar su credibilidad con la industria. El número limitado de gerentes gubernamentales en los paneles. ha sido un desafío a veces porque los gerentes de proyecto deben estar dispuestos a arriesgarse a perder algunos controles sobre el proceso [9].

• Los participantes tenían una amplia combinación de experiencia (por ejemplo, fabricación, servicios públicos y banca de inversión) en las industrias de semiconductores y (anteriormente) fotovoltaica para proporcionar una visión amplia del mercado. Aunque amplio, la representación en los paneles ha funcionado bien, ha sido un desafío mantener una buena combinación de personas debido al grupo limitado de participantes potenciales (es decir, personas con conocimientos relevantes de PV que actualmente no están vinculados a la industria fotovoltaica) [9].

Comprender las ventajas y desventajas de elegir un panel de selección. Paneles elegidos por su objetividad, independencia y evitar posibles conflictos de intereses añaden credibilidad y mejoran aceptación de las partes interesadas; pero podrían carecer de conocimientos tecnológicos actuales y profundos o favorecer tecnologías. Los paneles elegidos por su experiencia permiten evaluaciones tecnológicas profundas y abren el campo a las tecnologías emergentes, pero podría resultar en una perspectiva estrecha o una mayor subjetividad [9].

D. Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile

El Energy Center ha desarrollado una metodología de construcción para abordar los desafíos de la tecnología, transferencia basada en proyectos de generación distribuida, en el contexto de transiciones energéticas en lugares aislados. Basado Sobre las experiencias desarrolladas entre 2010 y 2017, este trabajo analizo el proceso de elaboración de la metodología Co-construcción. Se identificaron nuevas herramientas a la luz de una reflexión teórico-metodológica y de esta discusión se propone una nueva versión de la metodología de co-construcción. Este proceso de aprendizaje combina investigación académica y proyectos aplicados. Ha proporcionado a Energy Center un conjunto mejorado de herramientas para proyectos en curso, y también contribuyó a una discusión teórico-metodológica basada en nuevas investigaciones ocupaciones [10].

Los principales problemas de método que se enfrentan se presentan durante el trabajo interdisciplinario, tales como: comprensión de conceptos fundamentales (sostenibilidad, participación, comunidad); el dominio de una disciplina sobre las demás; las diferentes visiones de las prioridades dentro de un mismo proyecto. Y esos problemas dados por el proceso de participación bajo la paradoja del "framing-overflowing", donde las limitaciones de los proyectos reales (fechas límite, presupuesto y KPI específicos) podrían limitar la posibilidad de realizar diagnósticos en profundidad y construir confianza. Uno de los principales desafíos identificados es que un impacto real en la experiencia general solo es factible si las lecciones se pueden traducir en productos concretos (mejores prácticas, directrices, herramientas), por lo que pueden ser adoptadas en el futuro por desarrolladores de proyectos [10].

Finalmente, las lecciones del mecanismo de monitoreo (asegurando la sustentabilidad) presentado en el documento de 2011, dieron lugar a la "Fase de Prueba", que muestra el desempeño del plan de acción. Esta etapa también considera la elaboración de una estructura financiera que incluya la búsqueda de fondos para asegurar la sostenibilidad económica [10].

En esta nueva versión de la metodología, la etapa responsable de el diseño de sistemas de monitoreo fue reemplazado por una herramienta de seguimiento prediseñada, que debe adaptarse a cada contexto (sin embargo, dicha adaptación no fue suficiente y la herramienta en este caso carecía de pertinencia en el contexto territorial específico). La herramienta de monitoreo remoto se llama Social SCADA y es parte de la "Fase de prueba". Eso intentó proporcionar a la comunidad una descripción más completa del sistema de energía, más autonomía en el funcionamiento del sistema y mejorando la motivación del proyecto [10].

Si bien este era su objetivo inicial, el SCADA Social no lograr el control remoto y la apropiación esperados, a pesar de haber sido utilizado por el Ayuntamiento como una herramienta interactiva que les permitía explicar los componentes de la microrred en el marco de fines académicos o posible desarrollo turístico [10].

La metodología propuesta considera cuatro etapas, donde las lecciones aprendidas de los problemas metodológicos, así como de los exitosos se han tenido en cuenta los eventos encontrados en proyectos anteriores:

(1) Diagnóstico sociotécnico y formación de equipos, (2) Socio-técnico diseño del sistema y plan de sostenibilidad, (3) Implementación y primera impresión, y (4) Operación, evaluación y difusión. Estas cuatro etapas se centran en un proceso de aprendizaje y conocimiento colaborativo, Un impacto real de la experiencia general descrita en esta investigación solo es factible si las lecciones aprendidas se pueden traducir en productos concretos. Por ejemplo, mejores prácticas, lineamientos y herramientas, entre otros. Estos productos (bienes públicos) pueden ser adoptados por futuros desarrolladores de proyectos (por ejemplo, empresas, comunidades, municipios, asociaciones), evitando tales fracasos y retrasos recogidos en el enfoque de co-construcción propuesto gracias al proceso de aprendizaje de la CE [10].

Además, el capital humano desarrollado a lo largo de los proyectos también apoya nuevos desarrollos. Por lo tanto, una mayor probabilidad de éxito con respecto a la escalabilidad y replicabilidad de las soluciones de energía distribuida que se puede esperar [10].

E. Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects.

1.1 billones de personas de la población mundial todavía no tiene acceso a la electricidad en el siglo XXI. La mayor parte de la población reside en las comunidades rurales de los países en desarrollo del sur de Asia, América Latina y África subsahariana. El acceso a la electricidad puede eliminar los problemas existentes relacionados con la salud, la educación, la vida social, la economía y el medio ambiente, y puede aumentar los ingresos de las comunidades desatendidas [11].

La mayoría de lo que está por venir, las regiones energizadas se encuentran en áreas remotas y aisladas, a las que no se les puede dar servicio a través de la red central. Si bien los generadores Diesel descentralizados se pueden instalar potencialmente en estas áreas, tienen un efecto pobre sobre el cambio climático y mitigación. Se están implementando alternativas de energía renovable limpia para sistemas fuera de la red para reducir la tasa de no electrificación en el mundo, y la Agenda 2030 de The United Nation Foundation tiene el objetivo de generar acceso universal a la electricidad para 2030. Si bien ha habido algunos avances hacia ese objetivo, los desafíos son innumerables [11].

Si no se realizan cambios en los modelos, políticas y prácticas, no se logrará el objetivo del acceso universal, especialmente en África subsahariana que tiene un nivel de proyección de electrificación del 30% para 2030. Para determinar los cambios necesarios, este documento revisa las iniciativas de electrificación rural en ocho países en desarrollo, de Asia al África subsahariana a América Latina, y tiene como objetivo proporcionar una evaluación de su éxito y discutir las lecciones que se pueden aprender y aplicar en iniciativas futuras [11].

Una de las lecciones más importantes aprendidas de todos los proyectos piloto en todo el mundo es que los responsables de la formulación de políticas deberían crear un entorno en el que haya direcciones futuras claramente definidas. Es importante que estas direcciones no se cambien con frecuencia para que los inversores o los desarrolladores de proyectos puedan tener una sensación de seguridad, ya que se encuentran en financiamiento y construcción de los proyectos. Estas direcciones futuras pueden diferir entre comunidades, sitios o países. Por ejemplo, algunos países pueden apegarse a la iniciativa empresarial privada para tales sistemas, Tanzania e India, mientras que otros pueden optar por microrredes financiadas por el gobierno, un ejemplo es Kenia. La solución facilita mucho la financiación y es más fácil llegar a más personas en un período de tiempo más corto [11].

Este artículo presenta 12 estudios de caso de iniciativas de electrificación rural en ocho países en desarrollo diversos, para extraer lecciones basadas en experiencias pasadas para el trabajo futuro en este campo. Si bien el enfoque de la investigación es soluciones de energía renovable fuera de la red, también analiza los enfoques de extensión de la red central y sistemas de electrificación con generadores Diesel, para contrastar casos de diferente naturaleza y para proporcionar una amplia gama de prácticas de electrificación rural. Si bien todas las lecciones derivadas de esta revisión son pertinentes, existe un potencial inexplorado principalmente en la demanda de electrificación rural. La mayoría de los proyectos de electrificación rural se han basado en datos previos a la implementación extraídos del juicio de la comunidad sobre sus necesidades, y la medición del valor socioeconómico alcanzado a través del desarrollo de los proyectos también se ha basado en la opinión de la comunidad después de la implementación del proyecto [11].

Los resultados generalmente no son óptimos ya que, como se ha observado tradicionalmente, las comunidades no electrificadas no tienen la capacidad de estimar sus demandas posteriores a la electrificación. La comparación de diferentes encuestas Los modelos en Senegal sugieren la necesidad de encontrar mejores formas de medir la demanda en lugar de encuestar solo a la comunidad a ser atendida. A futuro el trabajo requiere una investigación exhaustiva en la estimación del comportamiento posterior a la electrificación de una región comparándola con otras áreas electrificadas con parámetros similares [11].

Desarrollar un modelo que pueda avanzar basado en políticas de electrificación rural alineadas con la demanda proyectada de las comunidades y cuantificar el valor socioeconómico del proceso de la electrificación, incluso antes de que comience, puede allanar el camino para un gran desarrollo en el campo de la electrificación rural con energías renovables [11].

F. Good practices and lessons learned: Solar interventions under erry project in Yemen

El proyecto ha aportado varias lecciones aprendidas incluido el hecho de que los proyectos solares deben ser replicados en más áreas en Yemen. Las intervenciones necesitan evaluar adecuadamente las necesidades y requerimientos de los beneficiarios y asumir las operaciones y el mantenimiento de estos sistemas en consideración. La necesidad de más sistemas parece ser un tema común en energía solar [12].

Se espera que los sistemas solares funcionen durante décadas, pero las baterías se agotan rápidamente. Se crean programas para generar conciencia sobre cómo mantener la energía solar. Los sistemas son importantes para asegurar que sean utilizados a su máxima capacidad. Los programas deben capacitar a los participantes en precauciones, cómo manejar y solucionar problemas, y dónde encontrar ayuda si es necesario [12].

Las buenas prácticas incluyen una evaluación adecuada de necesidades y requisitos para asegurar el cableado y los electrodomésticos que utilizan el sistema solar son más eficiente energéticamente. La energía solar no solo ha traído luz a oscuridad, ha iluminado el corazón de la gente y mentes como individuos y comunidades. Eso ha proporcionado comida, agua limpia y una oportunidad a una vida digna para muchas comunidades rurales en Yemen, al tiempo que limita las emisiones de carbono [12].

El estudio abordó el papel de la energía solar fotovoltaica - paneles en la mejora de la educación y capacitar a las escuelas para hacer frente a sus necesidades energéticas. Las escuelas necesitan poder para iluminación, circulación de aire, bombeo de agua para baños y la radio escolar diaria. Varias organizaciones internacionales se han comprometido a realizar intervenciones solares dirigidas a las escuelas en Yemen como UNICEF, PNUD, UNOPS y CARE International [12].

El proyecto solar ERRY del PNUD se centró en las escuelas conforme al proceso de nominación preparado y llevado a cabo por las autoridades locales, oficinas ejecutivas y equipos de proyectos en el nivel de distrito y de gobernación. El proyecto también se dirigió a las escuelas que tienen un gran número de estudiantes, especialmente las escuelas para niñas. La mayoría de las escuelas participaron en el proyecto solar diseño, implementación y seguimiento, mientras que algunos recomendaron involucrar a los maestros, estudiantes y padres. Además, autoridades locales confirmaron su participación en la selección e identificación de escuelas. Tales prácticas permitidas en el proyecto de la comunidad local, propiedad y asistencia en la consecución del proceso de implementación del proyecto [12].

Casi todas las escuelas indicaron un cambio positivo después de la instalación del sistema solar fotovoltaico, antes, estudiantes y profesores sufrían de clima caluroso, especialmente con el hacinamiento de estudiantes en el aula, lo que lleva a una alta tasas de deserción de estudiantes principalmente mujeres. Las escuelas tuvieron que reducir el número de sesiones con los estudiantes porque no pudieron continuar hasta el final del día escolar debido a los cambios climáticos [12].

Lecciones aprendidas:

1. Las intervenciones futuras deben evaluar la infraestructura escolar y las necesidades energéticas antes a la implementación del sistema, incluso si los cables de alimentación actuales son lo suficientemente eficientes. Es posible que las luces no sean energéticamente eficientes y deban reemplazarse, al igual que otros electrodomésticos como ventiladores, computadoras y bombas de agua.

2. Introducir sistemas de eficiencia de energía solar, como el uso de ventiladores de bajo voltaje para las escuelas ya que son esenciales en condiciones y áreas de clima cálido.

3. Para garantizar la sostenibilidad del sistema solar y prolongar la vida útil de la batería, el encendido / apagado. Los sistemas solares de red deben introducirse para un uso específico donde los sistemas solares en las escuelas. Puede funcionar sin pilas durante las horas de luz solar.

G. Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica.

La disponibilidad del recurso energético constituye un eslabón fundamental del desarrollo económico, sus fuentes de producción pueden ser no convencionales y convencionales. Colombia genera en gran porcentaje la energía con centrales hidroeléctricas, una de ellas la represa de El Peñol Guatapé, ubicada en el Oriente antioqueño, construida en las décadas del sesenta y el setenta, con fuertes impactos sociales a la comunidad en la zona de influencia directa, dada la ausencia de la legislación ambiental y responsabilidad social de la época [13].

Ante la nueva situación, la comunidad reaccionó y obligó a tomar medidas de manejo y compensación, convirtiéndose en una fuente de aprendizaje para las autoridades privadas y públicas, que junto con otros proyectos que se asentaban e impactaban la región, dieron origen a la autoridad autónoma regional CORNARE. Actualmente, con una legislación ambiental más madura, la preocupación del cambio climático por reducir la huella de carbono y atender una demanda de energía creciente, se impulsan las fuentes no convencionales de energía, dentro de las que clasifican las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), con menos requerimientos de tipo técnico y financiero, con un menor impacto ambiental, con algunas exigencias de normatividad menos rígida que otros proyectos de generación con represa o embalse [13].

Sin embargo, esta última premisa exige no tomar su desarrollo en la región a la ligera, teniendo en cuenta el alto número de solicitudes para su construcción, lo cual amerita considerar las lecciones aprendidas y el principio de prevención y precaución con el fin de garantizar que los proyectos de energía sean sostenibles ambiental y socialmente en el tiempo [13].

Según la información recopilada en el desarrollo de la investigación, se evidenciaron tres criterios que agrupan las lecciones aprendidas en el transcurso histórico desde el inicio del asentamiento de los grandes proyectos hidroeléctricos en el Oriente antioqueño y lo manifestado en las entrevistas por parte de los expertos de los tres grupos consultados, estos criterios corresponden a los componentes: social, ambiental e institucional.

1) Social: Es necesario, en la planificación de los proyectos, identificar otros que se estén realizando en el área de influencia, esto con el fin de generar verdaderas capacidades en la región, no se debe esperar a que los impactos se materialicen para dar una respuesta con medidas improvisadas que no responden a las necesidades reales, creando desconfianza en la comunidad. Para esto es necesario, como lo mencionaron los expertos, entrar a una comunidad con tiempo antes de intervenirla para conocerla e identificar sus verdaderas necesidades, y en conjunto encontrar una solución objetiva y adecuada, esto exige un compromiso inicial de cooperación entre los inversionistas del proyecto, los ejecutores, las administraciones públicas y la corporación autónoma regional. No se puede volver a llegar a una población ignorando su individualidad, sus costumbres, arraigos y creencias con los informes de escritorio, como se llegó a la población del Peñol y Guatapé, es necesario conocer su realidad desde la experiencia y el contacto con sus comunidades [13].

2) Ambiental: Es necesario tener herramientas científicas y técnicas para medir los verdaderos impactos ambientales. Hacer un levantamiento técnico de los verdaderos impactos de este tipo de proyectos, en conjunto con la academia y el Estado, que permita visionar y crear medidas efectivas antes de que ocurran los impactos irreversibles. Teniendo en cuenta el interés de la autoridad ambiental para el control de este tipo de proyectos, el volumen de estos en la región y su capacidad para dar respuesta, se sugiere tener una base de datos que permita cruzar la información de las diferentes cuencas y características de sus ecosistemas, además de los actores que están interviniendo en este tipo de proyectos, esto con el fin de no repetir información y optimizar recursos técnicos[13].

3) Institucional: se propone aumentar las capacidades para responder a la creciente demanda de las solicitudes de

licenciamiento de este tipo de proyectos, es necesario que la autoridad ambiental cuente con un número de profesionales adecuado para esta tarea, y porque no, contar con el apoyo de las administraciones municipales de cada una de las áreas de influencia desde las secretarías de planeación y hábitat y medio ambiente [13].

Lo anterior ha implicado un cambio en las costumbres y dinámicas de vida de los pobladores, este escenario trajo también consigo beneficios que han permitido consolidar la región como una de las más prósperas del país; pero para continuar en esta dirección es necesario conocer y tomar las lecciones que deja el pasado, con el fin de repetir proyectos exitosos y buscar caminos para evitar, mitigar o compensar impactos de manera adecuada, es necesario que a la par con los proyectos, la sociedad civil sea la ganadora en beneficios para su entorno y contexto [13].

H. Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas.

El diseño de parques solares fotovoltaicos presenta una incertidumbre técnica en la búsqueda de una solución óptima (beneficio/costo) para implementar en un determinado proyecto. Los beneficios en la selección de un sistema de inversores centralizados o distribuidos varían según la disposición tecnológica de cada país. Adicionalmente, los recientes desarrollos tecnológicos pueden presentar incompatibilidad con tecnologías tradicionales, es decir, la elección de una tecnología de inversores exigiría utilizar toda la gama de productos de determinada compañía [14].

Por lo tanto, seleccionar unas características para el diseño (tecnología en inversores centralizados o distribuidos, capacidad de cada panel solar de 330 Wp o 390 Wp) debe considerar una solución integral que incluya entre otros los impactos: técnicos (confiabilidad, pérdidas eléctricas, regulación, nivel de tensión, etc); económicos (precio de equipos, costos nivelados - LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logísticos (tiempos de importación, transporte de equipos, necesidad de infraestructura de telecomunicaciones y eléctrica, precio de importación de equipos, precio de tecnologías seleccionadas); regulatorios (requerimientos técnicos de cada país). En el documento se presentan las lecciones aprendidas durante la realización del diseño de un parque solar de 20 MW ubicado en Panamá [14].

Lecciones Aprendidas:

1. Con el nivel de tensión de 1500 VDC se reducen los calibres de los cables en DC, la cantidad de DC box y la cantidad de inversores, lo que ocasiona una reducción del costo del sistema.
2. Certificaciones de los paneles. Se asume que entre mayor cantidad de certificaciones presenta un panel solar, mayor es la calidad del panel.
3. Garantías y soporte técnico. Los fabricantes de los inversores solares deben garantizar en general 5 años por defecto en equipos. Adicionalmente, se recomienda exigirle al proveedor un soporte técnico con respuesta menor a 24 horas (según la ubicación del proyecto).
4. Los principales factores a evaluar durante el diseño de un parque solar fotovoltaico son: impactos técnicos (confiabilidad, pérdidas eléctricas, regulación, nivel de tensión, horas de brillo solar etc); económicos (precio de equipos, costos nivelados – LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logísticos (tiempos de importación, transporte de equipos, necesidad de infraestructura de telecomunicaciones y eléctrica, precio de importación de equipos, precio de tecnologías seleccionadas), regulatorios (requerimientos técnicos de cada país); geográficos y topográficos.

V. Conclusiones

1. Los estándares más representativos en gerencia de proyectos mencionan las lecciones aprendidas como elemento fundamental en los procesos de planeación, ejecución, seguimiento y control y cierre de los proyectos. No obstante, no se sugiere u orienta a los gerentes de proyectos sobre los aspectos que deben tener en cuenta para documentarlas, almacenarlas o compartirlas a los equipos de los proyectos.

2. En la ejecución del proceso de lecciones aprendidas se requiere la información histórica y la participación de los involucrados en el ciclo de vida del proyecto, para transformar la información mediante el análisis y categorización y divulgación al equipo del proyecto y otros interesados.

3. Para la implementación del proceso de lecciones aprendidas es fundamental, como en cualquier otra iniciativa que se decida emprender, el apoyo y compromiso de la alta dirección. La estandarización del proceso, la normatividad interna y externa, el compromiso de la alta gerencia y el cambio de pensamiento, y la gestión del cambio organizacional, viabilizan el éxito del proceso.

VI. Referencias

[1] R. L. Luna E, “Lecciones aprendidas. BID. Sector de Conocimiento y Aprendizaje.,” *BID Sect. Conoc. y Aprendiz.*, vol. 1, p. 4, 2016.

[2] G. del PMBOK, “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) – Sexta Edición,” *Guía los Fundam. para la Dir. Proy.*, vol. 6, p. 15.

[3] Banco Interamericano de Desarrollo, “Como Documentar lecciones Aprendidas,” *01-15*, 2015. [Online]. Available: http://blogs.iadb.org/abierto-al-publico/2015/01/15/como-documentar-lecciones-aprendidas/.

[4] L. R. Elba Luna Bu, “Lecciones aprendidas,” *BID Sect. Conoc. y Aprendiz.*, p. 4, 2011.

[5] S. Ledesma, “CARACTERIZACIÓN ESTÁNDAR DEL PROCESO DE LECCIONES APRENDIDAS EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE IMPLEMENTACIÓN ERP EN EL SECTOR DE SOFTWARE EN COLOMBIA, CASO DE ESTUDIO SAP SORAIDA,” *Esc. Colomb. Ing. JULIO GARAVITO*, p. 615, 2015.

[6] C. I. Díaz-Niño, D. M. Fraile-Neira, D. Y. Rodríguez-Higuita, and G. E. Giraldo-Gonzalez, “Hacia la excelencia en la gerencia de proyectos a través del proceso de lecciones aprendidas -Towards excellence in project management

through the lessons-learned process," *Rev. Científica*, vol. 3, no. 23, p. 82, 2016.

[7] F. S. Huraib, S. M. Hasnain, and S. H. Alawaji, "Lessons learned from solar energy projects in Saudi Arabia," *Renew. Energy*, vol. 9, no. 1-4 SPEC. ISS., pp. 1144–1147, 1996.

[8] C. S. H. Cadena, C; Barcena, H; Caso, R; Fernández, "Lecciones aprendidas en Electrificación Rural," vol. 9, pp. 1–42, 2005.

[9] R. Margolis, R. Mitchell, and K. Zweibel, "Lessons Learned from the Photovoltaic Manufacturing Technology/PV Manufacturing R&D and Thin-Film PV Partnership Projects," no. September, p. 26, 2006.

[10] M. Montedonico, F. Herrera-Neira, A. Marconi, A. Urquiza, and R. Palma-Behnke, "Co-construction of energy solutions: Lessons learned from experiences in Chile," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 45, no. December 2017, pp. 173–183, 2018.

[11] F. Almeshqab and T. S. Ustun, "Lessons learned from rural electrification initiatives in developing countries: Insights for technical, social, financial and public policy aspects," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 102, no. October 2018, pp. 35–53, 2019.

[12] UNDP, "Good Practices and Lessons Learned: Solar Interventions under Erry Projects in Yemen," 2019.

[13] S. P. Jaramillo Montoya and L. A. Suárez Marín, "Lecciones aprendidas de los impactos ambientales en los proyectos de generación de energía hidráulica en el Oriente antioqueño: una transición de las grandes centrales a las pequeñas centrales de generación de energía hidroeléctrica," p. 63, 2018.

[14] J. D. Jiménez, "Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas," *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, 2020.

Entrevista Actores Involucrados Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 De 2017

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA

Nombre *

Nombre y apellidos

Jairo Alberto Valencia Llanos

Correo electrónico *

jairovalencia@ipse.gov.co

Número de teléfono *

6397888 ext: 1555

Cargo que desempeño durante la ejecución del proyecto *

Asesor Ingeniero Profesional

Empresa *

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

1. ¿Cómo podría realizar una descripción de la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades de Remanso, Chorrobocón, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en las ZNI del departamento del Guainía? *

El sistema implementado en las localidades Chorrobocón, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en las ZNI del departamento del Guainía incluye una solución solar fotovoltaica centralizada hibrida, un sistema de redes eléctricas, transformación, acometidas, instalaciones internas a los usuarios beneficiarios y un sistema de medición prepago.

2. ¿Qué aspectos considera importantes o características técnicas se debe tener en cuenta en la eficiencia fotovoltaica?, entiéndase como la transformación de energía solar a energía fotovoltaica en un módulo generador panel solar fotovoltaico.

El termino de eficiencia fotovoltaica es el porcentaje de transformación de energía solar a energía eléctrica, el aspecto mas importante es la capacidad de conversión sabiendo que los módulos solares oscilan entre el 16-18% y en casos comerciales hasta el 21%, se debe considerar que la capacidad de conversión supere el 16% y que se tenga la oportunidad a través de laboratorios (SENA) medir en campo la eficiencia de los mismos contrastados con las fichas técnicas. Por ultimo la eficiencia se mide en condiciones controladas en los laboratorios pero es muy importante considerar las condiciones ambientales que permiten hacer una aproximación real de la eficiencia esperada.

3. ¿Recomendaciones generales de lecciones aprendidas?

Al ser un proyecto reciente el cual fue entregado el 19 de marzo del 2021 no ha existido la oportunidad de dar detalle de lecciones aprendidas del proyecto sin embargo se resalta la importancia de la implementación de este tipo de proyectos en la zona donde efectivamente existía previamente una generación Diesel y mediante este proyecto se sustituye la generación anterior ampliando la estrategia de prestación del servicio esto ocasiona la transferencia de conocimiento a las comunidades al importar tecnología se ve la necesidad de que los actores que interfieren socialicen conocimientos nuevos en la región

4. ¿ Qué tecnologías existen en Colombia comparadas con las implementadas en el Guainía que presentan mejor desempeño en eficiencia fotovoltaica?

Los proyectos que se desarrollan con fuentes no convencionales de energía siempre buscan ser tecnologías de última generación siendo un propósito desde el momento de su diseño que también pueden ser optimizados y mejorados en el momento de implementación dado que estos proyectos se diseñan con una tecnología de momento sin embargo el ejecutor o el contratista tiene la facultad de proponer iguales o mejores condiciones tecnológicas vigentes para la implementación del mismo.

Desde el punto de vista de eficiencia fotovoltaica es posible que un proyecto que se implemente a fecha de hoy tenga tecnologías a la vanguardia pero en su fecha de entrega no se encuentre actualizada con las tecnologías emergentes, es posible encontrar tecnologías de mejor desempeño al momento de finalizar el proyecto.

En la etapa de estudios previos del proyecto se hace una caracterización con distintas alternativas de solución , cuando se fija un tipo de tecnología a implementar se establece los parámetros del proyecto para mantener su eficiencia y sostenibilidad buscando el aprovechamiento del área de afectación

5. ¿Cómo debe ser la estructura de la lección aprendida: descripción del proyecto, resultado de las entrevistas, análisis técnico y lecciones aprendidas definitivas enfocada a la solución solar fotovoltaica centralizada hibrida implementada en las localidades ZNI del departamento del Guainía en términos de eficiencia fotovoltaica?

Buscando implementar la metodología socializada para la redacción de lecciones aprendidas y ejes temáticos debería tener como resultado el análisis de la experiencia que se tuvo no solo frente al nivel técnico si no también al impacto que tiene el proyecto en la región frente al cumplimiento y a la materialización de la política pública energética, la lección aprendida debería incluir la aplicabilidad de la tecnología utilizada , los aspectos de la tropicalización de los mismos y fortalecer aspectos de capacitación en los aspectos técnicos puntuales sobre el manejo de centrales de operaciones entre otros a cargo de la empresa EMELCE y acciones predictivas y preventivas frente a eventos de mantenimiento o falla; todo esto fortaleciendo la imagen corporativa de las políticas públicas.
Desde el punto de vista de eficiencia fotovoltaica el reporte tecnológico que tiene este tipo de sistemas híbridos, la minimización del leasing en el despacho energético , la minimización de los costos de generación y el fortalecimiento de los esquemas de generación sostenibles.

6. Según su experiencia en el proyecto ¿Se realizaron cambios en el diseño para la selección de los sistemas de generación de electricidad fotovoltaico centralizado en las diferentes localidades?

Como en todo proceso de instrumentación se validaron los diseños iniciales buscando las mejoras del mismo, efectivamente durante el desarrollo de las etapas del proyecto se realizaron modificaciones de criterios de diseño que se vieron reflejadas en las especificaciones técnicas solicitadas para los equipos instalados en las SSFH esto en busca de fortalecer y aumentar la capacidad operativa. El contrato contaba con los actores principales MME , IPSE , GENSA y EMELCE como operador de red , sin embargo al ser un instrumento soportado en un contrato interadministrativo una empresa externa se encargo de realizar la interventoría técnica a los diseños eléctricos

7. Según su experiencia en el proyecto ¿Quiénes fueron los encargados de seleccionar el sistema de generación de electricidad fotovoltaico centralizado y bajo que parámetros se realizó la selección ?

El proyecto fue evaluado en etapa de pre-factibilidad por el MME y el IPSE, pero los encargados de proponer la solución energética y realizar los debidos procesos en etapa de pre-factibilidad fue la empresa operadora de red del Guainía EMELCE la cual se ajustó al debido proceso para ser adjudicado por el MME en convenio con el IPSE, realizando los estudios previos de viabilidad para una SSFH.

8. A nivel técnico los resultados obtenidos en los ensayos realizados por fabricantes sobre varios prototipos de panel solar fotovoltaico hibrido confirman que refrigerando las células se obtiene un aumento considerable en la eficiencia de las mismas. Este dato es contrastable observando las curvas I-V a diferentes temperaturas de trabajo en cualquier panel FV y fabricante, Debido a esto para la implementación de la solución solar fotovoltaica en las diferentes localidades ZNI del departamento del Guainía ¿Se realizo un estudio de refrigeración o ventilación del kit solar y en que ventana de tiempo se realizó?

No se tiene conocimiento de estudios de refrigeración de las células solares ni de los paneles solares como un estudio importante para evaluar su eficiencia como criterio de diseño.

9. ¿Al estar combinadas dos tecnologías tan diferentes en el panel solar híbrido implementado como solución energética en las localidades de Remanso, Chorrobocón, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicados en ZNI del departamento del Guainía, en caso de averías de alguna de las tecnologías aplicadas, ¿Cómo podría repercutir en el conjunto? ¿Podría una avería en el circuito térmico perjudicar a la parte fotovoltaica? Se contemplo el mantenimiento de las tecnologías o su envejecimiento en el tiempo para su implementación ?

La filosofía operacional de estos sistemas busca generar un buen despacho económico de manera hibridizada de manera ordenada operando, energía solar, baterías de almacenamiento y generador Diesel . Al presentar averías en una de las tecnologías si por algún motivo sale de funcionamiento o se presenta perdida en el servicio esto dependerá del momento en el que suceda, si sucede cuando la tecnología que presenta esta avería es la que esta en funcionamiento o si las otras tecnólogas de las que se compone las SSFH es capaz de suplir su despacho energético . Debido a esto EMELCE como operador de red es el encargado de realizar un esquema de AOM con el fin de realizar mantenimiento preventivos y correctivos con el fin de evitar este tipo de situaciones.

Si la falla es en el componente solar seria capaz de soportarlo o el grupo electrógeno Diesel y las baterías de almacenamiento de energía , en caso de salir el grupo electrógeno Diesel al depender de combustible fósil no seria capaz de suplirlo el componente solar y las baterías.

10. ¿Qué aspectos considera importantes o características técnicas se debe tener en cuenta en la eficiencia fotovoltaica, y que aspectos fueron determinantes para la implementación de la solución solar fotovoltaico hibrido?

El factor primordial para la selección de la solución energética fue el factor económico sin embargo al ser una solución propuesta por el operador de red de energía del Guainía EMELCE , el OR propuso la viabilidad de la solución energética evaluando todos los aspectos técnicos necesarios para llevar a cabo el mismo.

La conversión de energía debe realizarse buscando el mayor porcentaje de eficiencia de las células solares con datos promediados del 17%, según el tipo de célula y la composición de las células es un factor importante y determinante a tener en cuenta como impacto económico y de conversión de energía determinante impactando directamente en la eficiencia de conversión.

11. Después de estar implementadas las unidades de generación SFV hibrida centralizada en las localidades del Guainía ¿Por cuánto tiempo de servicio van a estar en funcionamiento ?

El horizonte del proyecto fue orientado a una duración de flujo de caja de 20 años , pero discriminados individualmente se conoce que la vida útil de los paneles solares contemple hasta 25 años, los generadores Diesel dependerán del número de mantenimientos y su consumo de combustible puede tener una vida útil entere 5-7 años y las baterías de almacenamiento consideran una vida útil entre 3-5 años. Van a estar en funcionamiento dependiente del esquema AOM esto apoyado en el horizonte de vida útil del componente mayor (paneles solares fotovoltaicos) esperando completar su vida útil pero con mantenimientos preventivos y correctivos.

12. Según su experiencia ¿Cuáles son para usted los aspectos más relevantes a tener en cuenta para lograr mejorar la eficiencia en las máquinas y sistemas de generación de energía eléctrica SVF híbridos implementados en las localidades del departamento del Guainía ?

Evaluando la eficiencia de las maquinas, como maquinas rotativas un aspecto importante será el consumo de combustible, los mantenimientos necesarios , recambios de las partes , realizar inspecciones termográficas como aspecto fundamental, la mayor perdida de la eficiencia se debe al aumento de las temperaturas en el tiempo que solo se puede prever a través de pruebas eléctricas donde se busca mantener rangos de operación.

13. ¿Cómo repercutirá la disparidad de años en el envejecimiento en las diferentes tecnologías del conjunto del panel solar fotovoltaico híbrido?

Soportados en fichas técnicas de fabricantes se conoce que la degradación de los paneles solares corresponde a un 0.5% por año , la disparidad del envejecimiento es notaria en comparación a los paneles de 25 años esto se debe apoyar en las actividades de seguimiento y el esquema de AOM. Desde el punto de vida económico al manejar vidas útiles dispares esto afectara el acceso a la reposición y mantenimiento de los mismos.

14. Según los estudios de manufacturas se promedia un periodo de 12 años de garantías desde la instalación de los sistemas de generación de electricidad solar fotovoltaico SFV , durante este tiempo se deberán realizar limpiezas mantenimientos o capacitaciones del buen uso de las soluciones solares con los habitantes de las localidades ZNI del departamento del Guainía?

Independiente del periodo y la garantía se deben dar los mantenimientos necesarios , estudios de seguimiento , entre otros que soporten el despacho de generación de las SSFH. EMELCE debe garantizar en su esquema de sostenibilidad capacitación a los usuarios finales no solo con el fin de conocer su parte activa en la demanda energética sino en el debido uso de las SSFH.

15. Durante la fase precontractual del proyecto ¿Cree usted que le hizo falta algo al proyecto y se dieron cuenta de eso durante el desarrollo del proyecto?

En la fase pre conceptual se visualizan técnica y económicamente los proyectos debido a esto orientado a los usuarios finales de las localidades indígenas , las particularidades afectan la implementación final dado que al iniciar la visualización técnica hasta el momento de puesta en funcionamiento los factores analizados en las ventanas de tiempo pudieron sufrir modificaciones.

16. Por parte del IPSE ¿Quién se encargó de realizar la evaluación de las especificaciones técnicas de las soluciones de generación de electricidad fotovoltaico centralizado?

Dentro de la etapa pre conceptual se realizo una evaluación de la especificaciones técnicas a través de un departamento encargado dentro de la estructura organizacional del IPSE , dichas especificaciones técnicas también son evaluadas por un tercero interventor encargado de hacer la veeduría de las mismas y realizar la validación. Si lo requiere también proponer mejoras en el proyecto, al finalizar se realiza un levantamiento en campo con la interventoría.

17. ¿El mapa de radiación solar, las condiciones ambientales , ubicación geográfica y demás factores fueron evaluados para la selección de las soluciones de generación de electricidad fotovoltaico centralizado híbridos en las diferentes localidades?

Si, En la evaluación de formulación del proyecto y su dimensionamiento contemplo el potencial energético en la zona, determinando si los valores de irradiación eran favorables, incidencia de factores como temperatura ,humedad y posición geográfica, licencia ambiental, o de manejo ambiental hacen parte de los estudios previos realizados antes de la suscripción del proyecto.

18. En las soluciones fotovoltaicas, para poder responder rápidamente a una falla en cualquier equipo, es indispensable contar con un inventario de repuestos. Los repuestos cuestan dinero y su compra anticipada debe justificarse por el beneficio que trae la continuidad del servicio , ¿Dentro del estudio económico se evaluó la salida de los sistemas de generación FV centralizado por fallas?

Si, en la evaluación de viabilidad se estudio en el esquema de sostenibilidad la probabilidad de ocurrencia de eventos o fallas para poseer la instrumentalidad y dar solución a estos eventos a mayor brevedad.

19. En la mayoría de las comunidades ZNI, el clima presenta suficiente lluvia fuerte para mantener limpios los paneles solares. Estos sistemas de lluvias eliminan la necesidad de lavar los paneles de una manera frecuente. Pero en general, se considera una buena práctica lavar los paneles por lo menos una vez al año o cuando las condiciones de los paneles lo requieran. Teniendo en cuenta esto, ¿Se contempla un equipo especializado encargado para realizar estas labores de mantenimiento y un cronograma?.

Si, EMELCE dentro del esquema de AOM esta encargado de realizar mantenimiento preventivos bimensuales a los paneles solares buscando la mínima corrosión en los mismo o degradación teniendo en cuenta los factores ambientales a los que se encuentran expuestos los paneles.

El desempeño de los paneles depende del acceso a la radiación solar directa. Es una buena práctica evitar cualquier interferencia o sombreado de los módulos ya sea por edificios cercanos, árboles o por los mismos paneles vecinos. También se debe tener en cuenta el crecimiento de los árboles alrededor de los paneles a lo largo del tiempo. El sombreado parcial de solo una pequeña parte de una superficie fotovoltaica puede tener un efecto destructivo en la producción de energía.
Un panel con sombra limita la producción de todos los paneles, aun de los que no están con sombra. Patrones no sostenibles de desarrollos de fotovoltaicos.

20. ¿Se realizo un plan de acción para prever estas situaciones de sombras en la venta de vida útil de las soluciones energéticas FV implementada en las localidades ZNI del departamento del Guainía?

Si , la instalación de los paneles se encuentra libre de afectación por sombras se encuentran conectados en paralelo disminuyendo el riesgo de afectación.

Este formulario se creó en Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Google Formularios

Energía Solar Fotovoltaica En Zonas No Interconectadas- Contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017

Bello Torres Astrid Jessenia, ajbellot@correo.udistrital.edu.co Coautores IPSE: Jairo Valencia Ll.

Abstract— This article shows the state of the art and antecedents of the insertion of photovoltaic solar energy as energy solutions for isolated areas or non-interconnected areas which have difficult access to essential services such as electricity, legal framework, legislation and incentives of the participation of public entities through inter-administrative contracts signed by the Ministries of Mines and Energy, IPSE and GENSA in order to publicize the projects carried out with photovoltaic solar technology in recent years in Colombia specifically in the Department of Guainía by the Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Zones - IPSE.

***Keywords*— Solar Photovoltaic, Technology, Public Entities, Non-Interconnected Zones.**

***Resumen*— El presente artículo muestra el estado del arte y antecedentes de la inserción de la energía solar fotovoltaica como soluciones energéticas para zonas aisladas o zonas no interconectadas las cuales cuentan con un difícil acceso a los servicios esenciales como la energía eléctrica, Marco legal, legislación e incentivos de la participación de entidades públicas a través de contratos interadministrativos suscritos por el Ministerios de Minas y Energía , IPSE y GENSA con el fin de dar a conocer los proyectos llevados a cabo con tecnología solar fotovoltaica en los últimos años en Colombia específicamente en el Departamento del Guainía por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE.**

***Palabras Clave*— Solar Fotovoltaico, Tecnología, Entidades Públicas, Zonas No Interconectadas.**

I. Introducción

En Colombia uno de los pilares de los planes nacionales de desarrollo propuesto en todos los escenarios; medios de comunicación, programas de gobierno, organizaciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, la academia, inversionistas locales y extranjeros, entre otros es el acceso a la energía eléctrica como servicio público esencial; y sucede porque la energía es un factor determinante en cada uno de estos sectores sociales y económicos del país.

No podría ser de otra manera porque Colombia es un país muy rico en recursos naturales lo que le ha permitido contar con importantes fuentes de generación de energía eléctrica , a través de termoeléctricas e hidroeléctricas, y hoy puede estar a la vanguardia de los países del continente en generación de energía a través de fuentes no convencionales, como lo son las energías limpias renovables, que aunque es una política de interés nacional relativamente nueva, se está avanzando rápidamente en su implementación, por lo cual es importante destacar la energía solar fotovoltaica, como una de las de mayor impacto social y económico, por su facilidad de implementación y cobertura, en toda la geografía nacional colombiana, también es importante resaltar su evolución científica, técnica, jurídica y económica.

La energía eléctrica ingreso a la vida de los colombianos a finales del siglo XIX, y fueron Bogotá en 1890, seguida de Bucaramanga en 1892, Barranquilla, Cartagena y Santa Marta en 93, posteriormente entran Medellín y Cali, mediante desarrollos hidroeléctricos, inicialmente solo era para alumbrado público, utilizando como tecnóloga la generación de energía a través de turbinas Pelton, impulsadas por la fuerza del agua, y un generador eléctrico. Años más tarde se fueron introduciendo al país nuevas formas de generación de energía, como la térmica a base de combustibles fósiles, hoy a gas, hasta llegar a las energías limpias renovables y sustentables [1].

II. Energía Solar Fotovoltaica En Colombia

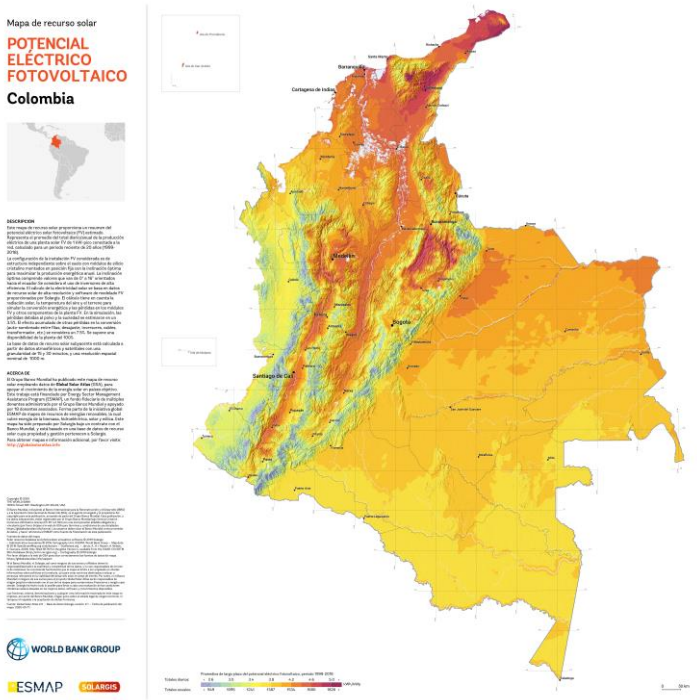


Fig. 1 Mapa potencial Eléctrico Fotovoltaico Colombia , Fuente: SolarGIS.

Articulo de Investigación Fecha de entrega 01 de octubre de 2021. Este documento fue realizado por estudiantes activos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la supervisión y acompañamiento del Docente Andrés Escobar Díaz director Semillero de investigación Barión de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bello Torres Astrid Jessenia. Cód. 20152007046 Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, (ajbellot@correo.udistrital.edu.co) y profesionales IPSE.

En la Fig.1. se observa el potencial eléctrico fotovoltaico del país, según valores de irradiación se considera que Colombia es uno de los países con alta capacidad de producción de energía fotovoltaica del mundo, por su posición geográfica, dado que está situado en el Ecuador medio, y cuenta con una exposición a la luz del sol durante 12 horas diarias, los 365 días del año, esto utilizando la más básica de las tecnologías fotovoltaicas existentes en el mercado.

Colombia cuenta con una irradiación que supera el promedio mundial, lo que favorece positivamente el potencial del país en energía solar fotovoltaica. Esta irradiación, presenta mayor concentración en las regiones de la costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquia y la Región Central. El promedio es de 4.5 kWh/m^2/d, que supera el promedio mundial de 3.9 kWh/m2/d, estando por encima de Alemania (3.0 kWh/m^2/d), país que hace el mayor uso de la energía solar en el mundo[2].

La Fig.2. presenta el mapa de las zonas no interconectadas de Colombia desarrollado por el IPSE, de acuerdo con la normatividad vigente, son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al SIN, ya sea por aspectos geográficos, técnicos o como sucede en muchos casos por los elevados costos de conexión por usuario. Las ZNI están ubicadas en lugares de difícil acceso, carecen de servicios públicos, de infraestructura y presentan dificultad para acceder a la comunicación.

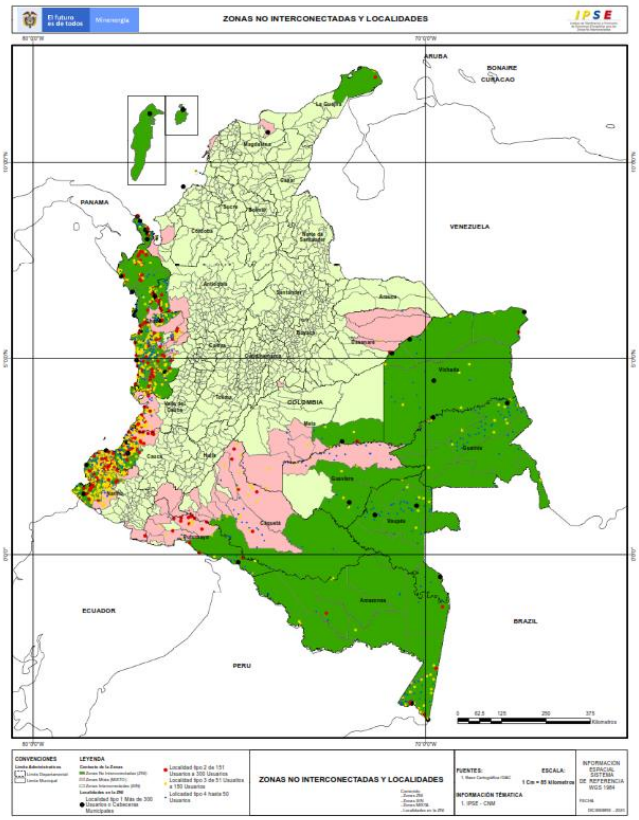


Fig. 2 Mapa Zonas No Interconectas Colombia , Fuente: IPSE.

El Gobierno de Colombia a través del El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE, Establecimiento Público del Orden Nacional, adscrito al Ministerio de Minas y Energía, ha identificado que el modelo actual de expansión del sector eléctrico presenta dificultades para llevar el servicio de electricidad a la población que vive en las zonas rurales y no interconectadas por diferentes aspectos. Esta situación conlleva a plantear soluciones energéticas con fuentes no convencionales de energía, FNCE y de tipo Híbrido, de modo que se garantice un servicio de calidad, continuo, seguro, asequible, no contaminante, y que en la generación de energía eléctrica, se aprovechen los potenciales energéticos de las regiones donde sean implementados, e incluir como factor de sostenibilidad de dichos proyectos, la asistencia técnica a los prestadores del servicio y el fortalecimiento de las capacidades organizativas, además de capacitar a la comunidades en eficiencia energética y en el uso racional de la energía.

Es así como se plantea los sistemas solares Fotovoltaicos como solución energética, los cuales minimizan el impacto ambiental. Este tipo de energía, generada por el sol, no necesita ser extraída como el caso de la energía fósil, ni es necesario transportarla hasta el lugar que se requiere, no genera emisión de gases ni de ruido, ni precisa de combustibles para su funcionamiento, tampoco requiere de grandes construcciones para su implementación y tiene requerimientos mínimos de cuidado y mantenimiento.

Su instalación puede llegar a ser más ventajosa que otras alternativas de solución desde el punto de vista económico, si se compara en muchos casos con la extensión de redes para conectarse al SIN; adicionalmente, Colombia es un país que cuenta con zonas que poseen un alto potencial energético solar por su ubicación y radiación, ya que se encuentra en la zona ecuatorial, lo que hace que se ubique en la zona tórrida o intertropical, región de bajas latitudes, ocasionando que cuente con la misma iluminación solar todo el año[3].

III. Marco Legal Energización Zonas No Interconectadas

El objeto del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE apoyado en el marco jurídico, artículo 4 del decreto 257 de 2004 consiste en identificar, promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo. Procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las Zonas No Interconectadas, ZNI apoyando técnicamente a las entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía – MME.

La ley 1715 de 2014 en su artículo 5 numeral 22, define las zonas no interconectadas de la siguiente forma :.. " *Se entiende por Zonas No Interconectadas a los municipios corregimientos, localidades y caserío no conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN)*"[4], como se advierte de la definición expuesta se considera ZNI a un espacio geográfico que no se encuentre conectado al SIN, esta definición se complementa con el objeto legal atribuido al IPSE, lo que en suma establece la competencia del instituto.

A. Suscripción De Contratos Interadministrativos

Los fines que persigue la contratación tiene como objetivo específico el cumplimiento de los fines del Estado y el acceso al servicio público de la energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas, así como su continua y eficiente prestación. Esto se sustenta conforme al siguiente desarrollo normativo:

La ley 80 de 1993 define en su artículo 3º:.. "*De los fines de la contratación estatal. Los servidores públicos tendrán en consideración que al celebrar contratos y con la ejecución de los mismos, las entidades buscan el cumplimiento de los fines estatales, la continua y eficiente prestación de los servicios públicos y la efectividad de los derechos e intereses de los administrados que colaboran con ellas en la consecución de dichos fines*"[5].

Es importante mencionar lo dispuesto en el artículo 5 de la ley 143 de 1994, el cual contempla que:..*"La generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad están destinadas a satisfacer necesidades colectivas primordiales en forma permanente, por esta razón, son consideradas servicios públicos de carácter esencial, obligatorio y solidario, y de utilidad pública"*[6].

B. Mandatos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

El plan nacional de desarrollo 2018-2022 en el capítulo denominado "*Desarrollo minero – energético para la equidad regional – Energía Eléctrica para todos – Universalización y calidad del servicio",* establece que:*..."En el caso de las Zonas No Interconectadas, cobertura mediante la prestación del servicio de energía las 24 horas del día en las cabeceras municipales con fuentes no convencionales de energía y sistemas híbridos, así como el Gobierno Nacional planea consolidar las localidades y municipios de mayor tamaño. También impulsará esquemas de generación aplicación de estrategias de eficiencia energética. Para estos efectos se implementarán esquemas empresariales con inversiones públicas y privadas, tales como áreas de servicio exclusivo de energía eléctrica…En las Zonas No Interconectadas y en zonas de difícil acceso se implementarán sistemas de generación de energía eléctrica con un criterio de eficiencia económica, dando prioridad a los proyectos contenidos en los planes de energización para estas zonas que consideren el uso productivo del recurso energético en beneficio de la comunidad*"[7].

C. Compromisos Asumidos por el estado Colombiano en la COP21

La Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMNUCC) es el tratado internacional ambiental que busca darle solución a la problemática del cambio climático. Se firmo en la Cumbre de Rio de 1992 y entro en vigor en 1994. Actualmente, todos los países miembros de la ONU hacen parte de la Convención. El objetivo de la Convención es "*La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático*"[8].

La conferencia de las partes (COP) es el máximo órgano decisorio de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas y es el único órgano que puede tomar decisiones de la implementación del tratado. En la Conferencia de las partes COP 21 realizada en París – Francia en noviembre de 2015, Colombia efectuó, entre otros compromisos:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del País en un 20% con relación a las emisiones proyectadas a 2030.
- Fomentar el intercambio de conocimiento, tecnología y financiamiento para acelerar las contribuciones planteadas en materia de adaptación y mitigación de gases de efecto invernadero.

D. Decreto único reglamentario del sector minas y energía – Marco Jurídico

El decreto 1073 de 2015 denominado Lineamientos generales del programa de uso racional y eficiente de energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE, preceptúa:.."*Para el diseño del programa de uso racional y eficiente de energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE, el Ministerio de minas y energía tendrá en cuenta aspectos sociales, ambientales, culturales, informativos, financieros y técnicos, a fin de crear las condiciones del uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales de energía, según los siguientes criterios*[9]*:*

a) Fomentar la utilización de fuentes energéticas convencionales y no convencionales con criterios de uso racional y eficiente, incluso a través de sistemas de cogeneración.
b) Fomentar la modernización e incorporación de tecnologías y procesos eficientes en la cadena de suministro y uso de los energéticos.
c) Fomentar el uso de energéticos eficientes, económicos y de bajo impacto ambiental.

Del decreto 1623 de 2015, denominado Expansión de la Cobertura del Servicio de energía eléctrica en zonas aisladas, señala:…"*La ampliación de cobertura del servicio de energía eléctrica a usuarios a quienes no sea económicamente eficiente conectar al SIN, se realizara mediante soluciones aisladas centralizadas o individuales y microrredes, las cuales serán construidas y operadas principalmente por operadores de red – OR del SIN, o a través de esquemas empresariales tales como Áreas de Servicio Exclusivo, ASE. Dichas inversiones podrán ser realizadas tanto con recursos públicos como con inversiones a riesgo efectuadas por empresas prestadoras del servicio. En este último caso las inversiones serán remuneradas a través de tarifas*.

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

Parágrafo 2 La vinculación del capital privado en la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica continuara rigiéndose exclusivamente por lo establecido en la Ley 142 de 1994 y en el régimen de ASE" [10].

IV. Infraestructura Energética En Las ZNI

De acuerdo al estudio del marco legal descrito previamente una de las necesidades identificadas es la de proveer servicios de energía mediante soluciones con fuentes convencionales y no convencionales que incluye generación y distribución a los usuarios. En este caso las soluciones fotovoltaicas, permiten llegar a usuarios dispersos en la geografía nacional.

Así mismo en el Plan Nacional de Desarrollo con relación a las ZNI se indica en uno de sus apartes que:.."*Adicionalmente, se*

impulsaran esquemas de generación de energía con fuentes no convencionales de energía renovable y sistemas híbridos, así como la aplicación de estrategias de eficiencia energética"[7].

Por lo anterior, se ha considerado una alternativa viable, la generación mediante FNCER, haciendo uso del aprovechamiento de las fuentes energéticas disponibles localmente o bajo criterio de desarrollo, las cuales en su alcance llevan como componente esencial el suministro y la instalación de dichas soluciones. Las soluciones energéticas consideradas se pueden ejecutar en una ventana de corto y mediano plazo.

V. Fondo Financiero Para La Energización De Las Zonas No Interconectadas – FAZNI.

La Ley 633 de 2000 en su artículo 82 creo el Fondo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas – FAZNI, la cual se encuentra reglamentada por el Decreto 1073 de 2015, el cual dispone que…" *Los recursos (...) y los rendimientos que generen la inversión temporal de su recurso, se utilizaran de acuerdo con la ley y con las políticas de energización que para las zonas no interconectadas determine el Ministerio de Minas y Energía, conforme con los lineamientos de política establecidos por el Consejo Nacional de Política Económica y Social en documentos tales como el Conpes 3108 de 2001 y 3453 de 2006, para financiar planes, programas y/o proyectos priorizados de inversión 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"*[11]. Que la vigencia de dicho fondo fue extendida por la Ley 1715 de 2014, hasta el 31 de diciembre de 2021.

El artículo 190 de la Ley 1753 de 2015 " Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018", estableció la obligación del Gobierno Nacional de expedir la reglamentación referente a la focalización, adjudicación y seguimiento de, entre otros, los recursos FAZNI, así como el procedimiento para declarar incumplimientos, imponer multas y sanciones y hacer efectivas las garantías que se constituyan en el marco de la ejecución de los recursos del FAZNI. El Decreto 1073 de 2015 dispuso que las inversiones que se efectúen con los recursos del fondo FAZNI tendrán como titular a la nación – Ministerio de Minas y Energía.

El Comité de Administración del Fondo del FAZNI – CAFAZNI, tiene como funciones aprobar, objetar e impartir instrucciones y recomendaciones sobre los planes, programas y/o proyectos presentados para financiación con cargo a los recursos del mencionado fondo, por lo cual el CAFAZNI y el Consejo Directivo del IPSE , en atención a la cantidad de proyectos y que el mecanismo de cofinanciación FAZNI – IPSE permite anuar esfuerzos para la consecución de los objetivos de ampliar la cobertura en las ZNI y potenciar los resultados para obtener mayor cantidad de usuarios nuevos con soluciones energéticas, impactándose favorablemente la Mega Meta del Gobierno Nacional, decidió que los recursos disponibles del IPSE serán incluidos para cofinanciar proyectos sometidos a consideración del Comité de Administración del FAZNI – CAFAZNI y que hayan sido aprobados en el mismo.

VI. Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 – IPSE 110 de 2017

Según consta en el Acta CAFAZNI No. 068, entre otros, aprobó el proyecto "CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA", el cual cuenta con el mecanismo de cofinanciación FAZNI – IPSE, y que con dicho proyecto se pretende ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en las Zonas No Interconectadas – ZNI. Se confiere al Ministerio de Minas y Energía o a quien este delegue, la facultad de ejecutar los recursos del FAZNI y que durante la misma sesión de CAFAZNI, el comité indico los ejecutores de los proyectos aprobados, teniendo en cuenta la capacidad gerencial y administrativa requerida para la ejecución de las obras, así como la experiencia acreditada en la ejecución de proyectos de características similares en zonas no interconectadas, seleccionando a la EMPRESA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P – GENSA. E.S.P para la suscripción del contrato de administración general y asistencia técnica por considerar viable la ejecución de dicho proyecto por parte de esta empresa.

El MINISTERIO considero que por las características técnicas del proyecto, el ADMINISTRADOR cuenta con una reconocida experiencia en gestión de proyectos de energía eléctrica en Zonas No Interconectadas y así lo indico al IPSE.

El MINISTERIO y el IPSE con el fin de llevar a cabo la ejecución de los proyectos mencionados, los cuales benefician a las comunidades de las áreas de influencia de los mismos y para el logro de los fines esenciales del estado tales como el mejoramiento de la calidad del servicio y la satisfacción de la demanda. Suscribieron el contrato interadministrativo[12].

1) Comunidades Beneficiadas

Según su localización territorial el departamento del Guainía se encuentra situado al oriente del país, en la región del Amazonia, localizado entre los 01°10'17" y 04°02'21" de latitud norte, y los 66°50'44" y 7°55'16" de longitud oeste. Tiene una extensión de 72.238 km^2 que corresponde al 6.33% del territorio nacional; llamada extensión amazónica, entre sabana y selva, siendo uno de los Departamentos con menor población del País.

El análisis de información se concentra en 2 grandes sectores a saber: sector residencial u comercial y sector institucional o educativo, para un total de 22 localidades con 268 viviendas actualmente sin embargo, se obtuvo información de 1109 viviendas, locales e instituciones educativas encuestadas y analizadas. Cada uno de ellos presenta unca caracterización de las unidades primarias del sector y la identificación del consumo energético por fuente y procesos[13].

De acuerdo a la proyección del Censo DANE – 2005, el departamento del Guainía para el año 2016 contaba con una

población de 42.123 habitantes, la densidad poblacional es de 0,58 hab/ km^2, siendo baja si se compara con la extensión territorial que es de 72.238 km^2. Tal circunstancia refleja los altos niveles de dispersión de los habitantes en el departamento.

2) Servicio de Energía

El departamento cuenta con 55 comunidades que se benefician de Grupos Electrógenos (Plantas Diesel). La empresa administradora de estas plantas es la EMPRESA DE ENERGÍA DEL GUAINÍA EMELCE SA ESP. y se puede acompañar con El auge en el uso de las energías renovables que en Colombia ha venido en aumento debido a su aplicabilidad en regiones alejadas de las metrópolis, caso de las comunidades indígenas, zonas rurales y de difícil acceso geográfico para la obtención de energía por sistemas convencionales. Por su utilidad en los sectores agropecuarios de las pequeñas y medianas empresas es importante para el avance y desarrollo en estos niveles de la economía y mejorar la calidad de vida de las Comunidades marginadas.

El departamento del Guainía no cuenta con redes viales que puedan considerarse primarias o secundarias debido a su situación política en la cual no cuenta sino con un Municipio propiamente declarado y también a que actualmente no existe vía terrestre alguna que lo comunique con otra región del país, es decir el Departamento del Guainía está aislado de Colombia si de vías terrestre se habla.

3) Antecedentes contratos interadministrativos

En este apartado es importante apoyarse en el análisis de la demanda realizado en el estudio previo para la suscripción de contratos interadministrativos por El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE.

1. Selección del Contratista:
   En proyectos previos suscritos por el El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE, han incluido la implementación de generación mediante fuentes convencionales y no convencionales de energía, mediante licitación pública o mediante convenios interadministrativos.

2. Objeto del Contrato:
   Contrato No. 098 de 2015 "Implementación de soluciones fotovoltaicas individuales para usuarios rurales de las zonas no interconectadas en diferentes regiones de Colombia"

   Contrato No. 084 de 2014 "Implementación y desarrollo de soluciones energéticas, tendientes a la ejecución de proyectos identificados por el IPSE para el fortalecimiento de la infraestructura eléctrica de las zonas no interconectadas del Departamento del Guainía".

3. Contratos suscritos para el efecto:
   El IPSE ha suscrito tres (3) contratos que dentro de sus etapas incluyen el suministro, montaje e instalación de soluciones fotovoltaicas individuales, contrato 059 de 2016, contrato 073 de 2016 y contrato 064 de 2016.

VII. RESULTADOS

El contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 – IPSE 110 de 2017 "CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA", beneficio a 624 usuarios de las localidades del departamento del Guainía mediante la hibridación de los grupos electrógenos plantas Diesel con energía renovable solar fotovoltaica.

El 19 de marzo del año 2021 desde la localidad de Caranacoa, en el municipio de Inírida, el director del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas -IPSE-, José David Insuasti, inauguró en compañía del alcalde de Inírida, Pablo Willian Acosta, el proyecto para la generación del servicio de energía eléctrica a 624 familias en las localidades indígenas de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo en el departamento de Guainía. Con estos proyectos el Gobierno Nacional y el Ministerio de Minas y Energía ratifican su compromiso con cerrar las brechas de desigualdad en el departamento de Guainía. A continuación se presentan las imágenes tomadas en sitio de instalación del proyecto solar fotovoltaico hibrido.



Imagen 1. Nueva central de generación fotovoltaica en la localidad Remanso, Fuente [14].



Imagen 2. Nueva central de generación fotovoltaica en la localidad Remanso, Fuente [14]

La Fig.2. presenta la ubicación geográfica de las localidades beneficiadas con el proyecto y la Tabla 1 la cantidad de usuarios del proyecto por localidad del contrato FAZNI GGC 616 de 2017.



Fig. 3 Ubicación geografía Localidades ZNI objeto del contrato de obra contrato FAZNI GGC 616 de 2017 , Fuente: Autores.

Departamento	Localidad	Usuarios
Guainía	Remanso	60
	Chorrobocon	184
	Caranacoa	83
	Laguna Colorada	170
	Pueblo nuevo	127
TOTAL		**624**

Tabla 1 Cantidad de usuarios del proyecto por localidad contrato FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Autores.

GENSA construyó cuatro centrales de generación de energía solar fotovoltaica en el departamento del Guainía, las cuales benefician a 624 familias de las comunidades indígenas de El Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo, quienes ya cuentan con energía eléctrica desde las 6:00 de la mañana hasta las 10:00 de la noche.

El proyecto fue entregado a EMELCE, empresa que opera la red local del Guainía, cuyos ingenieros y técnicos recibieron instrucciones para el manejo, control, operación y mantenimiento de las centrales de generación fotovoltaica, lo que garantizará la durabilidad de los equipos.

El proyecto contempla que los usuarios gestionen su propio consumo, para lo cual se aplica el concepto de prepago, mediante un sistema de comunicaciones los usuarios pueden hacer recargas desde cada una de las comunidades al operador de red el cual controla el sistema de manera centralizada.

A. Información:

1. La financiación total del proyecto estuvo a cargo del Ministerio de Minas y Energía y el Instituto de Planificación de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), entidades con las que GENSA suscribió el contrato interadministrativo.

2. Cinco poblaciones indígenas del Guainía se beneficiaron con la energía generada por las centrales fotovoltaicas.

3. Laguna Colorada y Pueblo Nuevo se sirven de la misma central de generación, a través de una interconexión con una línea de media tensión a 13,2kV de aproximadamente 3 km de longitud.

4. Personal del IPSE, de la Gobernación del Guainía, de la Alcaldía de Inírida, de EMELCE y de GENSA verificaron el funcionamiento de las centrales de generación y las obras civiles requeridas.

5. El 19 de marzo de 2021, se realizó una visita a la comunidad de Caranacoa en la que participaron el IPSE, la Gobernación del Guainía, la Alcaldía de Inírida, EMELCE, los ingenieros de las firmas contratista e interventoras y de GENSA.

6. Los equipos electrónicos del sistema fotovoltaico son de última tecnología y fueron traídos desde Alemania.

B. Cifras:

La inversión total del proyecto ascendió a cerca de $11.521 millones que cubre el valor de las obras, la interventoría y la administración.

C. Compromisos adquiridos posterior a la entrega del proyecto:

1. GENSA brindara capacitación en sitio al personal de las viviendas y de las instituciones beneficiarias, que se encargara de la operación y mantenimiento del sistema, haciendo entrega de los manuales de operación y mantenimiento junto con las especificaciones técnicas de todos los equipos (baterías, reguladores, inversores y paneles solares) al igual que en los procedimientos para constituirse como empresa prestadora de servicios públicos en Zonas no Interconectadas ZNI de ser el caso. La capacitación incluirá los aspectos regulatorios y empresariales para conformar el esquema de sostenibilidad a futuro.

2. GENSA identificará conjuntamente con la Comunidad un esquema de Administración , Operación y Mantenimiento y lograr la creación de un esquema de sostenibilidad a fin de que los sistemas energéticos puedan operar de manera sostenible, el cual será socializado y presentado a los lideres de las comunidades a fin de dar continuidad al esquema empresarial.

3. El acompañamiento y sensibilización para la sostenibilidad del proyecto, EMELCE como operador de red del departamento del Guainía. Capacitara a los usuarios en la operación adecuada de los sistemas fotovoltaicos entregando el registro de dichas capacitaciones en su informe final.

4. EMELCE como contratista ejecutor gestionara la creación, acompañara y asesorará hasta su funcionamiento la empresa que se encargara de la Administración, Operación y Mantenimiento de las soluciones fotovoltaicas implementadas. Este servicio podrá ser desarrollado hasta por cuatro meses una vez finalizada la implementación (19-03-2021) y se aplicará lo conceptuado en la resolución de la CREG aplicable a las Zonas no Interconectadas para la energía eléctrica.

5. Una vez realizadas las capacitaciones, se deberán presentar los registros de las mismas a cada usuario residencial y a cada establecimiento, así como a las organizaciones comunitarias o institucionales donde se verifique suficientemente que el personal capacitado cuenta con la información requerida para operar a satisfacción cada sistema. Para el caso de las instituciones diferentes a viviendas, se incluirá un manual de operación donde se detalle paso a paso el procedimiento para: Arranque del sistema, identificación de posibles fallas, inspecciones rutinarias que se deban efectuar para verificar el correcto funcionamiento, esquema general de sistema y descripción de funcionamiento. Para tal fin, deberá suscribirse en acta firmada por el usuario receptor de la capacitación. Para cada comunidad e institución, se capacitarán por lo menos dos personas adultas previamente seleccionadas por el contratista en coordinación con los lideres de las comunidades.

6. La implementación del esquema de sostenibilidad puede incluir medición o sistemas de monitorización que parta de lo dispuesto en la viabilidad técnica emitida por el IPSE para el proyecto y/o se mejore o reformule, teniendo en cuenta el perfil socioeconómico de los usuarios beneficiarios de las soluciones fotovoltaicas, la tecnología que aplique a la zona, entre otros.

7. Es de obligatoriedad la socialización del proyecto y del sistema de medición antes de la implementación , el levantamiento de actas que indiquen el conocimiento informado y la aceptación del usuario, así como la estructuración de un esquema comunitario para la comercialización y AOM y/o la vinculación a una empresa de servicios publico u OR que se encargue de dichas actividades.

D. Administración, Operación y Mantenimiento

El mantenimiento que se le debe hacer a los sistemas solares fotovoltaicos consta de dos modalidades: Preventivo y Correctivo.

1) ***Mantenimiento Preventivo*** se debe hacer al menos una vez al año, y consta de actividades encaminadas a la limpieza general de todos los elementos del sistema, verificación del estado de conexiones, entre otros aspectos.

- Paneles solares fotovoltaicos:

Por su propia configuración carente de partes móviles, los paneles fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento, al mismo tiempo el control de calidad de los fabricantes es general y rara vez presenta problemas. Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos. Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada.

- Estructura soporte de los paneles:

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses

2) ***Mantenimiento Correctivo*** Este plan de mantenimiento se aplicará únicamente cuando por circunstancias sobrevenidas, debidas a averías en la instalación, sea necesario subsanar el defecto de la misma. Las labores de mantenimiento correctivo serán delegadas en una empresa externa, especialista en el sector, encargada de realizar todas las reparaciones pertinentes así como suministrar los repuestos necesarios.

VIII. Conclusiones

1. Con el desarrollo de esta investigación se pudo concluir que el proyecto soportado por el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 contribuirá a ampliar la cobertura del servicio de energía eléctrica del departamento del Guainía, y a plantear la energía Solar Fotovoltaica como una alternativa viable para dar solución a la cobertura del servicio en Zonas No Interconectadas ZNI, especialmente a viviendas rurales dispersas o comunidades indígenas.

2. De acuerdo con la problemática identificada en el estudio previo para la suscripción de contratos interadministrativos con el fin de servir de soluciones energéticas en Zonas no Interconectadas, que es el limitado acceso al servicio de energía eléctrica en zonas rurales de los municipios aislados del país, la implementación de este tipo de proyectos de energización de zonas aisladas mediante tecnología fotovoltaica logrará mejorar la calidad de vida de las personas dando uso de la energía eléctrica para lograr satisfacer las diferentes necesidades, como iluminación, refrigeración, adecuación de ambiente y conectividad entre otros aspectos.

3. En la construcción de proyectos pertenecientes al sector energético mediante contratos interadministrativos, se debe tener en cuenta los lineamientos establecidos por el Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas, dada su condición de líder del sector. Las entidades territoriales cuentan con diversas fuentes de financiación como el Presupuesto General de la Nación (PGN), el Sistema General de Regalías (SGR), el Sistema General de Participaciones (SGP), el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y Rentas Propias. Todas estas fuentes deben ser consultadas, identificando los recursos que pueden financiar el proyecto y los requisitos a cumplir para tener acceso a cada una de ellas. De acuerdo con la fuente o fuentes de financiación con la cual se vaya a financiar el proyecto, es indispensable en la etapa de formulación y estructuración

consultar la normatividad aplicable para que los proyectos sean susceptibles de financiación, cumpliendo las normas que los rijan.

4. En relación con el seguimiento, se deben considerar recursos que permitan realizar un Sistema de Información Geográfica, para el seguimiento a los indicadores de resultado del proyecto. Básicamente, la administración, operación hogares y comunidades para establecer sus necesidades energéticas básicas.

5. Durante la ejecución del proyecto después de ser entregado por el Ministerio de minas y energía , GENSA , IPSE y EMELCE las soluciones energéticas basadas en tecnología solar fotovoltaica en cada localidad ZNI del Departamento del Guainía se debe verificar que se cumplan con los parámetros técnicos establecidos en los anexos técnicos del estudio previo del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017. El mantenimiento se debe realizar con recursos obtenidos de una tarifa mensual que se obtenga por el servicio de energía solar o de los equipos instalados por el Gobierno Nacional entregados a la población beneficiada, y con los cuales se pueda cubrir los siguientes costos una vez el sistema sea entregado a cada uno de los usuarios:
   a) Mantenimiento y limpieza mensual, según la frecuencia recomendada según ficha técnica del panel solar.
   b) Mantenimiento y limpieza de los equipos como son inversor, regulador, gabinete y banco de baterías.
   c) Revisión del funcionamiento de los equipos que son de carácter de préstamo a cada uno de los usuarios, con el fin de llevar una bitácora de las novedades sucedidas a cada uno de los sistemas y sus correspondientes usuarios.

IX. Referencias

[1] Á. Velasco Muñoz and Ó. S. Calvache, “Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia,” *Repos. Inst. USC*, pp. 1–16, 2019.

[2] J. Gómez, J. D. Murcia, and I. Cabeza, “La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas,” *Univ. St. Tomás*, p. 19, 2017.

[3] M. de M. y E. Departamento Nacional de Planeación, “Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas,” *DNP*, pp. 1–51, 2020.

[4] Ministerio de Minas y Energía, “Ley 1715 de 2014 - Regulación de la integración de las energías renovables no convencioanles al sistema energético nacional,” *MME*, no. May, p. 2014, 2014.

[5] Congreso de la República, “Ley 80 de 1993 ‘Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública,’” *Gac. del Congr. Colomb.*, vol. 1993, no. octubre 28, pp. 1–34, 1993.

[6] Ministerio de Minas y Energía, “Ley Eléctrica - Ley 143 de 1994,” vol. 1994, no. 41, p. 347, 2002.

[7] Departamento Nacional de Planeación, “Plan Nacional de Desarrollo 2018-2020: Pacto por Colombia, Pacto por la equidad - Tomo I,” *Plan Nac. Desarro. 2018-2020*, vol. I, pp. 1397–1407, 2018.

[8] U. Nations, “United Nations Framework Convention,” vol. 62220, 1992.

[9] R. de Colombia, “Resolucion 41286 de 2016 PROURE.” pp. 1–7, 2016.

[10] Ministerio de Minas y Energía, “Decreto 1623 de 2015 Ministero de Minas y Enrgía,” *D. Of.*, vol. 13, no. 3, pp. 1576–1580, 2015.

[11] Congreso de Colombia, “Ley 633 de 2000,” vol. 2000, no. Diciembre 29, pp. 1–75, 2000.

[12] MINMINAS, “Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 - IPSE 110 de 2017.” p. 26, 2017.

[13] E. Ministerio de Minas y Energía, GENSA, IPSE, “Estudio previo para suscribir contratos interadministrativos IPSE - CO - F40.” Diario Oficial, p. 20, 2017.

[14] Tintiando, “GENSA ENTREGÓ CENTRALES DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL GUAINÍA,” *28 de mayo de 2021*, 2021. [Online]. Available: https://www.tintiando.com/2021/05/28/gensa-entrego-centrales-de-generacion-fotovoltaica-en-el-guainia/.

Evaluación de Eficiencia En La Generación de Energía De Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas Implementadas En Cinco Localidades ZNI Del Departamento Del Guainía

Bello Torres Astrid Jessenia, ajbellot@correo.udistrital.edu.co Coautores IPSE: Jairo Valencia Ll.

Abstract— This article shows the evaluation of the efficiency of energy generation in SSFH hybrid photovoltaic solar solutions implemented as energy systems in non-interconnected areas by the Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Areas - IPSE through the inter-administrative contract FAZNI GGC 616 OF 2017, the evaluation of the efficiency of the components of the hybrid photovoltaic solar solutions involved in the generation of electricity, implemented in the towns of Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo and Remanso in the department of Guainía, Non-Interconnected Zones in Colombia, in order to publicize the energy solutions proposed in the department of Guainía with the active participation of the Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Zones - IPSE.

***Keywords*— Solar Photovoltaic, Hybrid, Localities, Non-Interconnected Zones.**

***Resumen*— El presente artículo muestra la evaluación de la eficiencia en la generación de energía en soluciones solares fotovoltaicas híbridas SSFH implementadas como sistemas energéticos en zonas no interconectadas por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE mediante el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 DE 2017, la evaluación de la eficiencia de los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas involucrados en la generación de energía eléctrica, implementados en las localidades de Chorrobocon , Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo y Remanso del departamento del Guainía, Zonas No Interconectadas en Colombia, con el fin de dar a conocer las soluciones energéticas propuestas en el departamento del Guainía con la participación activa del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas- IPSE.**

***Palabras Clave*— Solar Fotovoltaico, Hibrido, Localidades, Zonas No Interconectadas.**

I. Introducción

La innovación de energías no convencionales o energías renovables para formar sistemas híbridos (Diesel – fotovoltaico) supone una opción cada vez más atractiva para reducir la dependencia en combustibles fósiles. Esto debido a la proyección geográfica de los sistemas solares híbridos, como por ofrecer un servicio casi ininterrumpido de energía [1]. Debido a esto en los últimos años el Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas – IPSE ha desarrollado proyectos de energización en zonas no interconectadas – ZNI o zonas aisladas del país, estas soluciones son conocidas como soluciones solares fotovoltaicos híbridos- SSFH conformadas principalmente por paneles solares, bancos de baterías, equipos de conversión y plantas o grupos electrógenos Diesel, este artículo se enfoca principalmente en la evaluación de eficiencia en la generación de energía de los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas híbridas implementadas en las localidades ZNI del departamento del Guainía y materializadas gracias al instrumento - contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 DE 2017 "*Construcción, instalación e implementación de soluciones de energía renovable y sostenible consistente en un sistema de generación de electricidad solar fotovoltaico (SFV) centralizado para las localidades de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo ubicada en las zonas no interconectadas del departamento del Guainía*".

Las Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas -SSFH son sistemas compuestos por tecnología fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica, en Colombia en los últimos años se ha implementado en zonas no interconectas o zonas aisladas del país como una solución energética, los grupos electrógenos Diesel también se aplican ampliamente en instalaciones aisladas o ZNI y se pueden hibridar con módulos fotovoltaicos (FV) [2]. Debido a esto un sistema solar fotovoltaico hibrido es considerado un sistema eficiente capaz de reducir el consumo de combustibles fósiles como las emisiones de CO^2 .

La implementación de soluciones solares fotovoltaicas híbridos –SSFH como sistemas energéticos en las localidades ZNI Chorrobocon, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo, Caranacoa y Remanso en el departamento del Guainía se origina gracias a que en estas localidades se cuenta con una planta o grupo electrógeno Diesel con algunos años de operación capaz de suministrar electricidad durante un reducido número de horas al día, en muchos casos con un elevado consumo de combustible fósil y algunos problemas de pérdidas de energía y fiabilidad. Al realizar una conexión en paralelo de un generador renovable (panel solar fotovoltaico) con un grupo electrógeno Diesel conlleva a ampliar el número de horas de suministro del servicio de energía eléctrica y/o el ahorro en el consumo de combustible. Desde el punto de vista económico ha aumentado el interés en soluciones de repotenciación de generadores Diesel debido a los altos costos actuales de los combustibles en el mundo[3].

Articulo de Investigación Fecha de entrega 13 de octubre de 2021. Este documento fue realizado por estudiantes activos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la supervisión y acompañamiento del Docente Andrés Escobar Díaz director Semillero de investigación Barión de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bello Torres Astrid Jessenia. Cód. 20152007046 Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, (ajbellot@correo.udistrital.edu.co) y profesionales IPSE.

II. Soluciones Solares Fotovoltaicas Híbridas En El Guainía y Su Clasificación Político Administrativa

El Ministerio de Minas y Energía- MME en una tipificación orientada a las horas de prestación de energía y a la máxima energía subsidiable, a través de la Resolución 182138 de 2007 clasificó las localidades ZNI en 4 tipos así: a) Localidades Tipo 4, comprenden poblaciones entre 0 y 50 usuarios y consumo subsidiado de 4 horas. b) Localidades Tipo 3 comprenden poblaciones entre 51 y 150 usuarios y consumo subsidiado de 5 horas. b) Localidades Tipo 2 comprenden poblaciones entre 151 y 300 usuarios y consumo subsidiado de 8 horas y por ultimo las zonas que cuentan con el servicio de energía eléctrica las 24 horas del día conocidas como localidades Tipo 1 [4].

En contexto con la clasificación anteriormente descrita, las localidades ZNI objeto de estudio en el presente artículo, antes de la implementación de los sistemas híbridos contaban con servicio de energía eléctrica entre 4 y 8 horas diarias las cuales eran suministradas por la capacidad energética del generador Diésel, ahora a partir de la implementación de la nueva central de generación híbrida con módulos FV y subsistema de almacenamiento de energía con baterías, se logró que los 624 usuarios de las localidades Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo dispusieran de un servicio de energía de mayor confiabilidad. En la Fig.1 se presenta la ubicación geográfica de las SSFH implementadas en el departamento del Guainía localidades ZNI objeto de estudio, usuarios beneficiados, tipo de localidad, capacidad total instalada Diesel y renovable [5].

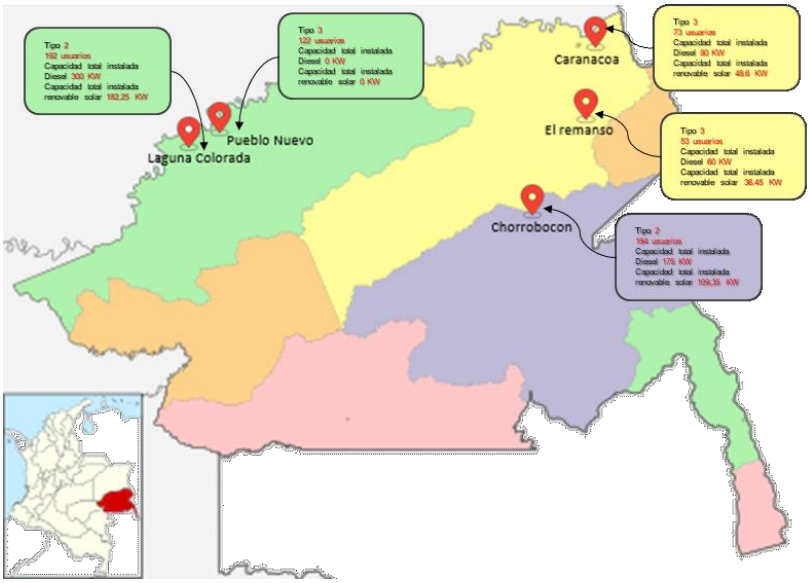


Fig. 1 Distribución geográfica SSFH en el Departamento del Guainía , Fuente: Elaboración propia

Las SSFH implementados en las cinco localidades ZNI representan 615 kW de capacidad total instalada Diesel y 376,6 kW de capacidad total instalada solar fotovoltaica.

III. Componentes Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas

Las soluciones energéticas solares fotovoltaicas híbridas están conformadas principalmente por paneles solares, bancos de baterías, equipo de conversión y grupos electrógenos Diesel. A continuación se realiza una breve descripción de los principales componentes de las SSFH implementadas por el IPSE en las cinco localidades ZNI.

1) Remanso

LOCALIDAD REMANSO		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	36450 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	57600 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	120 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	30 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 75 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz.	Stand by 60 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

Tabla 1. Componentes SSFH Localidad Remanso, Fuente: Autores

2) Chorrobocon

LOCALIDAD CHORROBOCON		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	109350 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	172800 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	90 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	90 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 218.75 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 175 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

Tabla 2. Componentes SSFH Localidad Chorrobocon, Fuente: Autores

3) Pueblo Nuevo

LOCALIDAD PUEBLO NUEVO		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino de 270 Wp	182250 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	288000 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 375 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz,	Stand by 300 KW

	incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	2000 galones

Tabla 3. Componentes SSFH Localidad Pueblo Nuevo, Fuente: Autores

4) Laguna Colorada

LOCALIDAD LAGUNA COLORADA		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	182250 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	288000 Ah – 2V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
4	Inversor bidireccional cargador de batería, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	150 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 375 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 300 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	2000 galones

Tabla 4. Componentes SSFH Localidad Laguna Colorada, Fuente:

5) Caranacoa

LOCALIDAD CARANACOA		
Ítem	**Sistema solar fotovoltaico centralizado aislado**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Panel solar fotovoltaico policristalino	48600 Wp
2	Batería estacionaria tipo OPzV en Gel	86400 Ah - 2 V
3	Inversor enlazado a red, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	60 KW
4	Inversor bidireccional cargador de baterías, 48 VDC / 120 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD	45 KW
Ítem	**Grupo Electrógeno Diésel de respaldo**	**CAPACIDAD TOTAL INSTALADA**
1	Grupo electrógeno Diesel (cosØ=0.8), 100 KVA, 3Ø, 3x120 / 208 V, 1800 RPM, 60 Hz, incluyendo cabina insonora, tanque con autonomía de 8 horas, arranque automático y cargador de batería	Stand by 80 KW
2	Tanque de almacenamiento de combustible diésel en fibra de vidrio	1000 galones

Tabla 5. Componentes SSFH Localidad Caranacoa, Fuente: Autores

IV. Evaluación Eficiencia

La evaluación de la eficiencia de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas se contextualizó en los siguientes componentes: paneles solares , inversores , baterías y grupos electrógenos Diésel, inicialmente se describen las características técnicas según ficha técnica, para el caso de los módulos solares fotovoltaicos, se compara la eficiencia teórica con la eficiencia real según datos de radiación solar promedio en la zona de influencia del proyecto, se revisa la eficiencia de las baterías e inversores y por último se analiza la eficiencia teórica del grupo electrógeno Diesel.

A. Paneles solares

Los paneles solares policristalinos implementados en las SSFH de las cinco localidades ZNI bajo la referencia RSM60-6-260P-280P/5BB cuyo fabricante es RISEN, se conforman de 60 celdas policristalinas y con las siguientes características: potencia (270 Wp), eficiencia (16.50%), temperatura de operación (-40°C +85°C), máximo voltaje del sistema (1500 VDC) tensión en punto máximo potencia (31.20 V) , corriente en el punto máximo de potencia (8.66 A), voltaje en circuito abierto de (35.5 V) y corriente de corto circuito (7.44 A) según datos obtenidos del fabricante en su ficha técnica [6].

Para evaluar la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos implementados, se utilizaron dos métodos, primero el Método de Conversión de energía y segundo el Método de Factor de forma, en ambos casos es indispensable conocer el punto de máxima potencia (Pmp). Como se observa en la Fig .2. el Pmp corresponde a la magnitud de potencia limite que se obtiene cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos de forma simultánea [7].

Este valor se determina de acuerdo a la ecuación (1).

$$Pmp = Vmp\ x\ Imp \quad (1)$$

$$Pmp = 31.20V * 8.66\ A = 270.192\ W \quad (2)$$

Donde:

Pmp: Punto de potencia máxima
Vmp: Voltaje de máxima potencia
Imp: Corriente de máxima potencia

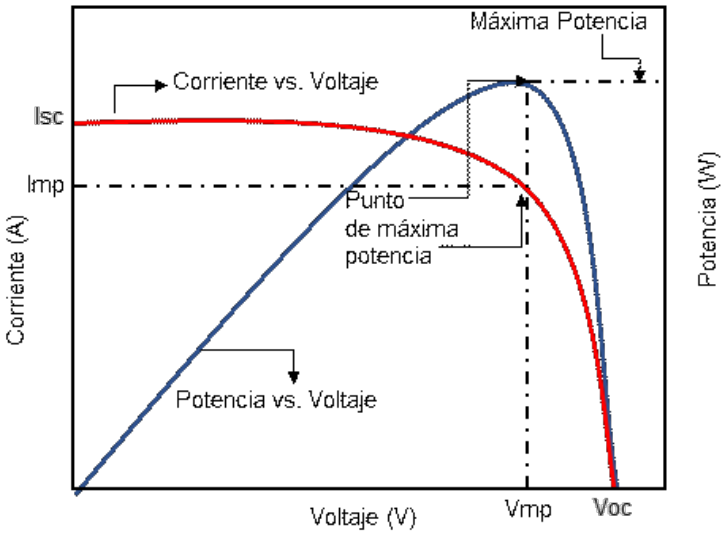


Fig. 2 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V, Fuente: Elaboración propia

En la Fig.2. se observa la curva de producto I-V para una irradiancia determinada.

1) Método de Eficiencia en la conversión de Energía

Como referencia de los módulos de captación solar, la eficiencia en la conversión de energía es definida como el porcentaje de energía eléctrica generado en relación a la cantidad de energía

luminosa recibida desde el sol cuando el panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico [8]. Con utilización de la ecuación (3) se calculó la eficiencia teórica soportada en los datos del fabricante en su ficha técnica y seguidamente se calculó la eficiencia real apoyados en valores de irradiación solar en el sitio de instalación del campo solar fotovoltaico.

$$\eta = \frac{Pmp}{E\ x\ Ac} \quad (3)$$

$$\eta_T = \frac{270.192\ W}{1000\ \left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right) * (1.65m * 0.992\ m)} = 16.50\% \quad (4)$$

Donde:

E: Nivel de radiación sobre la superficie del panel (W/m^2), bajo condiciones estándar.
Ac: Superficie del panel fotovoltaico (m^2)
η_T: Eficiencia teórica, según valores ficha técnica del fabricante
η_R : Eficiencia real, según valores reales de irradiación en el departamento del Guainía

Para la evaluación de la eficiencia real en sitio se tomó como base la Irradiación promedio del departamento del Guainía apoyados en el software de simulación fotovoltaico PVsyst como se observa en la Fig.3. , se geolocalizo bajo coordenadas geográficas (3.8653°, -67.9239°) el municipio de Inírida y se obtuvieron los resultados de irradiación promedio bajo bases de datos de importación meteorológica de la NASA.

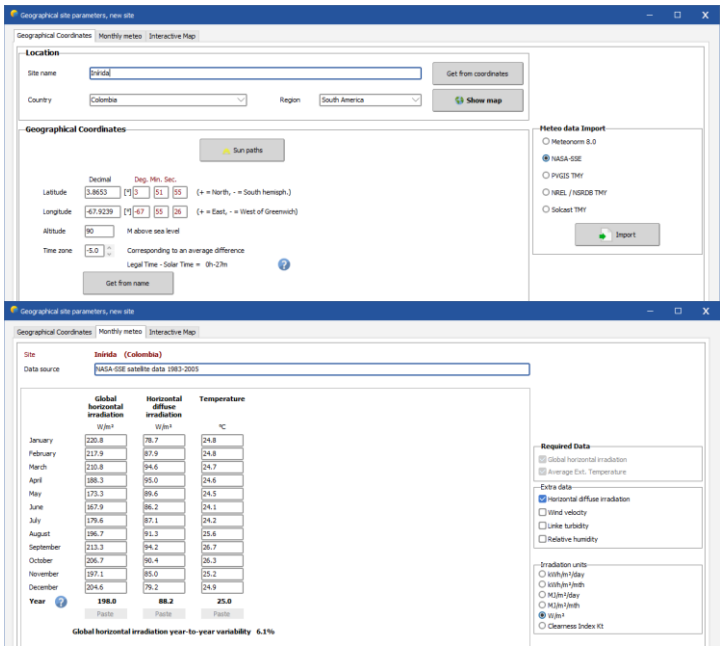


Fig. 3 Irradiancia promedio municipio de Inírida – software de simulación fotovoltaico PVsyst Fuente: PVsyst 7.2.8.

Los resultados obtenidos en el software PVsyst determinaron una irradiación promedio de 198 $W/\ m^2$. La ecuación (5) permitió el calculó del punto máximo de potencia de acuerdo a los valores de irradiación del departamento apoyados en la Fig.4.

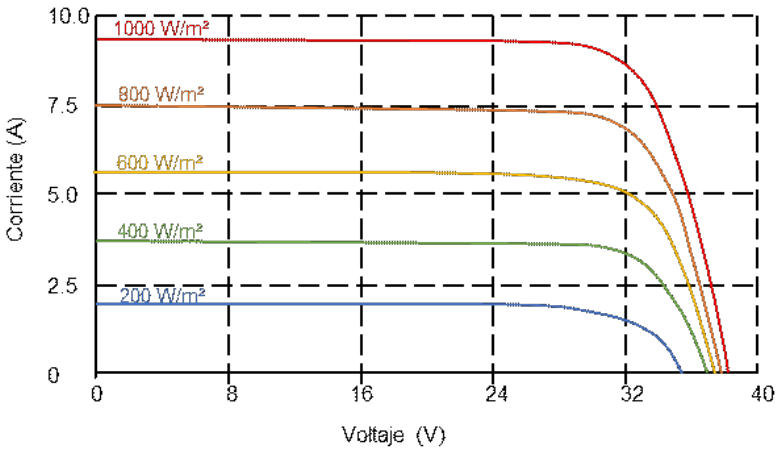


Fig. 4 Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V para diferentes valores de irradiación ficha técnica del fabricante, Fuente: Tomado y adaptado [6].

Seguidamente se relacionan los valores de Vmp e Imp según la irradiación del departamento para finalmente determinar la eficiencia en la conversión de la energía. Este valor se establece de acuerdo a la ecuación (6).

$$Pmp = 32.2\ V * 1.66\ A = 53.47\ W \quad (5)$$

$$\eta_R = \frac{53.47\ W}{198\ \left(\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right) * (1.65m * 0.992\ m)} = 16.49\% \quad (6)$$

Lo anterior evidencia igualdad de resultados tanto para el cálculo de eficiencia teórico como para el caso práctico

2) Método de eficiencia según Factor de forma

La eficiencia teórica de un panel solar según el factor de forma, se define como la relación en el punto de máxima potencia, dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto y la corriente de cortocircuito [8]. Como se muestra en la ecuación (7). Para realizar la evaluación de la eficiencia aplicando el factor de forma, se calculó la eficiencia teórica apoyados en los datos del fabricante en su ficha técnica y luego se calculó la eficiencia real en sitio apoyados en valores de irradiación en sitio de instalación del panel solar fotovoltaico.

$$\eta = \frac{Pmp}{Voc\ x\ Isc} \quad (7)$$

$$\eta_T = \frac{270.192\ W}{35.5\ V * 7.44\ A} = 1.023 \approx 100\% \quad (8)$$

Donde:

Voc: Voltaje a circuito abierto
Isc: Corriente de cortocircuito
η_T: Eficiencia teórica, según valores ficha técnica
η_R : Eficiencia real, según valores reales de irradiación en el Guainía

Para el cálculo de la eficiencia real del factor de forma en sitio se apoya en la curva de productos corriente – voltaje para diferentes valores de irradiación según los datos del fabricante de la Fig.3. esto permite calcular los valores de Isc y Voc para la potencia calculada en la ecuación (5) Pmp del departamento del Guainía.

En la ecuación (9) se presenta la eficiencia real del factor de forma evaluada en el sitio de instalación de los SSFH. Indicando esto la máxima es un parámetro que, en conjunto con Voc y Isc, determina la potencia máxima de una célula solar teniendo en cuenta su eficiencia

$$\eta_R = \frac{53.47\ W}{35.9\ V * 1.9\ A} = 0.78 \approx 78.39\% \qquad (9)$$

a) Eficiencia de Células Policristalinas

Las células que componen los paneles solares fotovoltaicos son muy importantes, dependiendo de su tipo y características estructurales, así como de su eficiencia, se utilizan tres tipos de células: (i) monocristalinas, (ii) policristalinas y (iii) amorfas. Las células policristalinas utilizadas en los paneles solares fotovoltaicos implementados en SSFH en la región ZNI de las localidades ZNI del departamento del Guainía están fabricadas con materiales de silicio similares a los monocristales, excepto que no se cultivan en monocristales, sino que se funden y se vierten. Esto forma bloques cuadrados que se pueden cortar en obleas cuadradas. A medida que el material se enfría, cristaliza de manera imperfecta, formando tonalidades de diferentes colores en su superficie. Las células policristalinas con iguales dimensiones y condiciones alcanzan un rendimiento de hasta el 12% [10].

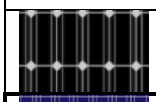
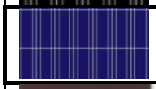
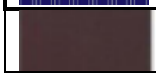
Tipo de Célula usada en paneles solares fotovoltaicos		Eficiencia Mediada en Laboratorio	Eficiencia Directa
	Monocristalina	24%	14-17%
	Policristalina	19-20%	11-14%
	Amorfas	16%	<10%

Tabla 6. Eficiencia células monocristalinas, policristalinas y amorfas, Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6. se presentan dos tipos de eficiencia, en laboratorio y directa o de uso. La eficiencia en laboratorio es mucho mayor debido a que al estudiar las células se hace bajo condiciones estándar esto quiere decir: irradiación de 1000 $W/\ m^2$, distribución espectral de 1.5 AM y temperatura de la célula 25°C. Las células de eficiencia directa o de uso, se estudian bajo condiciones ambientales normales donde se puede presentar una baja irradiación, temperaturas mayores a 25°C de la célula, esto afecta directamente su eficiencia. De este estudio se obtuvo como resultados que las células policristalinas poseen una eficiencia en laboratorio del 19-20% y una eficiencia directa del 11-14% [7].

B. Inversor Enlazado a la Red

Un inversor de corriente o convertidor es el equipo eléctrico que se encarga de convertir la corriente continua (CC) procedente de los paneles solares o de las baterías de la instalación fotovoltaica, en corriente alterna (CA) que es la que utilizan los equipos finales para su correcto funcionamiento, Los inversores implementados en cada una de las cinco localidades poseen las siguientes características: Enlazado a la red de 10 KW, control MPPT, 300 - 480 VDC / 208 VAC, 60 Hz, onda senoidal pura, con display LCD. El cálculo de su eficiencia se apoya en la curva característica del inversor implementado en los SSFH de las localidades ZNI objeto de estudio según ficha técnica de fabricante [9].

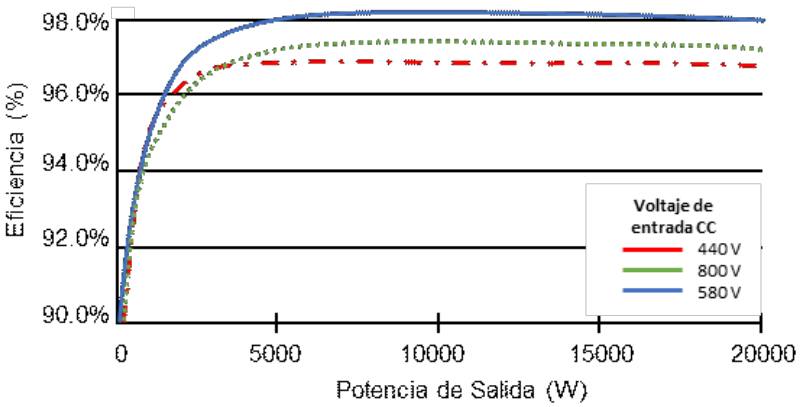


Fig. 5 Curva de eficiencia para un inversor Sunny Tripower 5000TL – 12000TL, Fuente: Tomado y adaptado [9].

La Fig.5. presenta la curva de eficiencia para un inversor Sunny Tripower 5000TL – 12000TL cuyo fabricante es SMA , según ficha técnica del fabricante, se puede observar que la eficiencia del inversor utilizado en las soluciones solares fotovoltaicas híbridas implementados en las cinco localidades del departamento del Guainía equivale en su punto de máxima eficiencia 97,6% para un voltaje de entrada de 440 VDC (10 KW).

C. Inversor Bidireccional

Los cargadores de inversor o inversores bidireccionales convierten la corriente en dos direcciones: de batería a corriente alterna y de corriente alterna a batería. Tienen entrada AC y pueden cargar la batería desde la red pública o mediante un generador. Junto con los inversores solares (en sustitución de los reguladores de carga), proporcionan una gran flexibilidad de instalación porque se pueden utilizar para cargar baterías con corriente alterna proporcionada por inversores solares, que a su vez pueden entregar energía de las baterías a la misma red de corriente alterna [10].

Apoyados en la ficha técnica de fabricante se conocen las siguientes características técnicas: potencia nominal (5000 W), tipo de entrada forma de onda sinusoidal , voltaje nominal de entrada (120 VAC), frecuencia (60 Hz), rango PV entrada (120 VDC para 48V), max. PV voltaje circuito abierto (48 V para 120 VAC), modo de cargador MPPT y voltaje nominal de la batería (48 V). La eficiencia medida bajo pruebas y estándares eléctricos de fabricante tuvo como resultados un (>95%), se discrimina la eficiencia en dos clases : (i) Eficiencia modo batería (>92%), (ii) Eficiencia modo de línea (>98%) [11].

.

D. Baterías

Una batería estacionaria, también llamada batería solar, es una batería compuesta por elementos de 2 voltios conectados en serie hasta que alcanza la tensión de funcionamiento requerida por la instalación solar. De esta forma, la batería estacionaria de 12V está compuesta por 6 componentes de 2V conectados en serie, y la batería estacionaria de 24V está compuesta por 12 de estos componentes. El elemento de 2 voltios, también conocido como pilas o vasos, puede tener una capacidad desde 200Ah hasta más de 4000Ah, lo que permite la configuración de una batería solar con el voltaje requerido y suficiente capacidad acumulativa para cualquier aplicación [12].

Las baterías estacionarias están diseñadas para aplicaciones estacionarias, es decir, no necesitan ser movidas, y son adecuadas para aplicaciones con consumo medio a alto, uso continuo y picos de corriente medianos. Por tanto, son ideales para aplicaciones solares fotovoltaicas [12].

Apoyados en la ficha técnica de fabricante se conoce las siguientes características técnicas: voltaje por unidad (2V por célula), capacidad (1200 Ah), máxima corriente de descarga (4000 A -5s), resistencia interna (0.25 mΩ), numero de celdas (6), capacidad nominal (1200 Ah), máxima corriente de carga (2A), máxima corriente de carga (240 A), rango óptimo de temperatura de operación (25°C ± 5°C) [13]. La Fig.6. presenta la curva de numero de ciclos vs capacidad de una batería estacionaria tipo gel 1200 Ah – 2V implementada en los SSFH de las localidades ZNI objeto de estudio.

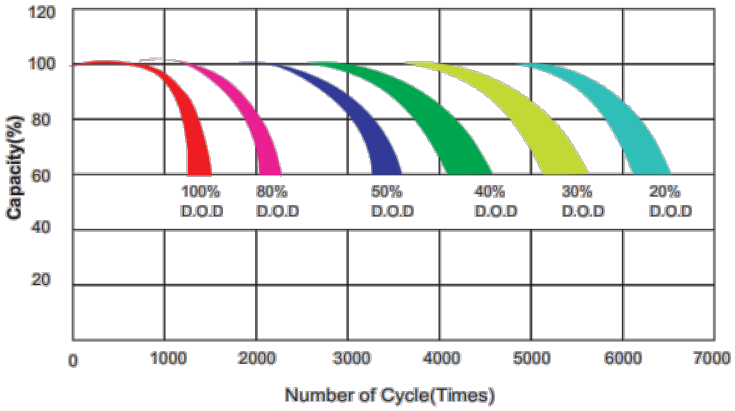


Fig. 6 Curva de numero de ciclos vs capacidad de las baterías estacionarias, Fuente: Tomado [13].

E. Grupo Electrógeno Diesel

El grupo electrógeno para generar energía utiliza combustible, el combustible se quema mediante la rotación del motor diésel y la rotación del motor se convierte en energía eléctrica mediante el alternador, los generadores diésel se pueden definir como dispositivos que utilizan energía mecánica para generar corriente eléctrica de forma continua. Estos generadores son muy adecuados para alimentar completamente equipos o instalaciones y pueden funcionar durante largos períodos de tiempo [14].

Los grupos electrógenos pueden ser de diferentes tipos en el caso de estudio de los SSFH son generadores Diesel insonorizados, los generadores Diesel insonorizados están equipados con una cubierta adicional para reducir el ruido resultante [14]. Para el cálculo de la eficiencia del grupo electrógeno se evalúan los datos según ficha técnica del fabricante para las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía.

1) Remanso

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 60 kW – 75 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y-\Delta$).

1. El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (10)$$

$$\eta = \frac{75\ kVA * 0.8}{75\ kVA} = 80\% \quad (11)$$

2) Chorrobocon

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 175 kW – 218.75 kVA .

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{218.75\ kVA * 0.8}{218.75\ kVA} = 80\% \quad (13)$$

3) Pueblo Nuevo

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 300 kW – 375 kVA.

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (14)$$

$$\eta = \frac{375\ kVA * 0.8}{375\ kVA} = 80\% \quad (15)$$

4) Laguna Colorada

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 300 kW – 375 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y-\Delta$).

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{375\ kVA * 0.8}{375\ kVA} = 80\% \quad (17)$$

5) Caranacoa

El grupo electrógeno Diesel de esta localidad es de 80 kW – 100 kVA el cálculo de su eficiencia η teórica en placa dependerá de la conexión a la carga (conexión en $Y-\Delta$).

- El generador se encuentra conectado en Y

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P * \cos\theta}{P} \quad (18)$$

$$\eta = \frac{100\ kVA * 0.8}{100\ kVA} = 80\% \quad (19)$$

La evaluación de la eficiencia de generación del grupo electrógeno Diesel se observa en la Fig.7. Apoyados en el estudio del comportamiento del grupo electrógeno a diferentes potencias se evalúa su eficiencia tomando como referencia el fabricante del grupo electrógeno Cummins Diesel operando a una velocidad de

1800 rpm, recién salido de fábrica, el estudio del grupo electrógeno consistió en evaluar el punto de máximo rendimiento sometiendo a ensayos de laboratorio, el equipo opera en cuatro niveles de carga diferentes (25%, 50%, 75% y 100%) de potencia eléctrica y se esperaba hasta llegar a un estado estable [15]. Esta investigación sirve como base para comprender los grupos electrógenos del fabricante que funcionan en condiciones normales de operación.

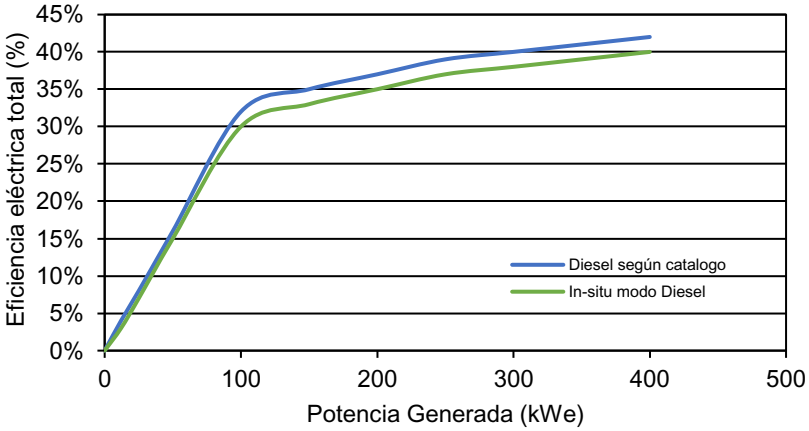


Fig. 7. Eficiencia eléctrica total en función de la potencia eléctrica generada según catálogo, Fuente: Tomado y adaptado [15].

Apoyados en la ficha técnica del fabricante se describen las características técnicas del grupo electrógeno Diesel Cummins instalado en la localidad de Caranacoa: modelo (4BTA3.9-G11), potencia en modo stand by (80 kW -107 HP), revoluciones por minuto (1500-1800) y consumo de combustible en modo stand by (24 L/h) [16].

V. Resultados

El panel solar fotovoltaico implementado en las soluciones hibridas de las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía, obtuvo resultados de eficiencia teóricos determinados de los datos del fabricante del panel solar policristalino de 270 Wp en condiciones estándar expresados en la ecuación (4) y los resultados evaluando la eficiencia en la generación de energía en el lugar de instalación en este artículo se evalúo geográficamente el departamento del Guaina como se expresa en la ecuación (6). En la Tabla 7. se obtiene la eficiencia de generación de energía eléctrica del panel solar policristalino implementado en las localidades ZNI del departamento del Guaina.

Eficiencia panel solar teórica en condiciones estándar	Eficiencia panel solar experimental Guainía
16.50 %	16.49%

Tabla 7. Evaluación de eficiencia panel solar fotovoltaico policristalino, Fuente: Autor

La evaluación de eficiencia en la generación de energía eléctrica de las células policristalinas las cuales cada panel solar se compone de 60 celdas, obtuvo como resultado una eficiencia directa o de uso entre el 11-14%.

La evaluación de eficiencia del inversor de corriente componente de los SSFH implementados en las localidades ZNI del departamento del Guainía o convertidor de la corriente continua (CC) procedente de los paneles solares fotovoltaicos en corriente alterna (CA) , a través del análisis de la curva de eficiencia de un inversor comercial tuvo como resultado un valor de eficiencia en su punto de máximo correspondiente al 97,6% para una potencia de 10 kW con un voltaje de entrada de 440 VDC.

La eficiencia en sitio en la generación de energía eléctrica del Grupo electrógeno Diesel se presenta en la Tabla 8. donde se evalúa según la capacidad nominal de cada grupo electrógeno Diesel instalado en las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía componente de los SSFH, su eficiencia total en función de la potencia eléctrica como se presentó en la Fig.7.

Localidad	Eficiencia en sitio Grupo Electrógeno experimental
Remanso – 60 kW	17%
Caranacoa – 80 kW	25%
Chorro bocón – 175 kW	34%
Pueblo Nuevo – 300 kW	38%
Laguna Colorada – 300 kW	38%

Tabla 8. Porcentaje de error evaluación de eficiencia Grupo Electrógeno, Fuente: Autor

Adicional a los análisis presentados en el Grupo electrógeno Diesel se evalúo la eficiencia de consumo de combustible mediante la ficha técnica de los grupos electrógenos de cada localidad evaluados a diferentes porcentajes de carga de su potencia nominal.

En la Tabla 9. se evalúo las características de la Planta Diesel instalada en la localidad ZNI Remanso del departamento del Guainía, potencia nominal, carga a diversos porcentajes, cálculo de potencia de salida, consumo de combustible y cálculo de eficiencia de combustible de un grupo electrógeno Diesel con potencia “Stand by” 60 KW apoyado en su ficha técnica de fabricante [17].

Potencia Nominal KW	Carga	Potencia salida (KW)	Consumo de combustible (L/hr)	Eficiencia de combustible (KWh/L)
60	100%	60	16	3.75
	75%	45		2.8125
	50%	30		1.875
	25%	15		0.9375

Tabla 9. Cálculo de eficiencia de consumo de combustible grupo electrógeno Diesel con potencia “Stand by” 60 KW, Fuente: Elaboración propia

La Fig. 8. Exhibe el comportamiento de la eficiencia de combustible del grupo electrógeno de la localidad Remanso, potencia nominal 60 KW.

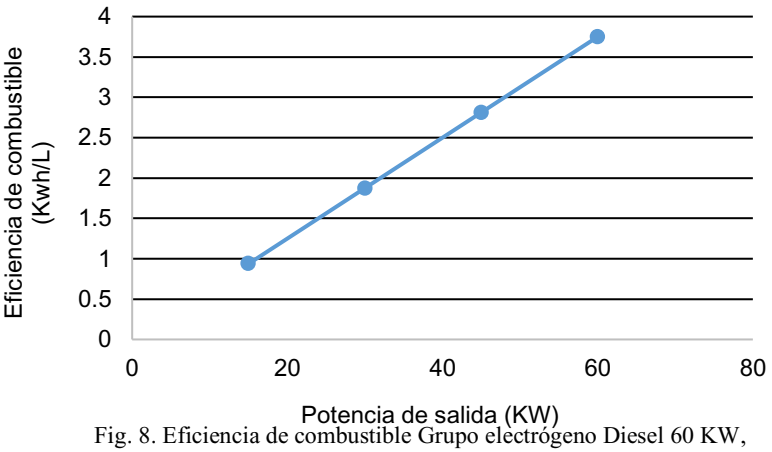


Fig. 8. Eficiencia de combustible Grupo electrógeno Diesel 60 KW, Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 10. evalúo las características de la Planta Diesel instalada en la localidad ZNI Caranacoa del departamento del Guainía, potencia nominal, carga a diversos porcentajes, cálculo de potencia de salida, consumo de combustible y cálculo de eficiencia de combustible de un grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 80 KW apoyado en su ficha técnica de fabricante [16].

Potencia Nominal KW	Carga	Potencia salida (KW)	Consumo de combustible (L/hr)	Eficiencia de combustible (KW/L)
80	100%	80	24	3.33333333
	75%	60		2.5
	50%	40		1.66666667
	25%	20		0.83333333

Tabla 10. Cálculo de eficiencia de consumo de combustible grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 80 KW, Fuente: Elaboración propia

La Fig. 9. Exhibe el comportamiento de la eficiencia de combustible del grupo electrógeno de la localidad Caranacoa, potencia nominal 80 KW.

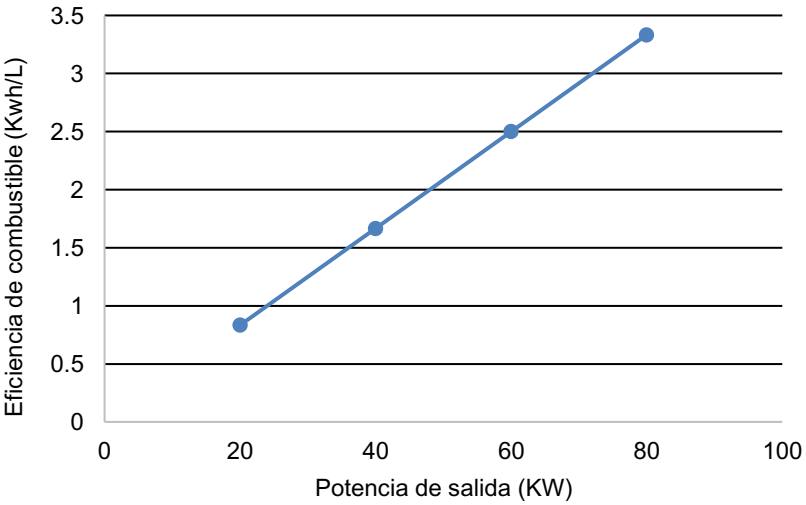


Fig. 9. Eficiencia de combustible Grupo electrógeno Diesel 80 KW, Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 11. evalúa las características de la Planta Diesel instalada en la localidad ZNI Chorrobocon del departamento del Guainía, potencia nominal, carga a diversos porcentajes, cálculo de potencia de salida, consumo de combustible y cálculo de eficiencia de combustible de un grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 175 KW apoyado en su ficha técnica de fabricante [18] .

Potencia Nominal KW	Carga	Potencia salida (KW)	Consumo de combustible (L/hr)	Eficiencia de combustible (KWh/L)
175	100%	175	45	3.88888889
	75%	131.25		2.91666667
	50%	87.5		1.94444444
	25%	43.75		0.97222222

Tabla 11. Cálculo de eficiencia de consumo de combustible grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 175 KW, Fuente: Elaboración propia

La Fig. 10. Exhibe el comportamiento de la eficiencia de combustible del grupo electrógeno de la localidad Chorrobocon , potencia nominal 175 KW.

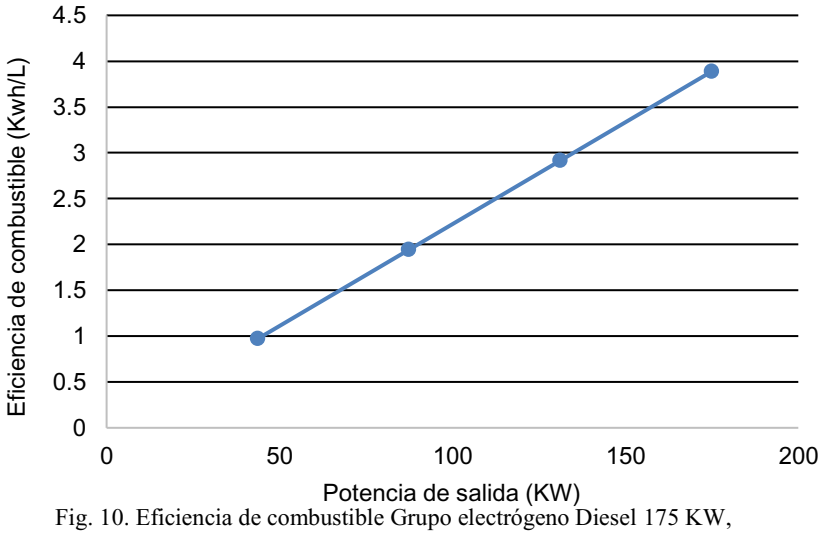


Fig. 10. Eficiencia de combustible Grupo electrógeno Diesel 175 KW, Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 12. evalúa las características de la Planta Diesel instalada en las localidades ZNI Pueblo Nuevo y Laguna Colorada del departamento del Guainía, potencia nominal, carga a diversos porcentajes, cálculo de potencia de salida, consumo de combustible y cálculo de eficiencia de combustible de un grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 300 KW apoyado en su ficha técnica de fabricante [19].

Potencia Nominal KW	Carga	Potencia salida (KW)	Consumo de combustible (L/hr)	Eficiencia de combustible (KWh/L)
300	100%	300	65	4.61538462
	75%	225		3.46153846
	50%	150		2.30769231
	25%	75		1.15384615

Tabla 12. Cálculo de eficiencia de consumo de combustible grupo electrógeno Diesel con potencia "Stand by" 300 KW, Fuente: Elaboración propia

La Fig. 11. Exhibe el comportamiento de la eficiencia de combustible del grupo electrógeno de las localidades Pueblo Nuevo y Laguna Colorada, potencia nominal 300 KW.

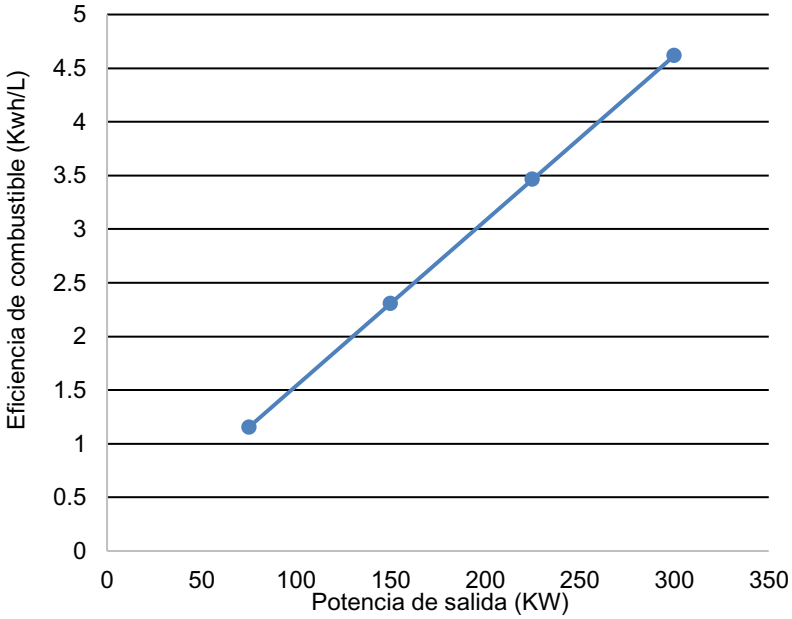


Fig. 11. Eficiencia de combustible Grupo electrógeno Diesel 300 KW, Fuente: Elaboración propia.

VI. Conclusiones

1. Se concluye que al evaluar la eficiencia del panel solar fotovoltaico en condiciones estándar con pruebas de laboratorio su eficiencia corresponde a la calculada en el sitio de instalación de las SSFH en las localidades ZNI del departamento del Guainía, dando un excelente indicio que se soporta con el cálculo de la eficiencia de su factor de forma.

2. El sistema fotovoltaico integrado afectará el funcionamiento del generador Diesel. Por lo tanto, cuando el generador está funcionando a una eficiencia superior al 35%, el generador es más eficiente en términos de consumo de combustible, y se debe considerar que la carga del generador en las soluciones solares fotovoltaicas híbridas de energía se reducirá.

3. El impacto en la vida útil del generador -basado en el tiempo de funcionamiento integrado con energía fotovoltaica produce una reducción en el tiempo de funcionamiento. De este modo se extiende la vida útil del grupo electrógeno.

4. La evaluación de la eficiencia teórica con la eficiencia experimental evaluada en la ubicación geográfica del caso de estudio soluciones hibridas implementadas en localidades ZNI del departamento del Guainía puede variar debido a factores geográficos y ambientales de las condiciones de funcionamiento de los paneles solares y del grupo electrógeno Diesel.

5. Este documento evaluó la eficiencia en la generación de energía eléctrica de los componentes de los SSFH involucrados en la generación de energía, con el fin de servir como herramienta de diseño y consulta para el dimensionamiento de soluciones solares fotovoltaicas híbridas.

6. En el desarrollo de esta investigación se concluye que los componentes de las soluciones solares fotovoltaicas híbridas a los cuales se evaluó la eficiencia en la generación de energía eléctrica, cumplen los rangos de eficiencia en sitio de instalación localidades ZNI del departamento del Guaina contrastados con la eficiencia teórica calculadas por los fabricantes de los componentes de los SSFH en sus correspondientes ensayos y pruebas.

VII. Referencias

[1] T. F. D. E. Grado, “IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR-DIÉSEL) Memoria,” 2019.

[2] C. P. Corral, L. A. Garcíavillalba, R. Ñ. Caberta, and R. Alberto, “Diseño de un sistema Hibrido solar para suministro de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua,” *Cult. Científica y Tecnológica*, vol. 0, no. 54, 2016.

[3] D. S. Pablo Diaz, Rafael Peña, Carlos A. Arias, “Estudio De Campo De La Generación Híbrida Diesel / Renovable Para Electrificación Rural,” *IV Conf. Lat. Am. Energía Sol. (IV ISES_CLA)*, pp. 1–5, 2010.

[4] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 182138 de 2007 - Porcedimientos subsidios ZNI.” p. 4, 2007.

[5] IPSE, “Reporte Localidades ZNI - Caracterización Energética,” 2021. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/.

[6] RISEN SOLAR TECHNOLOGY, “Panel Solar Fotovoltaico 270WP RSM60-6-260P-280P/5BB,” pp. 1–3, 2019.

[7] J. Cepeda and A. Sierra, “Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones,” *NAFA SCR Doc.*, vol. 07/80, p. 17, 2007.

[8] B. Jonathan and C. L. María, “Eficiencia en la Conversión de Energía,” pp. 1–6, 2015.

[9] Sunny Places, “Inversor Sunny TripowEr 5000TL – 12000TL,” *SMA Sol. Technol.*, p. 5.

[10] EAST, “INVERSOR CARGADOR SOLAR CON CONTROLADOR SOLAR MPPT SERIE HYBRID (BI-DIRECCIONAL),” *saicanarias*.

[11] S. Solar, “Sunny Island Inverter.”

[12] Monsolar, “Baterias Estacionarias Fotovoltaicas,” 2019. [Online]. Available: https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/baterias/estacionarias.html.

[13] V. P. Unit *et al.*, “OPzV2-1200 OPzV2-1200 Bateria RITAR,” *RITAR*, vol. 1200.

[14] ENVERD, “Generadores Electricos - Grupos Eléctrogenos,” *Generadores Eléctricos*, 2021. [Online]. Available: https://www.generadoreselectricos.org/generador-diesel/.

[15] C. A. Forero Núñez, J. Eduardo-Arango, and F. E. Sierra Vargas, “Energy analysis of a 400 kWe power system operated on dual fuel mode with diesel - liquefied petroleum gas,” *Ing. Mec.*, vol. 17, no. 3, pp. 205–215, 2014.

[16] Cummins, “Grupo eletrogeno 4BTA3.9-G11,” *Gener. Engine Perform. Data*, pp. 9–12.

[17] ENERGEN, “Grupo Electrógeno Diesel New Holland EN D40,” pp. 1–3, 1800.

[18] ENERGEN, “Grupo Electrógeno Diesel New Holland EN D175,” pp. 1–3, 1800.

[19] ENERGEN, “Grupo electrógeno 375 KVA,” no. mm, p. 1, 2021.

Lecciones Aprendidas a La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica En las Centrales De Generación Fotovoltaica en ZNI Problemática De la Eficiencia Sistemas Solares Fotovoltaicos De Los Proyectos De Generación

Bello Torres Astrid Jessenia, ajbellot@correo.udistrital.edu.co Coautores IPSE: Jairo Valencia Ll.

Abstract— The following article presents the lessons learned in the provision of electrical energy service in non-interconnected areas of the country case study department of Guainía through the implementation of hybrid photovoltaic solar solutions by the Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Areas - IPSE through the inter-administrative contract FAZNI GGC 616 of 2017 which benefits 624 users from the towns of Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo and Remanso in the department of Guainía.

The lessons learned presented in this document focus on the problem of efficiency in hybrid solar systems of generation projects implemented as energy solutions in these localities of the department of Guainía in order to be disseminated and put into practice in future projects developed. with the active participation of IPSE.

***Keywords*— Lessons Learned, Solar Photovoltaic, Hybrid, Electric Power, Non-Interconnected Zones.**

***Resumen*— El siguiente artículo presenta las lecciones aprendidas en la prestación del servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas del país caso de estudio departamento del Guainía mediante la implementación de soluciones solares fotovoltaicos híbridos por parte del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE a través del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 el cual beneficia a 624 usuarios de las localidades de Chorrobocon , Caranacoa, Laguna Colorada, Pueblo Nuevo y Remanso del departamento del Guainía.**

Las lecciones aprendidas expuestas en este documento se centran en la problemática de la eficiencia en los sistemas solares híbridos de los proyectos de generación implementados como soluciones energéticas en estas localidades del departamento del Guainía con el fin de ser divulgadas y puestas en práctica en futuros proyectos desarrollados con la participación activa del IPSE.

***Palabras Clave*— Lecciones Aprendidas, Solar Fotovoltaico, Hibrido, Energía Eléctrica, Zonas No Interconectadas.**

I. Introducción

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE ha desarrollado en los últimos años diversos proyectos enfocados en la energización de Zonas No Interconectadas – ZNI a través de contratos interadministrativos en los cuales diversos actores de entidades privadas o públicas del estado participan.

Este documento se centra en las lecciones aprendidas del servicio de energía eléctrica en las centrales de generación fotovoltaica implementadas mediante el contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 , IPSE 110 de 2017 "*CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA*"[1].

El proyecto de generación solar fotovoltaica buscaba ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía eléctrica en las ZNI. El contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 cuenta con el mecanismo de cofinanciación FAZNI – IPSE, confiere al Ministerio de Minas y Energía la facultad de ejecutar los recursos del FAZNI y el comité CAFAZNI, indico los ejecutores de los proyectos aprobados, teniendo en cuenta la capacidad gerencial y administrativa requerida para la ejecución de las obras, así como la experiencia acreditada en la ejecución de proyectos de características similares en zonas no interconectadas, seleccionando a la EMPRESA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P – GENSA. E.S.P para la suscripción del contrato de administración general y asistencia técnica por considerar viable la ejecución de dicho proyecto por parte de esta empresa [1].

El 19 de marzo de 2021, José David Insuasti, Director del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas Distritales No Conectadas y Pablo Willian Acosta alcalde de Inírida, inauguraron el proyecto para la generación del servicio de energía eléctrica a 624 hogares de las localidades indígenas de Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo del departamento del Guainía[2].

Articulo de Investigación Fecha de entrega 09 de noviembre de 2021. Este documento fue realizado por estudiantes activos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la supervisión y acompañamiento del Docente Andrés Escobar Díaz director Semillero de investigación Barión de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bello Torres Astrid Jessenia. Cód. 20152007046 Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, (ajbellot@correo.udistrital.edu.co) y profesionales IPSE.

II. Gestión De Proyectos De Generación Fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica está probada y es versátil. Los sistemas fotovoltaicos son particularmente competitivos en el rango de baja energía de áreas remotas sin electricidad o zonas no interconectadas, sin embargo, su efectividad y eficiencia dependen de las condiciones y factores atípicos de la tecnología proporcionada; y en algunos casos dependen del desarrollador o fabricante, y en otros casos depende del usuario final o beneficiario; Debido a esto se debe tener en cuenta criterios socioeconómicos y de evaluación para la toma de decisión de gestión de proyectos de generación fotovoltaica [3].

La sistematización desarrollada ha permitido a diversos autores identificar y desarrollar de manera general consideraciones o lecciones aprendidas, a la hora de implementar los proyectos de generación fotovoltaica a continuación se en listas algunas de ellas[3]:

1. En los últimos años, los proyectos de generación de energía fotovoltaica han florecido en comunidades remotas donde otro método de generación de energía no está disponible. Los sistemas de energía solar son una opción viable que puede promover que los usuarios interconecten la electricidad como un servicio básico.

2. Comercialmente diversas empresas han emprendido en el desarrollo e innovación de instalación de sistema fotovoltaicos, debido a su gran auge donde el factor determinante es económico; con base en ello se busca disminuir el corte de la generación de energía eléctrica , independizarse de los operadores de red o disminuir el consumo de energía fósil, que también desde una óptica ambiental proyecta problemáticas a corto plazo por su escasez.

3. En el marco de las lecciones aprendidas de los proyectos de generación de energía fotovoltaica, contar con un gerente y coordinador del proyecto, un contratista con habilidades y experiencia en el montaje de equipos y una contraparte interesada que pueda monitorear las mejoras e inversiones para promover el éxito del proyecto, Asegura su éxito y evita cometer los menores errores en el proceso.

4. La formación de alianzas complementarias y coaliciones puede hacer que el uso de la energía fotovoltaica tenga un efecto multiplicador, tal es el caso de estudio de esta investigación, en el que el contrato interadministrativo sustentado en el marco legal de la legislación colombiana permiten llevar a cabo proyectos de generación fotovoltaica buscando que todos los actores involucrados sean expertos capacitados para el desarrollo de cada fase del proyecto de generación.

5. Un factor de éxito ha sido contar con un proveedor confiable, que no sólo suministra el equipo, sino que también brinda todo el soporte técnico para resolver problemas. Un aspecto clave ha sido la garantía que da el proveedor de más de 30 años, que da seguridad de una respuesta en el futuro.

6. En comparación con otras fuentes de energía renovable, las células fotovoltaicas tienen una pequeña cantidad de generación de energía, pero cada vez más empresas que buscan eficiencia energética están considerando su uso

III. Proyecto De Generación Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 De 2017

El contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 aprobó el proyecto "*CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON , CARANACOA, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA*"[1]. En la Tabla 1. se discriminan los actores participantes en el desarrollo del proyecto de generación fotovoltaica.

Promotor	IPSE
Ejecutor	Ministerio de Minas y Energía
Administrador	GENSA
Contratista Ejecutor	EMELCE

Tabla 1 Actores involucrados contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Elaboración propia

GENSA entrego el proyecto a los usuarios finales de las localidades ZNI del departamento del Guainía el 19 de marzo del año 2021, para el desarrollo del proyecto el promotor del proyecto IPSE y el Ejecutor MINISTERIO presentaron una metodología como parte integrante del contrato en el cual se tuvieron en cuenta las siguientes etapas:

1) Etapa 1- Actividades previas a la contratación de obras:

I. Suscripción del Encargo Fiduciario
II. Incorporación de los recursos al presupuesto de la entidad
III. Revisión y aceptación de diseños y presupuestos
IV. Realización de socialización y verificación de usuarios
V. Realizar verificación de la localización prevista del proyecto en campo
VI. Verificar la realización de las consultas previas, en caso de ser necesarias
VII. Verificación de responsables de la financiación y ejecución de las redes internas de los usuarios beneficiarios
VIII. Verificación de la existencia de las servidumbres y/o permisos de paso necesarias
IX. Verificación de licencia o permisos ambientales necesarios, y planes de aprovechamientos forestal, según corresponda
X. Verificación que las obras objeto de ejecución no se encuentran ubicadas en zonas de alto riesgo
XI. Elaboración de pliegos de contratación

2) Etapa 2- Actividades de contratación de obras:

I. Publicación de pliegos o invitación directa según corresponda
II. Recibo, evaluación y adjudicación de ofertas
III. Firma de contratos de interventoría, suministros de obra, según corresponda y suscripción de Actas de inicio

3) Etapa 3- Actividades de suministro, construcción y liquidación de obras:

I. Actividades o ítems relevantes de suministro y construcción
II. Acta de recibo de obras
III. Actas de liquidación de los contratos de interventoría, suministro y obra, según corresponda
IV. Revisar, ajustar y entregar al Operador de Administración, Mantenimiento y Operación – AOM que designe el MINISTERIO y el IPSE, un "Esquema de Sostenibilidad"

4) Etapa 4- Actividades de recibo y liquidación del contrato del Administrador:

I. Acta de recibo y entrega de inventarios entre el MINISTERIO e IPSE
II. Acta de entrega de redes e inventarios al Operador de Administración, Operación y Mantenimiento , según corresponda
III. Entrega de todos los documentos y soportes requeridos para efectuar el acta de liquidación del contrato

Originalmente el contrato interadministrativo contaba con el cronograma presentado a continuación para el desarrollo del proyecto pero la entrega a los usuarios finales como ya se mencionó se llevó a cabo hasta el 19 de marzo del 2021. El IPSE y el MINISTERIO acordaron con el operador de Administración GENSA el presente cronograma de ejecución de contrato.

PROYECTO	**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBLE CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD SOLAR FOTOVOLTAICO (SFV) CENTRALIZADO PARA LAS LOCALIDADES DE REMANSO, CHORROBOCON, LAGUNA COLORADA Y PUEBLO NUEVO UBICADA EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA**
ADMINISTRADOR	GESTIÓN ENERGÉTICA S.A ESP
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN CONTRATO	

FECHA ACTA DE INICIO (Fecha estimada)	11-Dic-17	
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL CONTRATO (Fecha estimada)	31-Jul-18	
Ítem	**Actividad**	**Duración (días)**
a) Etapa 1 - Actividades previas a la contratación de Obras		
1	Suscripción del contrato fiduciario	4
2	Incorporación de los recursos al presupuesto de la entidad (si aplica)	0
3	Revisión y aceptación de diseños especificaciones y presupuesto	12
4	Realización de socialización y verificación de usuarios	44
5	Realizar verificación de la localización prevista del proyecto en el campo	44
6	Verificar la realización de las consultas previas, en caso de ser necesarias (si aplica)	72
7	Verificación de responsables de la financiación y ejecución de las redes internas de los usuarios beneficiados (si aplica)	72
8	Verificación de la existencia de la servidumbre y/o permisos de paso necesarias	72
9	Verificación de la existencia del Operador de Administración Operación y Mantenimiento (si aplica)	72
10	Verificación de licencia o permiso ambiental necesarios, y planes de aprovechamiento forestal, según corresponda (si aplica)	72
11	Verificación que las obras objeto de ejecución no se encuentran ubicadas en zonas de alto riesgo	72
12	Elaboración de pliegos de contratación	14
b) Etapa 2 - Actividades de contratación de obra		
1	Publicación de pliegos o invitación directa según corresponda	19
2	Recibo, evaluación y adjudicación de ofertas	12
3	Firma de contratos de interventoría, suministros y obra, según corresponda y suscripción de Actas de inicio	12
c) Etapa 3 - Actividades de suministro y construcción de obras y liquidación		
1	Actividades o ítems relevantes de suministro y construcción (Desplegar las actividades de ejecución)	87
2	Acta de recibo de obras	46
3	Revisión , ajuste y entrega al Operador de Administración, Mantenimiento y Operación - AOM que designe el MINISTERIO y el IPSE del "Esquema de Sostenibilidad"	46

4	Actas de liquidación de los contratos de interventoría, suministro y obra , según corresponda	31
d) Etapa 4 - Actividades de recibo y liquidación de contrato de Administrador		
1	Acta de recibo y entrega de Inventarios entre el MINISTERIO , IPSE y el ADMINISTRADOR (GENSA)	16
2	Acta de entrega de redes e inventarios al Operador de Administración, Operación y Mantenimiento , según corresponda	16
3	Documentación requerida para la liquidación del Contrato de Administración	92

Tabla 2 Cronograma ejecución de contrato FAZNI GGC 616 de 2017, Fuente: Tomado y Adaptado [1]

Como administradora, GENSA construyó cuatro plantas solares fotovoltaicas en la provincia de Guainía, las cuales beneficiaron a 624 familias de las localidades indígenas de El Remanso, Chorrobocon, Caranacoa, Laguna Colorada y Pueblo Nuevo, las cuales ya cuentan con energía eléctrica desde las 6:00 de la mañana hasta las 10:00 de la noche.

El proyecto ha sido entregado a EMELCE, empresa que opera la Red local Guainía (OR), y sus ingenieros y técnicos han recibido instrucciones sobre la gestión, control, operación y mantenimiento de cada central fotovoltaica, lo que garantizará la durabilidad de los equipos.

El proyecto contempla que los usuarios gestionen su propio consumo, para lo cual se aplica el concepto de prepago, mediante un sistema de comunicaciones los usuarios pueden hacer recargas desde cada una de las comunidades al operador de red el cual controla el sistema de manera centralizada.

IV. Caracterización De Lecciones Aprendidas

En el desarrollo del proyecto cada uno de los actores involucrados fue parte fundamental para la conclusión del mismo por esto se hizo de gran importancia estudiar, evaluar, identificar y documentar las lecciones aprendidas del proyecto.

El 10 de noviembre de 2017, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas suscribieron el convenio Marco Especial de Cooperación 078 de 2017 cuyo objeto es ESTABLECER LA COOPERACIÓN EN INNOVACIÓN TECNOLÓGICO CIENTÍFICA, TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, FINANCIERA Y OPERATIVA ENTRE EL INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS -IPSE- Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS PARA LA VALIDACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA CON FUENTES NO CONVENCIONALES RENOVABLES - FNCER- Y COMPLEMENTARIAS, A FIN DE OPTIMIZAR LOS CENTROS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y DEMÁS TEMAS DE INTERÉS COMÚN".

A partir del cual se concretó la intención de desarrollar temas de mutuo interés por medio del Grupo de Investigación XUÉ y Semillero de Investigación BARIÓN de la Facultad Tecnológica. Dentro de las áreas de cooperación que se plantean en el contexto del Convenio 078 de 2017 vigente, se encuentra el aporte académico de docentes, estudiantes de pregrado y postgrado vinculados a los grupos de investigación de la Universidad de manera que exista articulación con las necesidades del IPSE en torno a las Zonas No Interconectadas para la investigación de las FNCER, eficiencia energética, sostenibilidad de los proyectos, la evaluación del impacto social y la eco sostenibilidad.

Bajo el marco del convenio 078 de 2017 vigente entre el IPSE y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se desarrolló el estudio, evaluación, identificación y documentación de las lecciones aprendidas del proyecto de generación fotovoltaica a través de mesas de trabajo con dos sesiones por semanas instauradas entre profesionales IPSE y miembros del semillero de investigación apoyado en trabajo autónomo y colaborativo, se estableció una metodología para la caracterización de las lecciones aprendidas como se presentan en la Fig.1.

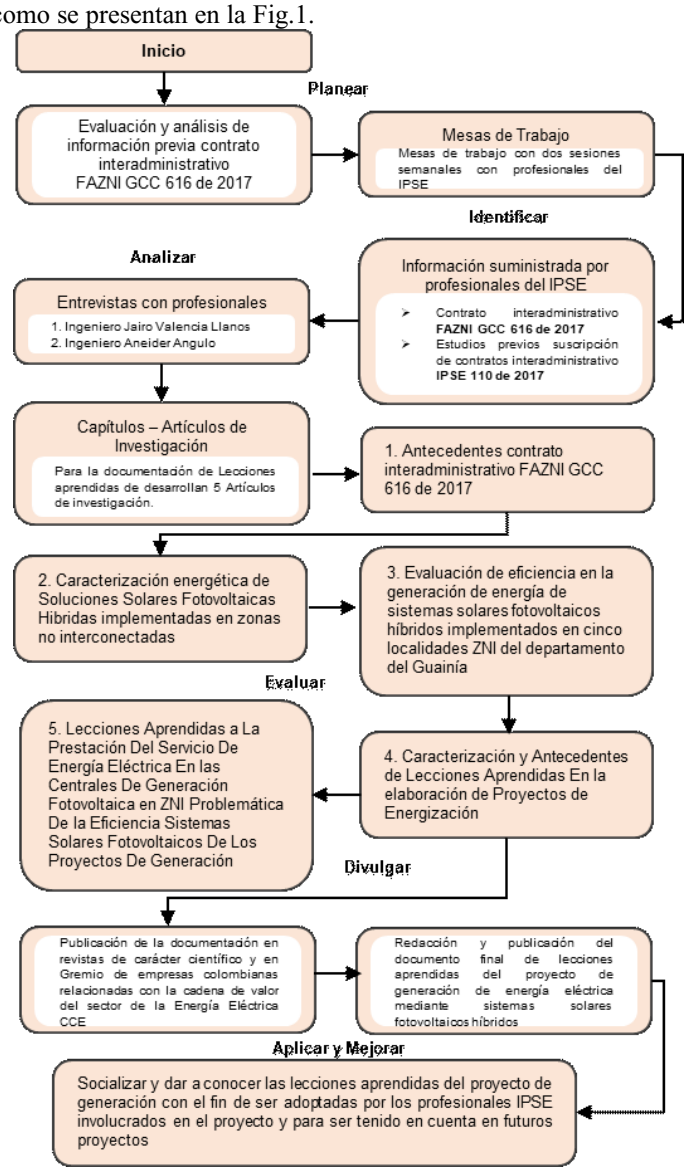


Fig. 1 Metodología caracterización de lecciones aprendidas proyecto de generación, Fuente: Autores.

V. Lecciones Aprendidas

1) Selección de características técnicas de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos

La evaluación de eficiencia en la generación de energía de los sistemas solares fotovoltaicos híbridos implementados en las cinco localidades ZNI del departamento del Guainía identificó las características técnicas involucradas a garantizar la eficiencia de los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos de los proyectos de generación.

A continuación, se listan las principales características técnicas que deben ser evaluadas por los diseñadores para una selección adecuada de una solución de diseño para un proyecto de generación fotovoltaico.

1.1. Nivel de tensión

En los últimos años, ha habido una tendencia a utilizar un nivel de voltaje de corriente continua de 1500 VDC. La motivación para usar este nivel de voltaje es promover a los principales fabricantes de paneles e inversores para una nueva generación de dispositivos que tienen los beneficios de reducir la pérdida de energía, ahorrar costos (reducir el cableado de DC) y mejorar la disponibilidad del servicio como es el caso de la ficha técnica del fabricante seleccionado para el nivel de tensión de los paneles solares implementados en las SSFH en las localidades objeto de estudio. En general, los principales beneficios de tener un sistema solar fotovoltaico a 1500 VDC son [4]:

1. Menos cajas- DC Box (concentración en serie). En particular, la caja con la misma potencia se reduce en un 30%.
2. Reducir el cableado en DC. Dado que hay menos DC Box, la potencia en serie está más concentrada, es decir, hay más módulos en la misma cadena
3. Se pueden instalar inversores de mayor potencia (en el mercado, los inversores de mayor potencia funcionan a 1500 VDC).
4. Menos cableado de baja tensión, porque se necesitan interconectar menos unidades.

Lecciones Aprendidas

i. Bajo el nivel de voltaje de 1500 VDC, se reduce el tamaño del cable DC, se reduce el número de DC Box y el número de inversores, lo que reduce el costo del sistema.

1.2. Paneles Solares

Los paneles solares son fabricados por muchas empresas en todo el mundo. Algunas empresas han establecido procedimientos de fabricación de calidad estrictos basados en estándares internacionales como IEC 61730-1: 2016 [5]. Sin embargo, otras empresas no tienen procedimientos estándar para la fabricación de módulos solares.

Para la selección de paneles solares, se recomienda comenzar con la potencia disponible (280W, 320W, 370W, etc.), estándares de fabricación de paneles, tecnología de fabricación (monocristalino, policristalino), tiempo de importación (si es necesario), y finalmente el precio [4]. Todas las características mencionadas deben ser consideradas durante la selección del módulo solar a utilizar en cada Planta solar.

Lecciones Aprendidas

ii. Pérdida de garantía y eficiencia. Los fabricantes de paneles solares suelen ofrecer una garantía de 25 años. La ficha técnica de fabricante muestra la curva de pérdida de eficiencia durante 25 años. Por tanto, se recomienda comparar el valor de la eficiencia y el tiempo de garantía de cada panel con las opciones a adquirir.

iii. Certificación de panel. A mayor número de certificaciones obtenga un panel solar, mayor será la calidad del panel solar. Sin embargo, es necesario determinar las certificaciones y pruebas más relevantes del mercado. Requerimientos de seguridad y estándar en la construcción IEC 61730-1:2016 [4]. Pruebas de desempeño y calificación de energía IEC 61730-3:2018 [5]. Pruebas de confiabilidad y durabilidad de los paneles IEC TS 63049:2017 [6]

1.3. Inversores

En la actualidad, la elección del nivel de tensión está relacionado con el tipo de tecnología utilizada por el inversor (centralizada o distribuida). En el mercado, los inversores centralizados operan a un nivel de tensión de 1500 VDC, mientras que los inversores distribuidos operan a un nivel de voltaje de 1000 VDC o un nivel menor. En los últimos años, algunos fabricantes han desarrollado inversores distribuidos con niveles de tensión de 1500 VDC [4].

Lecciones Aprendidas

iv. Garantía y soporte técnico. Los fabricantes de inversores solares generalmente tienen que asegurarse de que el equipo tenga un incumplimiento de 5 años. Además, se recomienda exigir al proveedor que brinde soporte técnico, y el tiempo de respuesta no debe exceder las 24 horas (dependiendo de la ubicación del proyecto).

v. Certificación de inversionista. El grupo de inversores que se recomienda instalar cuenta con las siguientes certificaciones: prueba anti-isla recomendada, cambios de potencia activa y reactiva, entre otras - UL 1741 [7], IEEE 1547 [8], IEEE 1547.2 [9].

2) Rendimiento del colector térmico fotovoltaico (PVT)

Se ha invertido mucho esfuerzo en el desarrollo de PVT híbrido, con el fin de mejorar su eficiencia tanto térmica como celular. La combinación de eficiencias térmicas y de celda, que se conoce comúnmente como “eficiencia total del PVT”, está influenciada por muchos parámetros de diseño del sistema y condiciones de operación. Debido a eso, se diseñan, investigan y comparan nuevas configuraciones de diseño de colectores absorbedores que son recomendables tener en cuenta por el diseñador al momento de establecer sus criterios de diseño y la selección de los paneles solares fotovoltaicos a utilizar en SSFH en especial al ser

implementados en ZNI. Estudios previos realizados por diversos autores tuvieron como resultados las simulaciones para determinar el mejor diseño de absorbedor que brinda la mayor eficiencia (eficiencia total) [6].

Dichos autores realizaron el análisis de 7 configuraciones diferentes de intercambiadores de calor y mediante simulaciones estudiaron la eficiencia de cada geometría utilizando agua como fluido de trabajo, las geometrías y comparaciones se muestran en la Fig. 2. y Fig.3. respectivamente.

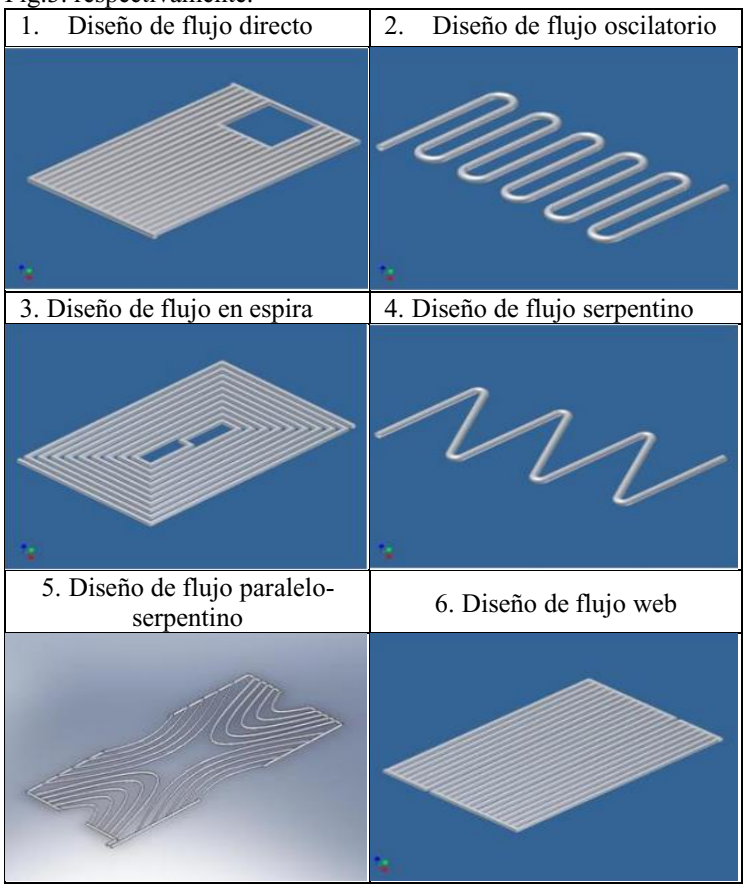


Fig. 2 Geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado [7].

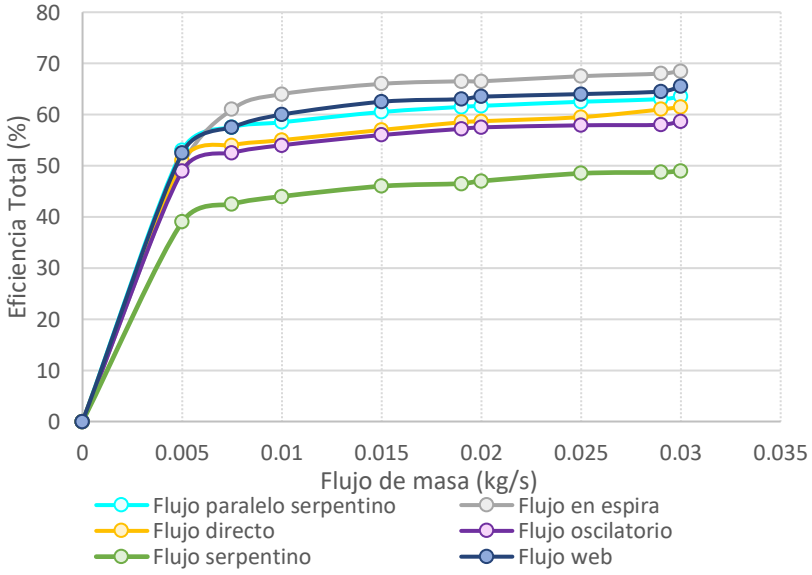


Fig. 3 Curva de eficiencia, geometrías estudiadas rendimiento de colector térmico, Fuente: Tomado y Adaptado [7].

En la Fig. 2. se puede ver que, con la excepción de diseño de flujo serpentino, la eficiencia global de cada tipo de intercambiador de calor es muy cercana entre sí.

Lecciones Aprendidas

Las geometrías más fáciles de fabricar son aquellas con los perfiles más comercializados en el mercado, como los perfiles tubulares circulares y cuadrados. Por lo tanto, las configuraciones más viables a implementar son flujo oscilatorio capaz de entregar una eficiencia total del 59%, flujo directo capaz de entregar una eficiencia total del 61% y flujo paralelo serpentino capaz de entregar una eficiencia total del 62%.

En trabajos anteriores, varios investigadores han desarrollado intercambiadores de calor de flujo directo, que es el cuarto más eficiente de las geometrías planteadas por Ibrahim. et al. (2009) [6].

3) Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) de los proyectos de generación fotovoltaica híbridos

Durante la ejecución del proyecto de generación fotovoltaico implementado en las localidades ZNI objeto de estudio a través del contrato interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 y sus estudios previos[8], el contratista ejecutor (EMELCE) adquirió la obligación de estructurar un esquema comunitario para la comercialización y AOM de los sistemas híbridos fotovoltaicos instalados en el departamento del Guainía, En la Fig.4. se presentan el esquema establecido por EMELCE para llevar a cabo los procesos relacionados con la Administración, Operación y Mantenimiento.

PROCESO	ACTIVIDAD	PERIOCIDAD	ALCANCE
1. Mantenimiento preventivo	Registro datos funcionamiento	Bimensual	Voltaje, corriente y consumo
	Mantenimiento menor	Bimensual	Limpieza paneles, gabinete, borneras, fumigación
	Mantenimiento mayor	Semestral	-Mantenimiento menor -Revisión Estructura -Revisión paneles -Revisión electrónica inversor y controlador -Revisión conexión, protecciones y puesta a tierra -Verificación carga e instalaciones internas - Recomendaciones al usuario -Registro fotográfico y georreferenciado de la visita

2. Mantenimiento correctivo	Reparación daños reportados	Por solicitud	Incluye reposición a nuevo de componentes
3. Lectura, corte y reconexión	Uso de PDA software dedicado	Bimensual	Visita y recorrido según programación
4. Facturación	Elaboración factura	Trimensual	Visita y recorrido según programación
5. PQR	Oficina en cabecera municipal y Línea de atención al usuario	Diario	Atención , registro de PQR y emisión de OT
6. Registro SUI SSPD	Registro	Según normatividad	De acuerdo con resolución SSPD

Fig. 4 Estructura de OAM de los sistemas híbridos fotovoltaicos propuesto por el OR EMELCE, Fuente: Autores

EMELCE como Operador de Red juega un papel muy importante en la ejecución del proyecto de generación fotovoltaico como ejecutor contratista encargado de comercializar la energía producida por el proyecto al mismo tiempo administrar, operar y realizar mantenimiento a los sistemas híbridos fotovoltaicos. De la Fig.4. se puede inducir que el mantenimiento que se le debe hacer a los sistemas solares fotovoltaicos consta de dos modalidades: **Preventivo y Correctivo.**

A continuación se describe las modalidades de mantenimiento en caminada a los sistemas solares fotovoltaicos propuesta por el OR EMELCE y las actividades a desarrollar las cuales se identificaron como lecciones aprendidas:

- *Mantenimiento Preventivo*
  - Paneles Solares Fotovoltaicos

Hay dos consideraciones principales, por un lado, asegurar que ningún obstáculo arroje sombras sobre los módulos, y por otro lado, mantener limpias las partes de los módulos fotovoltaicos expuestas a los rayos del sol. La pérdida causada por la suciedad puede llegar al 5%, lo que puede evitarse con una limpieza regular adecuada. El mantenimiento consiste en:

Lecciones Aprendidas

1. Limpia con regularidad del panel. La suciedad acumulada en el panel reducirá su rendimiento, la capa de polvo que reduce la intensidad de la luz solar no es peligrosa y la reducción de potencia no suele ser significativa. La limpieza de los paneles se realizará una vez al mes. Se limpiará con agua (sin abrasivos ni utensilios metálicos). Lo mejor es hacerlo fuera del centro horario del día para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel.

2. Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente).

   ✓ Se comprobará que ninguna célula solar esté en mal estado (el cristal protector está roto, normalmente debido a un funcionamiento externo).

   ✓ Verificará que el marco del módulo esté en el estado correcto (sin deformaciones ni roturas).

Lecciones Aprendidas

3. Control de temperatura del panel (una vez cada trimestre). Si es posible, se utilizarán imágenes térmicas infrarrojas mediante pruebas eléctricas de termografía para controlar cualquier punto del panel dentro del rango de temperatura permitido por el fabricante.

4. Características eléctricas del panel solar (anual). Se revisará el estado de la conexión, entre otros:
   - ✓ Sin exposición a la sulfatación.
   - ✓ No hay oxidación ni soldadura de la batería en el circuito, generalmente debido a la entrada de humedad.
   - ✓ Comprobación de estado y adherencia de los cables a los terminales de los paneles.
   - ✓ Comprobación de la estanqueidad de la caja de conexiones o el estado del casco de seguridad. Si corresponde, las piezas que estén en malas condiciones serán reemplazadas y/o se limpiarán los terminales. Comprobación de la resistencia a tierra y el potencial a tierra
   - ✓ La temperatura de conexión se comprobará mediante imágenes térmicas infrarrojas, prueba eléctrica de termografía. Si alguna conexión aparentemente correcta alcanza una temperatura superior a 60 ºC, se medirá su voltaje y corriente para comprobar si está dentro del rango normal. Si es necesario, se sustituirá dicha conexión.

- Estructura soporte de los paneles

La estructura soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada seis meses y consistirá en:

- ✓ Comprobación de posibles degradaciones (deformaciones, grietas, etc).
- ✓ Comprobación del estado de fijación de la estructura a cubierta. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada, controlando el par de apriete si es necesario. Si algún elemento de fijación presenta síntomas de defectos, se sustituirá por otro nuevo. Comprobación de la estanqueidad de la cubierta. Consiste básicamente en cerciorarse de que todas las juntas se encuentran correctamente selladas, reparándolas en caso necesario.
- ✓ Comprobación del estado de fijación de módulos a la estructura. Operación análoga a la fijación de la estructura soporte a la cubierta.
- ✓ Comprobar la puesta a tierra y la resistencia de paso a tierra.

- Cajas de campo o Combiner Boxes

Resistentes a la intemperie (ubicadas a la sombra). Se recomienda realizar las siguientes operaciones de mantenimiento:

- ✓ Comprobar el correcto anclaje de la caja a la estructura soporte correspondiente y horizontalidad de la misma, asegurándose de que la tornillería está correctamente apretada, sustituyendo algún elemento de fijación si se encuentra en mal estado.
- ✓ Comprobar que la carcasa de la caja se encuentra en correcto estado y no presenta síntomas de deterioro debido a agentes externos. Sustituirla en caso necesario.
- ✓ Comprobar la estanqueidad de la carcasa y si presenta daños.

➢ *Mantenimiento Correctivo*

Las labores de mantenimiento correctivo delegadas a EMELCE, empresa que opera la red local del Guainía, especialista en el sector, encargada de realizar todas las reparaciones pertinentes así como suministrar los repuestos necesarios identificadas como lecciones aprendidas son las siguientes:

Lecciones Aprendidas

- ✓ Garantizar la visita a la instalación en los plazos establecidos y cada vez que el usuario lo requiera debido a cualquier incidencia en la misma. Dicha visita a la instalación se atenderá en el menor plazo posible, teniendo en cuenta la ubicación de las centrales de generación solar fotovoltaica.
- ✓ Analizar y realizar un presupuesto adecuado de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto y normal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.
- ✓ Subsanar correctamente cualquier incidencia en el menor tiempo posible, excepto cuando se trate de causas de fuerza mayor debidamente justificadas.

VI. Conclusiones

1. Los principales factores que deben evaluarse durante el proceso de diseño de los proyectos de generación de energía solar fotovoltaica son: impacto técnico (confiabilidad, pérdida de potencia, regulación, nivel de voltaje, irradiación solar, horas de incidencia de brillo solar, etc.); económico (precio del equipo, costo horizontal-LCOE, venta de energía, contratos de compra de energía, mantenimiento); logístico (tiempo de importación, transporte de equipos, demanda de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, precios de importación de equipos, precios de tecnologías seleccionadas), supervisión (requerimientos técnicos de cada país); geográfico y topográfico.

2. Las lecciones aprendidas identificadas en este documento sirven como criterios diseños que deben ser socializados y tenidos en cuenta para el dimensionamiento de proyectos de generación fotovoltaico con el fin de servir de apoyo y solución a las problemáticas de eficiencia de los sistemas solares.

3. Las especificaciones técnicas deben ser actualizadas de acuerdo a las normativas vigentes o fecha de entrada de operación de los sistemas solares fotovoltaicos , ya que estas normativas se soportan en pruebas y estándares específicos orientados a los componentes de los sistemas solares fotovoltaicos. Para una correcta selección de especificaciones técnicas es imperativo cumplir con estándares de calidad y pruebas en laboratorio necesarias para garantizar no solo su vida útil si no su porcentaje total de eficiencia en sitio.

4. Finalmente, Se recomienda configurar personal de puesta en marcha, técnicos capacitados desde la fuente de diseño del sistema solar fotovoltaico, actores involucrados en el desarrollo de proyectos de generación con el fin de establecer los responsables del comisionamiento (commissioning) permitiendo intermediarios y acuerdos multilaterales entre inversores a través de contratos interadministrativos, jefes de proyecto y equipos de diseño. Por tanto, se concluye que son mayores los beneficios globales evaluados en el proceso de diseño del proyecto y la adecuación tecnológica seleccionada de común acuerdo a través de la ejecución de contratos interadministrativos.

5. El actor encargado de la Administración, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos híbridos tiene el carácter de preservación fundamental de eficiencia de las especificaciones técnicas y criterios de diseño establecidos a la componentes de los sistemas solares fotovoltaicos, ya que pese a seleccionar los componentes que presentan mayor eficiencia de generación si no conservan un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado su vida útil se reducirá ocasionando envejecimiento de los componentes o en casos extremos desconexión o perdidas en el servicio a los usuarios finales.

VII. Referencias

[1] MINMINAS, “Contrato Interadministrativo FAZNI GGC 616 de 2017 - IPSE 110 de 2017.” p. 26, 2017.

[2] Tintiando, “GENSA ENTREGÓ CENTRALES DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL GUAINÍA,” *28 de mayo de 2021*, 2021. [Online]. Available: https://www.tintiando.com/2021/05/28/gensa-entrego-centrales-de-generacion-fotovoltaica-en-el-guainia/.

[3] ENERGYVBUILDING, “Guía de Buenas Prácticas Proyectos Fotovoltaicos,” p. 2, 2018.

[4] J. D. Jiménez, “Lecciones aprendidas del diseño de parques solares fotovoltaicos: Un enfoque de las características técnicas,” *I+D Tecnológico*, vol. 16, no. 2, 2020.

[5] K. Whitfield, U. Laboratories, T. Sample, C. Monokroussos, P. Hacke, and N. Renewable, “QUALIFICATION TESTING VERSUS QUANTITATIVE RELIABILITY TESTING OF PV – GAINING CONFIDENCE IN A RAPIDLY CHANGING TECHNOLOGY,” no. September, 2017.

[6] A. Ibrahim *et al.*, “Performance of photovoltaic thermal collector (PVT) with different absorbers design,” *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 5, no. 3, pp. 321–330, 2009.

[7] V. Francisco *et al.*, “MODELADO Y ANÁLISIS DE

EFICIENCIA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO (PV / T),” *VIII Congr. Bras. Energía Sol. - Fortaleza*, 2020.

[8] E. Ministerio de Minas y Energía, GENSA, IPSE, “Estudio previo para suscribir contratos interadministrativos IPSE - CO - F40.” Diario Oficial, p. 20, 2017.

Caracterización Energética De Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas Implementadas En Zonas No Interconectadas de Colombia

Bello Torres Astrid Jessenia, ajbellot@correo.udistrital.edu.co Coautores IPSE: Jairo Valencia Ll.

***Abstract*— This article shows the hybrid photovoltaic solar solutions - SSFH- implemented in non-interconnected areas- ZNI- by IPSE in Colombia. The non-interconnected areas, their geographical location and energized users in contrast to the geographical location and characteristics of the SSFH such as their participation in the generation in the ZNI, the comparison with another type of generation in the ZNI, the number of users who benefit from these systems and the way in which the Diesel and photovoltaic generation systems interact to decrease fuel consumption. Finally, the distribution and specific characteristics of the SSFH in the departments of the ZNI are presented.**

***Keywords*— Solar Photovoltaic, Hybrid, Centralized, Non-Interconnected Zones.**

***Resumen*— El presente artículo muestra las soluciones solares fotovoltaicas hibridas – SSFH- implementadas en las zonas no interconectadas- ZNI- por el IPSE en Colombia. Se muestra inicialmente las zonas no interconectadas, su localización geográfica y usuarios energizados en contraste con la ubicación geográfica y características de las SSFH como su participación en la generación en la ZNI, la comparación con otro tipo de generación en la ZNI, la cantidad de usuarios que se benefician con estos sistemas y la forma como interactúan los sistemas de generación Diésel y fotovoltaicos para disminuir el consumo de combustible. Por último se presenta la distribución y características específicas de las SSFH en los departamentos de la ZNI.**

***Palabras Clave*— Solar Fotovoltaico, Hibrido, Centralizado, Zonas No Interconectadas.**

I. Introducción

Actualmente, la inserción de energías limpias o energías renovables representan una opción con gran viabilidad técnica para generar energía eléctrica. Debido a esto surge un esquema de generación el cual posee un gran auge en los últimos años conocido como "Generación Distribuida". Este tipo de generación ha permitido la interacción e inclusión de diversas fuentes alternativas de generación las cuales buscan atender de una manera óptima la demanda de energía[1].

En Colombia, diversas tecnologías han pasado a formar parte de las soluciones implementadas en las areas aisladas o zonas no interconectadas; este articulo muestra la participación de los sistemas solares fotovoltaico-diésel híbridos en la capacidad instalada total en las Zonas No Interconectadas -ZNI- y a su vez realiza una comparativa con la participación diésel frente a la capacidad instalada total. De igual forma se detalla la distribución territorial como escenarios de implementación. La tecnología empleada en energía solar fotovoltaica tiene ventajas como el uso de fuentes de energía primaria inagotables, fácil instalación y mínimo mantenimiento [1].

La tecnología solar fotovoltaica ha permitido la interacción e integración con diversas fuentes energéticas dando origen a los sistemas híbridos, proporcionando así un sistema completo capaz de soportar mayor cantidad de horas en la prestación del servicio de energía eléctrica; esto ha permitido que la tecnología solar fotovoltaica se posicione como una de las soluciones viables desde el punto de vista energético, económico y técnico en areas aisladas o zonas no interconectadas. Los sistemas híbridos garantizan un mayor respaldo energético al estar articulados con diversos sistemas energéticos o al ser trabajar conjuntamente con plantas Diesel.

Instituciones gubernamentales como el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No interconectadas-IPSE ha implementado sistemas de generación de energía híbridos fotovoltaicos en algunos departamentos y municipios con la finalidad de llevar energía a zonas aisladas del país.

El presente artículo se compone de 6 capítulos dentro de los cuales se aborda la caracterización energética de las soluciones solares fotovoltaicas hibridas implementadas en las ZNI del país. El primer capítulo se compone de un marco referencial de las ZNI del país y la participación del IPSE con datos actualizados hasta el primer semestre del año 2021, el segundo capítulo se compone de la identificación de las Soluciones Solares Fotovoltaico Hibridas en ZNI, el tercer capítulo presenta la Caracterización de Sistemas Solares Fotovoltaicos Híbridos presentes en el país hasta el primer semestre del año 2021, el cuarto capítulo presenta la clasificación político administrativa de las localidades ZNI beneficiadas con los sistemas solares fotovoltaicos híbridos según la ley 182138 / 2007 del MME, el quinto capítulo se compone de los resultados obtenidos en la investigación y construcción de este artículo de investigación , por último se presenta el capítulo sexto de conclusiones obtenidas en el desarrollo de la investigación.

Articulo de Investigación Fecha de entrega 25 de julio de 2021. Este documento fue realizado por estudiantes activos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con la supervisión y acompañamiento del Docente Andrés Escobar Díaz Director Semillero de investigación Barión de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bello Torres Astrid Jessenia. Cód. 20152007046 Estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, (ajbellot@correo.udistrital.edu.co) y profesionales IPSE

II. Marco Referencial ZNI

Las ZNI comprenden alrededor del 53% del área territorio Nacional; incluyen 18 departamentos, 5 capitales departamentales, 27 cabeceras municipales, 16 áreas no municipalizadas y 1.806 localidades. El total de usuarios con cobertura de energía eléctrica en las ZNI corresponden a 223.864 usuarios (Información IPSE con corte a 31 de mayo de 2021), en las cabeceras departamentales y municipales se encuentra el mayor porcentaje de usuarios energizados donde el despacho energético en su mayoría se realiza mediante plantas Diesel y en algunos casos, con pequeñas centrales hidroeléctricas [2]; así mismo el 91% de la capacidad total de generación en las ZNI es a partir de generadores Diesel. En estas zonas, los Sistemas Solares Fotovoltaicos Híbridos -SSFH- han incrementado su participación en la matriz energética local, tal como se ilustra en la Fig.1, producto de las implementaciones que han sido promovidas y financiadas por el IPSE como actor energético principal en estas zonas[3].

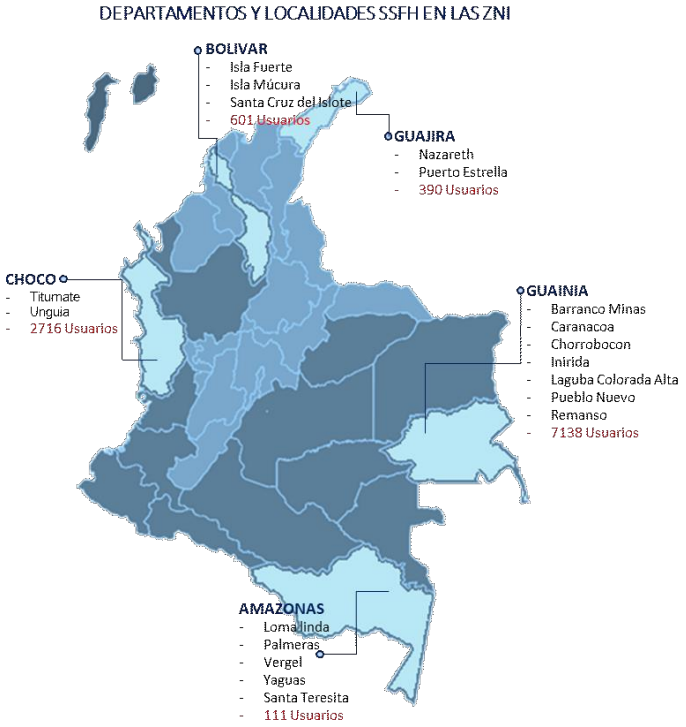


Fig. 1. Departamentos y Localidades ZNI con sistemas solares fotovoltaicos híbridos en Colombia , Fuente: Autores

Las SSFH en las ZNI presentadas en la Fig.1. representan el 6.3% de la capacidad total instalada la cual corresponde a 294,8 MW distribuida así: 265,6 MW en capacidad Diesel y 29,6 MW en capacidad renovable; así mismo en las ZNI las SSFH incorporan el 5.3% de la capacidad total Diesel y el 15.6 % de la capacidad total renovable como se observa en la Tabla 1. la capacidad total instalada en las ZNI y la capacidad total instalada de las SSFH.

	ZNI	SSFH	% SSFH EN ZNI
Capacidad total instalada MW	294,8	18,6	6.3%
Capacidad total Diesel MW	265,6	14,0	5.3%
Capacidad total Renovables MW	29,6	4,6	15.6%
Total plantas Diesel instaladas	2793	27	1.0%

Tabla 1. Capacidad instalada total y SSFH en ZNI, Fuente: [4]

La Fig.2. presenta mediante un diagrama de barras la capacidad total instalada en ZNI con el correspondiente en capacidad total instalada en SSFH en las ZNI.

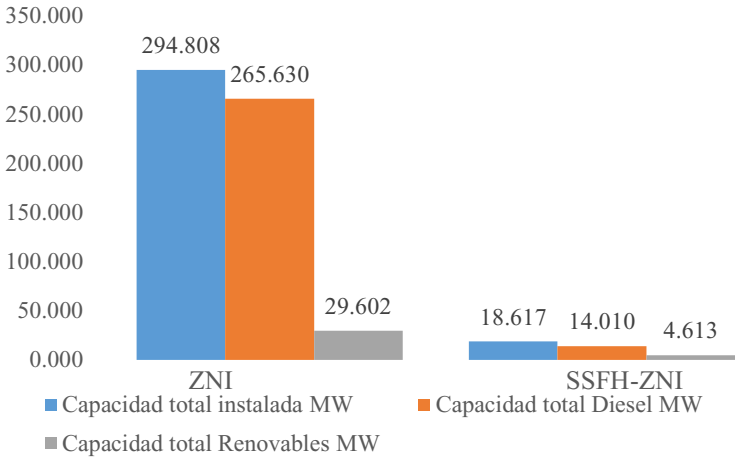


Fig. 2. Capacidad total instalada ZNI y Capacidad total instalada SSFH, Fuente: Autores

III. Soluciones Solares Fotovoltaicas Hibridas En Zonas No Interconectadas

Las soluciones solares fotovoltaicas híbrido propuestas en ZNI, se presentan como el resultado de una rigurosa evaluación de la prefactibilidad del proyecto de energización en ZNI a partir del aprovechamiento de recursos solares y su complementariedad con plantas diésel y sistemas de batería almacenadoras de energía [5]. Las SSFH en Colombia, se basan en un análisis específico del potencial de capacidad solar y diésel, características de la demanda de energía u otras características específicas de las zonas no interconectadas en diferentes ciudades o regiones del país, así como una revisión en profundidad de las políticas y normativas vigentes en materia de energía y la prestación del servicio de energía eléctrica en estas zonas [6]. Referente a los avances desarrollados por él IPSE con corte al primer trimestre de la vigencia 2021, en la Tabla 2. se observa la distribución territorial de los 19 proyectos de SSFH y número de empresas prestadoras que se encargan de su administración.

Caracterización Energética Diesel - Fotovoltaico en Zonas No Interconectadas	**Primer semestre del 2021**
Departamentos	5
Municipios	7
Localidades	19
Localidades División administrativa ZNI	16
Localidades División administrativa MIXTO	3
Usuarios atendidos en ZNI	10384
Usuarios atendidos en Centros poblados	601
Total de usuarios atendidos	10956
Usuarios conectados a las cabeceras municipales	7560
Empresas prestadoras	6
Total plantas Diesel instaladas	27

Tabla 2. Distribución SSFH en ZNI datos hasta el primer semestre del 2021, Fuente: [4]

Las SSFH implementadas en las ZNI cuentan con telemetría o telemedición, tecnología utilizada para la medición del servicio de energía eléctrica la cual permite realizar una lectura automática de los contadores de energía utilizados para realizar la facturación por parte del operador de red de los consumos energéticos realizados por los usuarios finales beneficiados con las SSFH [7], las SSFH en las ZNI que cuentan con este tipo de telemedición se describen en la Tabla 3.

Caracterización Energética Diesel - Fotovoltaico en Zona No Interconectadas	**Primer semestre del 2021**
Localidades con telemetría	9
Localidades sin telemetría	10
Total	19

Tabla 3. Localidades SSFH de las ZNI con telemetría datos hasta el primer semestre del 2021, Fuente*:* [4]

El número total de beneficiados con el sistema de telemetría corresponde a 10.221 usuarios finales, los cuales son distribuidos en los siguientes operadores de red (OR) identificados por sus siglas COOSERPUCI, ISFROCOOP, ESPUN SA ESP, EMELCE S.A. E.S.P. y el operador asignado por la Alcaldía municipal de Uribia según localidad. Dichos operadores de red son los encargados de realizar la activación o desactivación del servicio de energía mediante los dispositivos de telemedición los cuales se comunican con los contadores a través de la misma red eléctrica, evitando instalaciones de cableado adicional y retornando los datos de forma inmediata y confiable. Por otro lado, permite a cualquier usuario consultar vía internet su consumo de energía [8].

IV. Caracterización Sistemas Solares Fotovoltaicos Híbridos

Las soluciones solares fotovoltaicas hibridas implementadas en las localidades ZNI por el IPSE, se encuentran conformadas principalmente por paneles solares, bancos de baterías, equipo de conversión y plantas de generación Diesel [9]. su principio funcional se ilustra en la Fig. 3.

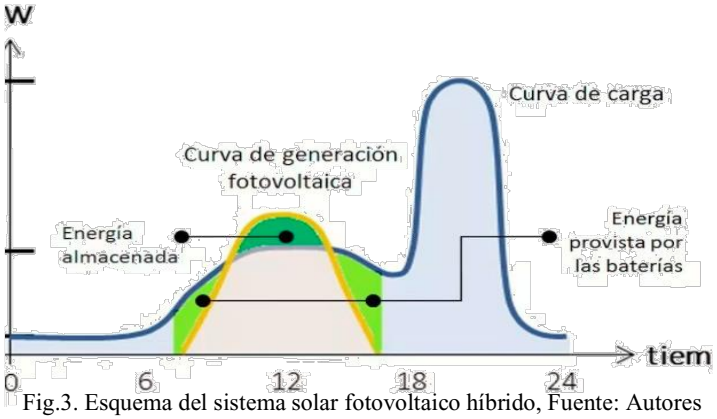


Fig.3. Esquema del sistema solar fotovoltaico híbrido, Fuente: Autores

En el rango 6:00 AM-12:00 PM, se aprovecha el brillo solar, los módulos solares atienden la demanda energética y los excedentes de energía cargan batería; en el rango 12:00 PM-6.00 PM el suministro solar, alterna con la descarga de baterías para atender la demanda. Por último, el suministro energético por fuera de esos rangos es despachado por grupos electrógenos diésel quienes a su vez cargan baterías para apoyar también al suministro energético. En ese sentido los sistemas híbridos garantizan un suministro de energía continuo, asegurando la prestación del servicio de energía a través de la planta de generación Diesel reduciendo los costos de generación y haciendo usos de las fuentes de energías renovables[10].

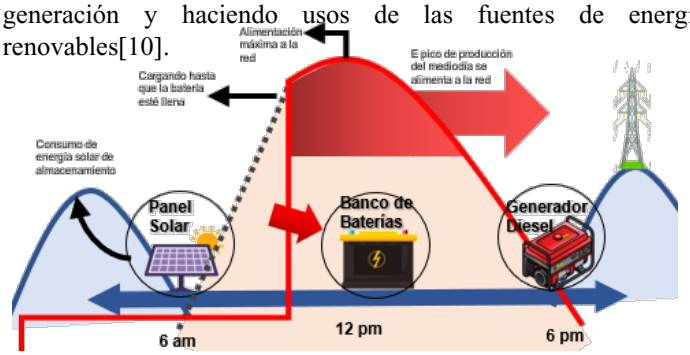


Fig. 4. Sistema Solar Fotovoltaico híbrido, Fuente: Autores

Las soluciones solares fotovoltaicos híbridas proponen un suministro de energía continuo, asegurando la prestación del servicio de energía a través del grupo electrógeno Diesel y reduciendo los costos de generación por los incrementos de los combustibles fósiles con el uso de paneles solares fotovoltaicos que disminuyen la cantidad de energía necesaria generada por el grupo electrógeno Diesel, esto conlleva a la reducción del combustible. El sistema solar fotovoltaico hibrido propuesto en la Fig.4. contempla el uso de paneles solares fotovoltaicos, grupo electrógeno Diesel y baterías [11].

Las SSFH realizan el consumo de energía mediante la planta Diesel o los módulos de los paneles fotovoltaicos y durante la noche se apoyan en el banco de baterías los cuales almacenan energía durante el día. La planta generadora Diesel o también conocida como grupo electrógeno funcionara mas horas al día en contraste a cuando la planta Diesel se encuentra interconectada a la red debido a que es la única capaz de garantizar el suministro del servicio de energía eléctrica a un 100%, no obstante gracias al uso de las baterías no se hace necesario el funcionamiento durante todo el día[12].

V. Clasificación Político Administrativa De Las Localidades ZNI

Para el fácil entendimiento de este artículo es importante mencionar como son clasificadas las localidades de las Zonas No Interconectadas según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas IPSE con información a corte junio de 2021. Según la Resolución 182138/2007 del Ministerio de Minas y Energía se realiza una clasificación por localidades para las ZNI del país como se observa en la Tabla 4. Debido a esto el IPSE organizo la demanda energética necesaria para las localidades que son beneficiadas de los sistemas solares fotovoltaicos híbridos en Colombia.

Resolución 182138 / 2007 MME							
Localidades	**No de usuarios**		**Horas del Día**	**Factor Capacidad**	**Factor Planta**	**Factor de CAP/US**	**DEMANDA POR CAPACIDAD (kWh/mes*Usuario)**
Tipo 4	0	50	4	0,28	1	0,25	33,6
Tipo 3	51	150	5	0,3	1	0,3	45
Tipo 2	151	300	8	0,32	1	0,32	76,8
Tipo 1	Cabeceras Municipales Usuarios > 300						115 kV (Incumbente)

Tabla 4. Clasificación político administrativo tipo de localidades ZNI según Resolución 182138/2007 MME, Fuente*:* [13]

VI. RESULTADOS

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas – IPSE en los últimos años ha desarrollado 19 proyectos SSFH en ZNI a continuación se presenta una disgregación numérica por departamentos, localidades, usuarios, capacidad instalada y operativa en las ZNI.

DPTO	AMAZONAS	BOLÍVAR	CHOCÓ	GUAINÍA	GUAJIRA
LOCALIDAD	5	3	2	7	2
USUARIOS	111	601	2716	7138	390
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA DIESEL kW	136.5	1025	1784	10090	1518.36
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA RENOVABLES kW	51.9	272.5	883.6	2975.97	429.36
NUMERO TOTAL DE PLANTAS DIESEL	5	4	5	10	3
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA SSFH kW	188.4	1297.3	2667.4	12945.65	1518.36

Tabla 5. Distribución específica SSFH en ZNI, Fuente: [4]

De los resultados visualizados en la Tabla 3, se puede observar que el departamento con mayor capacidad instalada solar fotovoltaica hibrida es Guainía, el mayor número de usuarios beneficiados de SSFH es de 7138 correspondiente al departamento del Guainía en el cual también se presenta el mayor número de plantas Diesel (10). En este sentido los departamentos beneficiados con soluciones solares fotovoltaicas ordenados por su capacidad total instalada son: Guainía (69.53%), Choco (14.32%), Guajira (8.15%), Bolívar (6.96%) y Amazonas (1.01%).

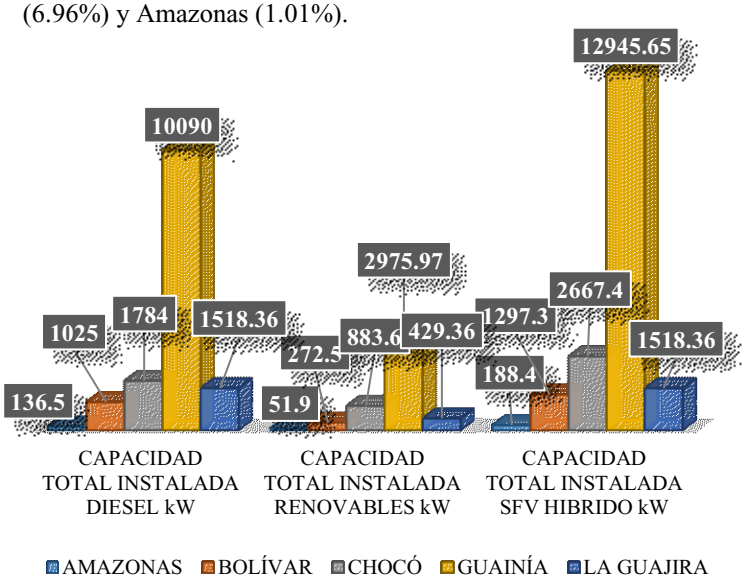


Fig.5. Capacidad total instalada Departamentos con SSFH en ZNI, Fuente: Autores

De la Fig.5. se puede inducir que el departamento de Guainía a sumado mayores esfuerzos en instalación y energización de las SSFH en las ZNI, el operador de red EMELCE es el encargado de realizar la telemedición del servicio de energía eléctrica en este departamento esto permite a los usuarios realizar un consumo consciente que los involucra en la demanda energética [14].

El departamento del Guainía representa el 69.53% de la capacidad total instalada en SSFH en ZNI del país distribuido en las localidades de Barrancominas , Caranacoa, Chorrobocon, Inirida, Laguna Colorada Alta, Pueblo Nuevo y Remanso según su clasificación político administrativa explicada en el Capítulo V de este documento, dichas localidades del departamento del Guainía se categorizan “Tipo 1”, “Tipo 2” y “Tipo 3” son localidades que pueden hacer uso del servicio de energía eléctrica en un rango de 5- 8 horas del día. Esto sumado a su ubicación geográfica, factores sociales y ambientales determino la importancia de la implementación de SSFH en estas localidades brindando solución a los problemas de energización, servicios públicos esenciales y generando una mejora en la calidad de vida de los 7138 usuarios que fueron beneficiados con los sistemas híbridos en el departamento como se detalla en la Tabla 6.

DPTO CON SSFH	LOCALIDADES	USUARIOS	TIPO DE LOCALIDAD
AMAZONAS	LOMA LINDA	29	4
	PALMERAS	16	
	VERGEL	34	
	YAGUAS	49	
	SANTA TERESITA	12	
BOLÍVAR	ISLA FUERTE	431	1
	ISLA MÚCURA	43	4
	SANTA CRUZ DEL ISLOTE	127	3
CHOCÓ	TITUMATE	180	2
	UNGUIA	2536	1
GUAINÍA	BARRANCO MINAS	355	1
	CARANACOA	73	3
	CHORRO BOCON	184	2
	INIRIDA	6159	1
	LAGUNA COLORADA ALTA	192	2
	PUEBLO NUEVO RIO GUAVIARE	122	3
	REMANSO	53	3
LA GUAJIRA	NAZARETH	244	2
	PUERTO ESTRELLA	146	3

Tabla 6. Distribución específica localidades SSFH en ZNI, Fuente: [4]

El departamento de Choco representa el 14.32% de la capacidad total instalada en SSFH en ZNI del país distribuido en las localidades de Titumate y Unguia las cuales se clasifican político administrativamente como “Tipo 2” y “Tipo 1”. La localidad de Titumate se encuentran en el rango de 151 – 300 usuarios y solo pueden hacer uso del servicio de energía eléctrica durante 8 horas al día situación que mediante las SSFH fue compensada beneficiando 180 usuarios; La localidad de Unguia esta geográficamente clasificada como una cabecera municipal donde el número de usuarios supera el rango de 300 usuarios, esta localidad implementando SSFH beneficia 2536 usuarios los cuales son regulados por el operador de red del departamento.

El departamento La Guajira representa el 8.15% de la capacidad total instalada en SSFH en ZNI del país distribuido en las localidades de Nazareth y Puerto Estrella cuya clasificación político administrativa corresponde a localidades “Tipo 2” y “Tipo 3”. La

localidad de Nazareth con la implementación de SSFH beneficio a 244 usuarios los cuales antes solo podían hacer uso del servicio de energía eléctrica durante 8 horas del día. La localidad Puerto Estrella con las SSFH beneficio a 146 usuarios que solo podían hacer uso del servicio de energía eléctrica durante 5 horas.

El departamento de Bolívar representa el 6.96% de la capacidad total instalada en SSFH en ZNI del país distribuido en las localidades Isla Fuerte, Isla Múcura y Santa Cruz del Islote cuya clasificación político administrativa corresponde a localidades "Tipo 4","Tipo 3" y "Tipo 1", estas localidades solo pueden hacer uso del servicio de energía eléctrica durante 4 , 5 o 8 horas al día, por esta razón al implementar las SSFH se garantiza la prestación del servicio de energía de forma continua regulada con ayuda del operador de red del departamento y beneficiando a 601 usuarios.

El departamento del Amazonas representa el 1.01% de la capacidad total instalada en SSFH en ZNI del país distribuido en las localidades de Loma linda , Palmeras, Vergel, Yaguas y Santa Teresita según su clasificación político administrativa "Tipo 4" son localidades que cuentan con un número de usuarios menor a 50 y solo pueden hacer uso del servicio de energía eléctrica durante 4 horas del día. Los SSFH implementados en el departamento del Amazonas beneficiaron a 140 usuarios.

Según su clasificación político administrativa las SSFH se tipifican hacia las horas de prestación de energía y a la máxima energía subsidiable como se presenta en la Tabla 7. La cantidad de usuarios que pertenecen a "Tipo 1" se encuentran en las localidades de Isla fuerte, Unguia, Barrancominas e Inirida. Los usuarios que pertenecen a "Tipo 2" se encuentran en las localidades de Titumate, Chorrobocon, Laguna colorada y Nazareth. La cantidad de usuarios que pertenecen a "Tipo 3" se encuentran en las localidades de Santa cruz del islote, Caranacoa, Pueblo nuevo, Remanso y Puerto estrella. Los usuarios que pertenecen a "Tipo 4" se encuentran en las localidades de Loma linda, Palmeras, Vergel, Yaguas, Santa teresita e Isla mucura,

TIPO	DESCRIPCIÓN	LOCALIDADES CON SSFH EN ZNI	USUARIOS
1	MAS DE 300 USUARIOS	4	9481
2	ENTRE 151 Y 300 USUARIOS	4	800
3	ENTRE 51 Y 150 USUARIOS	5	375
4	ENTRE 0 Y 50 USUARIOS	6	183
	TOTAL	19	10839

Tabla 7. Clasificación político administrativa de localidades SSFH en ZNI, Fuente: [4]

La Fig.6. representa el porcentaje total de las localidades con SSFH en ZNI del país, El 32% del total de las localidades con SSFH corresponde según su clasificación político administrativa a localidades "Tipo 4", el 26% corresponde a localidades "Tipo 3" y el 21% corresponde a localidades "Tipo 1" y "Tipo 2".

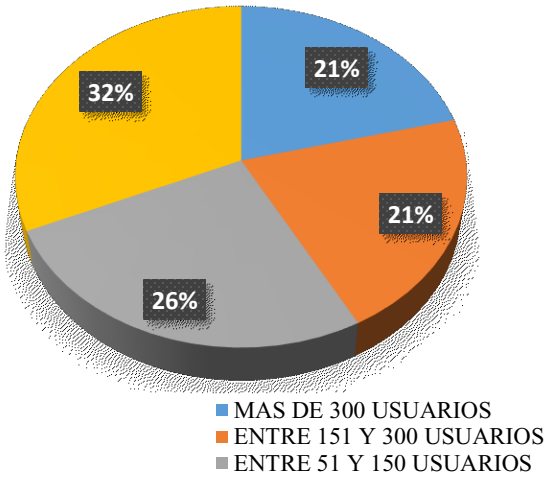


Fig.6. Tipo de localidad de las SSFH en ZNI del país, Fuente: Autores

La Resolución 182138/2007 del Ministerio de Minas y Energía realiza una clasificación político administrativa por localidades para las ZNI del país que se determina mediante la evaluación de ítems presentados en la Tabla 4. de este documento, adicional a esto el IPSE realizo una clasificación político administrativa de las localidades con SSFH de las ZNI del país correspondiente con El Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE el cual realiza una clasificación de población urbana y rural utilizadas en los censos de los países latinoamericanos [15], estos conceptos se pueden aplicar a las localidades con SSFH en ZNI dichos conceptos se describen a continuación:

1. Cabecera Municipal (CM): se define…"*el área geográfica que está definida por un perímetro urbano, cuyos límites se establecen por acuerdos del Concejo Municipal. Corresponde al lugar en donde se ubica la sede administrativa de un municipio*" [16].

2. Centro poblado (CP): es un concepto creado por el DANE para fines estadísticos, útil para la identificación de núcleos de población. Se define como…"*una concentración de mínimo veinte(20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área rural de un municipio o de un Corregimiento Departamental. Dicha concentración presenta características urbanas tales como la delimitación de vías vehiculares y peatonales. En las tablas referidas a la codificación de la Divipola, se identifican en la columna "Categoría" con la expresión o etiqueta "CP", indicando que si bien se trata de un centro poblado, no se cuenta con la precisión de la autoridad municipal, que permita afirmar si se trata de un caserío, de una inspección de policía, o de un corregimiento municipal" [16].*

3. Localidad Menor (LM): se define como…"*la disposición dispersa de viviendas y explotaciones agropecuarias existentes en ella. No cuenta con un trazado o nomenclatura de calles, carreteras, avenidas, y demás. Tampoco dispone, por lo general, de servicios públicos y otro tipo de facilidades propias de las áreas urbanas*" [16].

De los términos definidos anteriormente se presenta la Tabla 8. En la que se clasifica político administrativamente los usuarios de las SSFH implementadas en las ZNI del país.

CLASIFICACIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA	USUARIOS	LOCALIDADES CON SSFH EN ZNI	%USUARIOS	%LOCALIDADES
Cabecera municipal	9050	3	82	16
Centro poblado	1282	11	12	58
Localidad menor	624	5	6	26
Total	10956	19		

Tabla 8. Clasificación político administrativa de SSFH en ZNI, Fuente:[4]

En Colombia las SSFH implementadas en ZNI benefician a 10.956 usuarios distribuidos en 19 localidades de 5 Departamentos capitales, en la Fig.7. se observa el porcentaje de usuarios y el porcentaje de localidades donde se han implementado las SSFH que pertenecen a una Cabecera municipal, Centro poblado y Localidad menor según su clasificación político administrativa[17].

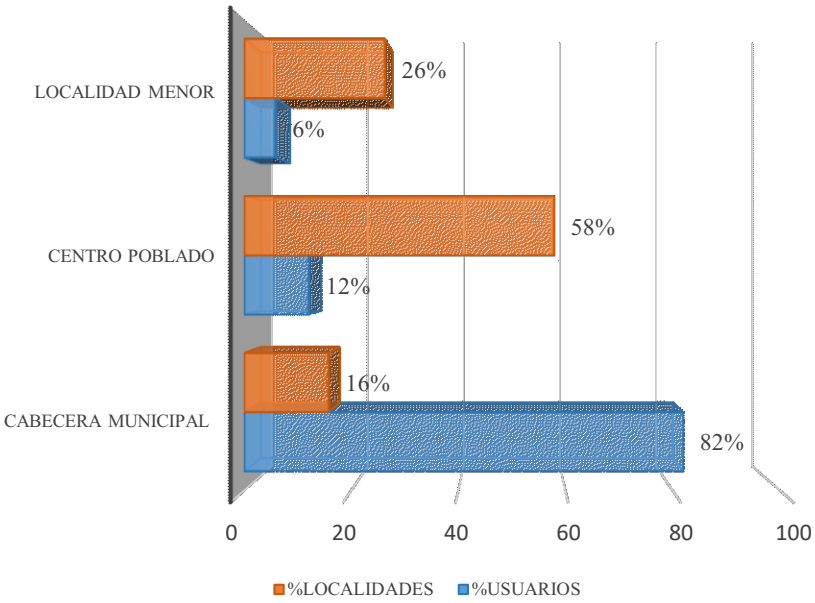


Fig.7. Capacidad total instalada Departamentos con SSFH en ZNI, Fuente: Autores

En la Fig.7. se puede observar que de las SSFH implementadas en las ZNI del país el 82% del total de usuarios pertenece a una cabecera municipal distribuidos de la siguiente forma: 2536 usuarios en la localidad de Ungia, 355 usuarios en la localidad de Barrancominas y 6159 usuarios en la localidad de Inirida . El total de las localidades de las SSFH en las ZNI que pertenecen a un Centro poblado corresponde al 58% conformado por: Loma linda, Palmeras, Vergel, Yaguas, Santa Teresita, Isla Fuerte, Isla Mucura, Santa Cruz del Islote, Titumate, Nazareth y Puerto Estrella de los departamentos de Amazonas, Bolívar, Choco y Guajira.

En la Tabla 3. se exponen las localidades de las SSFH implementadas en las ZNI que cuentan con la tecnología de telemetría, esta tecnología busca que los usuarios gestionen su propio consumo, para lo cual se aplica el concepto de prepago, mediante un sistema de comunicaciones los usuarios pueden hacer recargas desde cada una de las comunidades al operador de red el cual controla el sistema de manera centralizada [18].

Como se menciono anteriormente los operadores de red serán los encargados de gestionar la activación del servicio de energía eléctrica según la demanda solicitada por los usuarios mediante el sistema prepago esto trae beneficios energéticos y propone un papel activo en la gestión de la demanda de la energía por parte de los usuarios finales [19], los encargados de desarrollar este papel son los operadores de red de cada departamento [20], como se describen en la Tabla 9.

TIPO DE PRESTADORES	EMPRESAS	TOTAL LOCALIDADES
EMPRESAS DE SERVICIOS PUBLICOS E.S.P	EMPRESAS DE SERVICIOS PUBLICOS E.S.P	14
ENTIDADES TERRITORIALES	ALCALDIA MUNICIPAL	2
COMUNIDADES ORGANIZADAS	COOPERATIVAS	3
TOTAL		19

Tabla 9. Tipo de prestadores de servicio de energía eléctrica de SSFH en ZNI, Fuente:[4]

En la Tabla 9. se observa la distribución total de localidades con SSFH en ZNI según el operador de servicio de energía eléctrica del Departamento, según el tipo de prestador en el total de las localidades con SSFH, el 74% de las localidades cuentan con el servicio de energía eléctrica gracias a empresas de servicios públicos , 16% del total de localidades con SSFH en ZNI cuentan con el servicio de energía eléctrica gracias a Cooperativas de comunidades organizadas y el 10% equivale al total de localidades que cuentan con el servicio de energía eléctrica gracias a entidades territoriales a cargo de las alcaldías municipales.

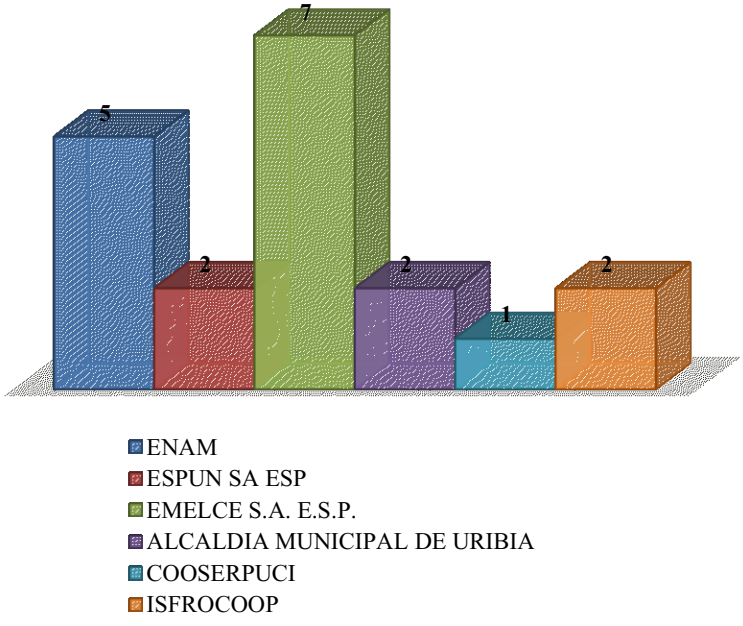


Fig.8. Total de localidades beneficiadas con SSFH en ZNI según el operador de red, Fuente: Autores

De la Fig.8. se puede inducir que el operador de red con mayor presencia en las localidades con implementación de SSFH en ZNI es la EMPRESA DE ENERGÍA DEL GUAINÍA LA CEIBA S.A. E.S.P. - EMELCE S.A. E.S.P. con un total de 7 localidades correspondiente al 36.8% del total de las localidades con SSFH en el país, en segundo lugar se encuentra ENERGÍA PARA EL AMAZONAS S.A. E.S.P. – ENAM con un total de 5 localidades correspondiente al 26.3% del total de las localidades con SSFH del país, en tercer lugar se encuentran las siguientes empresas: EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS DE UNGUIA S.A. E.S.P. - ESPUN S.A. E.S.P. con un total de 2 localidades equivalente al 10.5% del total de SSFH, ALCALDIA MUNICIPAL DE URIBIA con un total de 2 localidades equivalentes al 10.5% del total de SSFH, COOPERATIVA PRESTADORA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARES ISLOTE Y MUCURA – ISFROCOOP con un total de 2 localidades equivalentes al 10.5% del total de SSFH y por último en cuarto lugar se encuentra COOPERATIVA COMUNITARIA DE SERVICIOS PUBLICOS DE ISLA FUERTE – COOSERPUDI con 1 localidad equivalente a 5.3% del total de SSFH implementadas en el país.

VII. Conclusiones

1. Después de analizar las soluciones solares fotovoltaicas híbridos presentes en las ZNI de Colombia mediante sus 19 localidades ubicadas en 5 departamentos se puede concluir que representan un total de 18.6 MW instalados atendiendo aproximadamente a 10.956 usuarios quienes actualmente cuentan con servicio de energía eléctrica continua que no solo representa una solución energética en ZNI si no una mejora en la calidad de vida de los habitantes de estas localidades.

2. El trabajo cooperativo al integrar plantas de generación Diesel con sistemas solares fotovoltaicos incide en un índice mayor de aprovechamiento de energías no convencionales o energías renovables, esto favorece en la ampliación en las horas de prestación del servicio de energía eléctrica, con un total de 4.6 MW de capacidad renovable que entre sus ventajas posee la disminución del consumo de combustible gracias a la adhesión de SSFH y la disminución en la emisión de gases contaminantes locales.

3. Los sistemas híbridos de energía garantizan mayores niveles de confiabilidad en el suministro de la energía dada la complementariedad de las fuentes energéticas y sus respectivas tecnologías de transformación, en ese sentido el IPSE como actor relevante en las ZNI implementa y promueven este tipo de sistemas energéticos aprovechando las ofertas energéticas disponibles localmente, dinamizando así las fuentes no convencionales de energía como alternativa para ampliar la cobertura eléctrica.

4. Los proyectos solares fotovoltaicos híbridos llevados a cabo por el Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para zonas no interconectadas IPSE permite a localidades de ZNI que disponen de un servicio de energía eléctrica de 4 o hasta 8 horas al día, un servicio continuo de energía soportado por paneles solares fotovoltaicos, bancos de baterías y un grupo electrógeno que garantizan la continuidad del servicio de energía eléctrica con mayor horas de servicio.

5. En lo indicado en la Fig. 3, intervienen diferentes fuentes energéticas según el intervalo horario o disponibilidad de recursos, en ese sentido el costo de generación expresado en $/kWh puede presentar variabilidad según la fuente que intervenga convirtiéndose en un indicador energético, que aunque no es el caso de estudio en el presente documento se crea un argumento relevante objeto de un análisis especializado

VIII. Referencias

[1] J. S. Patiño Abella, J. S. Tello Reyes, and J. A. Hernández Mora, “Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual,” *Elementos*, vol. 2, no. 2, 2013.

[2] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, “Caracterización Energética ZNI,” *IPSE*, 2021. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/.

[3] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, “Proyectos FAZNI - IPSE ZNI,” *IPSE*, 2021. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/mapa-del-sito/proyectos-ipse/proyectos-fanzi/.

[4] IPSE, “Reporte Localidades ZNI - Caracterización Energética,” 2021. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/cnm/caracterizacion-de-las-zni/.

[5] Centro Nacional de Monitoreo, “Potenciales Energéticos CNM,” *CNM*, 2021. [Online]. Available: http://190.216.196.84/ipse/?q=prestacion_servicio.

[6] IDEAM, “Potencial Fotovoltaico Irradiación,” *IDEAM - IPSE*. [Online]. Available: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/programa-nacional-de-radiacion.

[7] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, “Seguimiento a la Prestación del Servicio de Energía en las ZNI Sistemas de Telemetría,” *IPSE*, 2021. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/cnm/prestacion-del-servicio/.

[8] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, “Informe Final ZNI Telemetría,” *IPSE*. [Online]. Available: https://ipse.gov.co/cnm/informe-semanal/.

[9] I. M. Ostos Rojas, C. A. Collazos Morales, H. E. Castellanos Acuña, and C. P. Fernández Arévalo, “ (PV) photovoltaic hybrid system with interaction to the network to rural areas of Colombia,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 8, no. 1, pp. 169–182, 2017.

[10] Asociación Municipal de Colonos del Pato - AMCOP, “Informe de calculos para sistema solar fotovoltaico,” *ABB*, 2017.

[11] S. Santa, “Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en Pereira – Colombia,” *Nafarroako Unibersitate Publikoa*, p. 88, 2014.

[12] CREG, “Complementacion de la resolución CREG 091 de 2007.” p. 6, 2007.

[13] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 182138 de 2007 - Porcedimientos subsidios ZNI.” p. 4, 2007.
[14] J. H. Florez, “Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZNI) en Colombia - Un análisis de la estructura institucional,” 2009.
[15] Departamento Administrativo Nacional de Estadísitca, “Manual de conceptos,” *Censo Nac. Poblac. y Vivienda*, p. 32, 2018.
[16] J. G. Sedeño and J. E. C. Becerra, “Conceptos básicos DANE,” *Análisis circuitos eléctricos Estado Establ.*, pp. 1–21, 2018.
[17] DANE, “CODIFICACIÓN DE LA DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DE COLOMBIA - DIVIPOLA,” *DIVIPOLA*, 2021. [Online]. Available: https://www.dane.gov.co/index.php/sistema-estadistico-nacional-sen/normas-y-estandares/nomenclaturas-y-clasificaciones/nomenclaturas/codificacion-de-la-division-politica-administrativa-de-colombia-divipola.
[18] Ministerio de Minas y Energía, “Fondo de Energia Social FOES - PREPAGO,” *Minist. minas y energia,* pp. 1–11, 2012.
[19] Empresas Publicas de Medellin, “Sistema de Energia Eléctrica PREPAGO,” *EPM*, 2021. [Online]. Available: https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/boletines-estamos-ahi/precarga-energia-prepago.
[20] CREG, “Lista de Operadores de Red- Empresas de Enérgia Comercialización,” *CREG*. [Online]. Available: http://cregas.creg.gov.co/pls/directdcd/directorio_fmt.listar_sector_pub?sectact=EC.