

**Sistemas de Generación Solar como alternativa para superar la Pobreza Energética del
Municipio de Vigía del Fuerte del Departamento de Antioquia**

Carlos Mario Rosas Palomino, C.C. 76'306.499

Johan Felipe Rincón Jaramillo, C.C. 98'778.922

Director

Arley Humberto Rodríguez Tejada

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Especialización en Gestión de Proyectos

Medellín

Julio de 2019

Nota de aceptación

Firma de los Estudiantes

Abstract

In Colombia, electric power is obtained mainly through hydroelectric power plants, thermal power stations and, to a lesser degree, eolic power plants; these plants are integrated in the Interconnected National System (SIN in Spanish) an organism which supervises, coordinates, and controls the delivery of a safe, reliable, and high-quality power service to the inhabitants of the country. Unfortunately, there are areas which are not yet connected to the system on account of a number of reasons; in the Antioquia department (region), for example, there is a lone municipality disconnected from the SIN, Vigía del Fuerte.

The projects for solar panel generated power are wide spreading every day, worldwide as well as in the country: Granjas Solares and Celsia Solar Bolívar (solar farms) are currently working local projects through which this kind of power generation becomes an option for places not connected to the SIN. Given the current situation in Vigía del Fuerte, where the power is provided by ACPM-based electrical plants (which are unreliable and have a high-pollution factor) the implementation of electric power generation through solar panels has been analyzed, in order to replace the existing ones; Additionally, the conformation of the system has been revised (its pros and cons, the state of the art, among other characteristics) and it has been finally concluded that this option for the generation of electric power is sustainable in time as a means to solve the electric power scarcity the municipality of Vigía del Fuerte is facing; all of this is possible, as long as the implementation is matched with social programs in the region that raise awareness on the importance of projects such as this one.

Resumen

En Colombia, la generación de energía eléctrica se realiza principalmente a través de plantas hidroeléctricas, plantas térmicas y, en menor proporción, plantas eólicas; estas se integran al Sistema Interconectado Nacional -SIN-, el cual es supervisado, coordinado y controlado, con el fin de entregar a los habitantes del territorio nacional un servicio de suministro de energía eléctrica con calidad, confiabilidad y seguridad. Desafortunadamente, existen zonas que aún no cuentan con interconexión a dicho sistema por diferentes razones; en el departamento de Antioquia, por ejemplo, el único municipio que no se encuentra conectado al SIN es Vigía del fuerte.

Los proyectos de generación de energía eléctrica, mediante paneles solares, cada día ganan más fuerza en el mundo y en nuestro país: Granjas solares y Celsia solar Bolívar son proyectos locales, actualmente en funcionamiento, que hacen de esta posibilidad de generación de energía eléctrica una opción para los lugares sin interconexión al SIN. Por esta razón y, ante la situación actual de Vigía del Fuerte, donde el servicio de electricidad se entrega por medio de plantas eléctricas a base de combustión de ACPM (que tienen poca fiabilidad y su factor funcional es bastante contaminante), se analiza la factibilidad de implementación de un sistema de generación eléctrica a partir de paneles solares, el cual reemplace las plantas eléctricas existentes; adicionalmente, se revisa la conformación de este sistema, sus pros y contras, el estado del arte, entre otros, para finalmente concluir que esta alternativa de generación eléctrica es una opción sostenible en el tiempo para dar solución a la pobreza energética que enfrenta hoy el municipio de Vigía del Fuerte siempre y cuando vaya de la mano de un trabajo social que genere conciencia en la región sobre la importancia de proyectos como este.

Tabla de Contenido

Sistemas de Generación Solar como alternativa para superar la Pobreza Energética del.....	i
Abstract	iii
Tabla de Contenido	i
Introducción	3
Planteamiento del problema.....	5
Justificación.....	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos.....	7
Generalidades del municipio de Vigía del fuerte	8
Localización, demografía, rutas de acceso.....	8
Problemática por las condiciones de suministro de electricidad.....	9
Situación social - Sesgos del conflicto armado en la región	13
Realidad histórica en la región hasta hace 5 años	14
Situación social durante el proceso de paz.....	14
Situación social concluido el proceso en el ETCR	15
Estado actual del servicio de energía eléctrica en Vigía del Fuerte	17
Marco teórico - Generación de energía eléctrica con energía solar	21
Tipos de instalaciones de sistemas de energía solar.....	23
Instalación conectada a la red: (On-Grid).	23
Instalación aislada o desconectada a la red: (Off-Grid).	24
Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	25
Ventajas de la energía solar fotovoltaica	25

Desventajas de la energía solar fotovoltaica	29
Mantenimiento de placas solares	32
Casos aplicados - Lecciones aprendidas	34
Programa de apoyo para la energía solar (SSP), caso comparativo internacional	34
Ámbito local: Empresas nacionales que optaron por la energía solar fotovoltaica	35
Océano Verde.....	36
La Compañía Nacional de Chocolates.....	36
Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT-.....	36
Universidad Autónoma de Occidente.....	37
Centro Comercial La Reserva.....	37
Almacén Década 10.....	37
Centro de Convenciones de Cartagena.....	37
Legislación Colombiana para la generación de energía fotovoltaica.....	38
Financiación de proyectos de generación de energía eléctrica con energía solar	39
Factibilidad del proyecto.....	45
Factibilidad técnica	45
Factibilidad económica	56
Factibilidad legal.....	62
Factibilidad operacional.....	62
Recomendaciones y aprobación.....	63
Conclusiones	64
Referencias Bibliográficas	66

Introducción

El impacto ambiental generado en las últimas décadas por las altas emisiones de gases de efecto invernadero que realizamos como especie y las consecuencias que estas traen, ha empezado a plantear la importancia del uso de energías limpias; llamadas así porque se obtienen mediante la utilización de los recursos renovables del planeta, los cuales tienen el potencial para generar energía en diferentes formas, mediante procesos elaborados, los cuales son amistosos con el medio ambiente.

El uso de la energía solar en Colombia cada día cobra más peso y se ha venido convirtiendo en una alternativa de solución a problemáticas que tienen alto impacto en la calidad de vida de los habitantes de ciertas poblaciones; que por diversas circunstancias tienen acceso parcial o no cuentan con un sistema de alimentación de energía eléctrica.

Las políticas gubernamentales actuales a favor de sistemas de generación de energías limpias hacen de la energía solar una opción atractiva de explorar alternativas de esta índole, las cuales orientan al país al desarrollo de proyectos en beneficio de comunidades vulnerables.

En adelante se hace referencia al marco teórico de la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar, la composición de dichos sistemas y el Know how; ya que se presume como una solución para cerrar la brecha del 3% de cobertura del servicio de energía eléctrica que según el Comité Colombiano de la Comisión de Integración Energética Regional (COCIER,2018) falta por suplir en el departamento de Antioquia.

Este trabajo analiza si los requisitos y las características de los sistemas de generación eléctrica a partir de la radiación solar son aplicables específicamente al municipio de Vigía del Fuerte, el cual fue el foco de estudio; se evalúa sí mediante el aprovechamiento de la fuente

calórica natural y de irradiación solar se puede suplir la necesidad de generación de energía eléctrica de esta localidad, la cual nunca ha estado interconectada al SIN y para la cual el gobierno no devala una solución viable de interconexión eléctrica en el corto plazo.

Para abordar este estudio se parte de una exploración por las Generalidades del municipio de Vigía del fuerte en cuanto a localización, demografía, condiciones de acceso al suministro de energía, estado del servicio y situación social. Se presenta luego un marco de referencia acerca de la Generación de energía eléctrica con energía solar, sus ventajas y desventajas y algunas lecciones aprendidas, luego se explora la Legislación Colombiana para la generación de energía fotovoltaica para encarar el análisis de factibilidad desde diferentes miradas y finalmente se presentan recomendaciones y conclusiones.

Descriptor palabras claves:

Pobreza energética, recursos renovables, paneles solares, energías limpias, cobertura del sistema de energía eléctrica, inclusión social, nuevas tendencias de generación eléctrica, fuentes alternativas de energía, generación no convencional.

Planteamiento del problema

¿Son viables los sistemas de generación de energía eléctrica a través de paneles solares para dar solución a la problemática de pobreza energética que se presenta en el municipio de Vigía del Fuerte del departamento de Antioquia? ¿de ser el caso, como estaría constituido el sistema?

Justificación

En la Sentencia T-761/15, la Corte Constitucional relaciona el servicio público de suministro de energía eléctrica con el disfrute de derechos fundamentales como la vida, la salud, y la integridad personal; adicional a esto en la sociedad actual el acceso a la energía es una condición para llevar a cabo actividades de la vida cotidiana relacionadas con la cultura, el estudio, la informática, la recreación, el deporte e incluso actividades del día a día en un hogar promedio asociado a poder contar con condiciones ambientales óptimas de calefacción, aire acondicionado, condiciones de conservación y refrigeración de alimentos, entre otras.

Uno de los compromisos de la comunidad internacional en la superación de la miseria, está ligado con la garantía del acceso a la energía eléctrica y de manera conexas con el disfrute de una vivienda adecuada. Superar la brecha de la pobreza requiere entonces dejar atrás las limitaciones en materia de energía; este tema ha sido tratado, entre otras, por parte de las Naciones Unidas y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe -Cepal-, para ilustrar la situación de millones de personas en el mundo que no cuentan con condiciones mínimas para garantizar una buena calidad de vida. (García, 2014, p.7)

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, se pretende realizar la investigación de factibilidad de los sistemas de generación eléctrica, a partir de energía solar, como opción para remediar la condición de pobreza energética de Vigía del Fuerte, incluyendo además su impacto en el medio ambiente; dado que la forma de generación de energía eléctrica actual, es a base de combustibles fósiles que generan emisiones contaminantes al medio ambiente y es insuficiente desde el punto de vista de la cobertura.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la factibilidad de implementar sistemas de generación de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos como opción de solución a la pobreza energética que atraviesa el municipio de Vigía del Fuerte del departamento de Antioquia.

Objetivos Específicos

- Reseñar las condiciones demográficas y sociales de la localidad Vigía del Fuerte como marco de referencia que permita determinar la razón de su problemática de interconexión eléctrica.
- Identificar el actual nivel de prestación del servicio de energía eléctrica mediante sistemas convencionales (grupos electrógenos) en Vigía del fuerte.
- Conocer el marco de la referencia de la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos e investigar casos aplicados como comparativo de la solución buscada, con el fin de identificar las probabilidades de éxito en su aplicación.
- Determinar si los sistemas alternativos a base de energía solar son factibles de implementar en el municipio de Vigía del Fuerte.
- Establecer los beneficios que se pueden obtener mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos en el municipio de vigía del fuerte.

Generalidades del municipio de Vigía del fuerte

Localización, demografía, rutas de acceso

El municipio de Vigía del Fuerte se localiza al occidente del departamento de Antioquia en la subregión de Urabá y cuenta con una extensión de 1780 km², tal como se muestra en la *Figura 1*. Se ubica a la rivera derecha del río Atrato, a una distancia de 303 km de la ciudad de Medellín, capital de departamento.

Según los resultados del censo realizado en el año 2018 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, el municipio de Vigía del Fuerte cuenta con 8.139 habitantes (de los cuales aproximadamente el 63% se localiza en zona rural y el 37% en el casco urbano), conformando 2.299 hogares que habitan 2.764 unidades de vivienda.

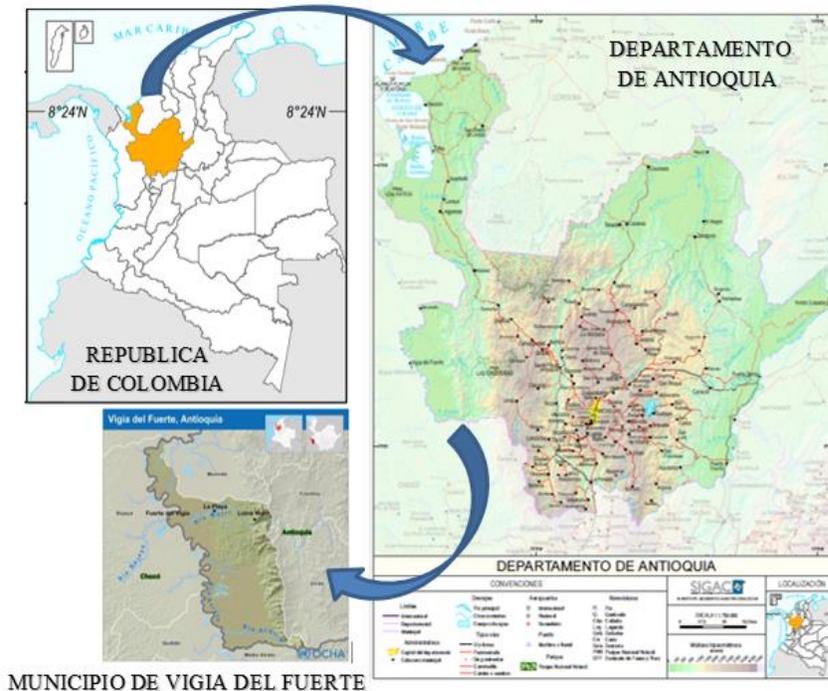


Figura 1. Localización municipio Vigía del Fuerte.

Fuente: https://geoportal.igac.gov.co/sites/geoportal.igac.gov.co/files/geoportal/cartogedeantioquia_v5.pdf

Según el instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2016), los límites del municipio Vigía del Fuerte son los siguientes: por el norte colinda con el municipio de Murindó, por el este con los municipios de Urrao y Frontino y por el sur oeste con el departamento de Chocó.

El municipio de Vigía del Fuerte no se encuentra comunicado por vía terrestre debido a que se encuentra rodeado de selvas tropicales, su acceso se realiza por vía aérea, mediante el uso de avionetas. El itinerario más frecuente es con la ciudad de Medellín, cuya duración aproximada es de 45 minutos, también se puede llegar por vía fluvial desde la ciudad de Quibdó, capital del departamento de Chocó, a través de un recorrido estimado de 4 horas; el transporte en lancha hacia la localidad de Turbo, en el Golfo de Urabá, es de aproximadamente 6 horas.

Problemática por las condiciones de suministro de electricidad

A continuación, se relacionan los aspectos especialmente relevantes para el municipio debido a la falta de suministro de energía eléctrica permanente y confiable.

- Condiciones climáticas:

Debido a que el municipio de Vigía del Fuerte se ubica en la región Pacífico de Colombia, tal como se muestra en la *Figura 2*, cuenta con un clima cálido súper húmedo, definido así por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, con características climáticas propias de la región (Ver *Figura 3*), tales como: piso térmico subtropical, temperatura media anual entre el 26 y 28 grados centígrados, lluvias constantes y humedad relativa entre el 85% y el 90%; además de estar rodeado de selvas tropicales.

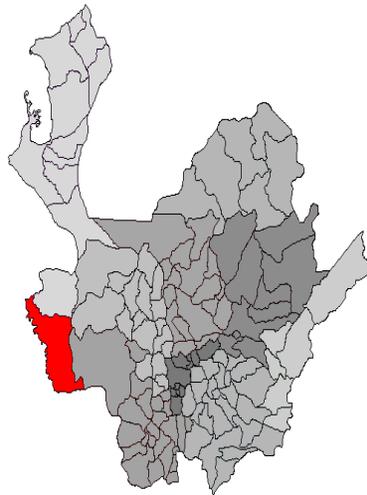
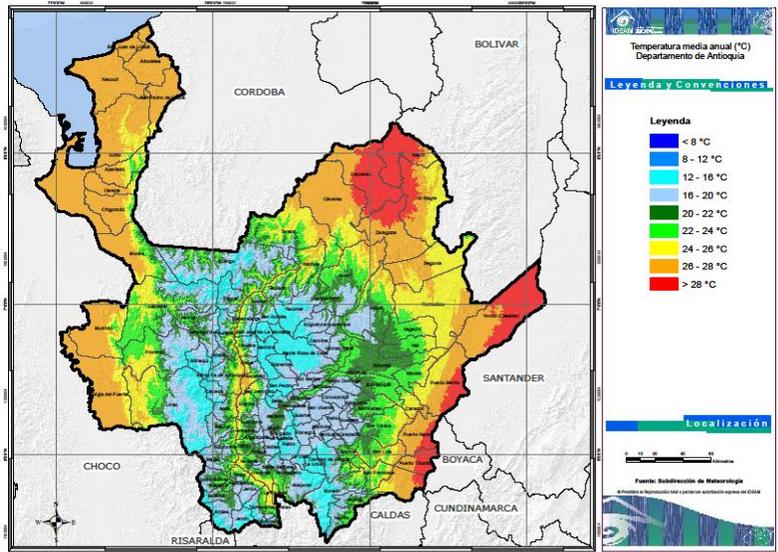


Figura 2. Temperatura media anual - departamento de Antioquia, Municipio de Vigía del Fuerte.
 Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/temperatura-antioquia.pdf>

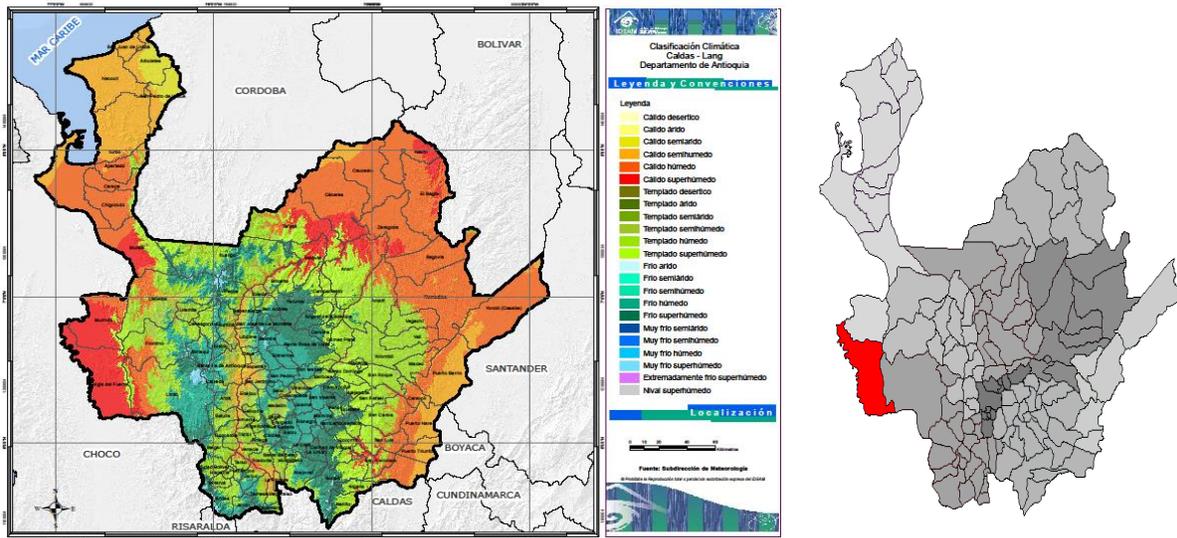


Figura 3. Clasificación climática –departamento de Antioquia, municipio Vigía del Fuerte.
 Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-antioquia.pdf>

Las condiciones climáticas hacen que, para los habitantes del municipio, sea aún más crítico el no contar con energía eléctrica permanente.

- Educación:

Para el confort de los estudiantes durante las horas de clase, se debe contar en forma permanente con aire acondicionado y/o ventiladores suficientes que permitan que la actividad sea continua y no tener que suspender clases por las altas temperaturas que se presentan.

- Salud:

Tal como lo indica el periódico El Colombiano en su artículo del 27 de septiembre de 2018 actualmente el Hospital ESE Atrato Medio Antioqueño Vigía del Fuerte no da abasto para la atención de residentes, tanto del municipio como de municipio vecinos, y las instalaciones actuales, con una única sala de atención y un solo ventilador, hace que la sensación térmica sea mayor al interior que en el exterior del hospital. Adicionalmente, el estado de los medicamentos

que requieren temperaturas específicas y las salas de procedimientos como partos son un tema álgido.

- Economía:

El Municipio de Vigía del Fuerte se sustenta básicamente en el sector primario y muy especialmente en la agricultura, la pesca y la extracción de madera, siendo ésta última bastante importante, dado que es alta generadora de empleo. De acuerdo con las condiciones de producción (formas tradicionales, con ausencia de capacitación y acceso a la tecnología y sin o muy pocos canales de comercialización de sus productos), no se generan excedentes económicos suficientes para satisfacer sus necesidades básicas. A todo lo anterior se suma el hecho de que las comunidades se encuentran muy dispersas y a grandes distancias de los centros de comercialización. (Alcaldía Vigía del fuerte, 2012, p.48)

De las actividades económicas del Municipio la agricultura representa el 45%, la pesca el 35%, la extracción de madera 8%, pecuarias 5% y 7% otras actividades, predominan la economía campesina con sistemas tradicionales de producción con bajos niveles tecnológicos, de producción y rentabilidad de las unidades productivas con un tamaño de parcela por familia que generalmente no supera las 1.5 hectáreas en promedio. (Alcaldía Vigía del fuerte, 2012, p.51)

En este rubro económico, el mayor impacto de la falta de continuidad y fiabilidad del suministro de energía eléctrica es la afectación que sufre la comercialización de productos perecederos, algunos de los cuales requieren una cadena de frío que garantice una temperatura controlada que logre ofrecer un producto confiable para el consumidor. Aplica también para productos farmacéuticos.

- Turismo:

A pesar de que el municipio cuenta con una gran fortaleza asociada con la variedad de su cultura y de sus recursos naturales, en la actualidad, el turismo no es explotado, en parte porque para el turista no es atractivo carecer del cubrimiento de las necesidades básicas durante su estadía, muchas de las cuales dependen del suministro de electricidad. Adicional a lo anterior cabe mencionar el conflicto armado existente en la región.

- Telefonía e internet:

Aunque el municipio cuenta con el servicio de comunicación telefónica e internet, este no es masivo y además depende de la confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

Con base en lo anterior, se puede confirmar lo indicado en el Diagnostico Técnico del municipio Vigía del Fuerte, elaborado en el año 2012 por la Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia, en cuanto a la estratificación residencial; la mayor parte de la población se encuentra localizada en estrato 1, lo cual es consecuente con la ausencia parcial y, en algunos casos, total de servicios básicos como el de energía eléctrica. De igual forma, dicho estudio menciona que no se puede determinar si existe o no crecimiento económico, por la ausencia de información que permita determinar el estado actual de la economía de la región.

Situación social - Sesgos del conflicto armado en la región

La guerrilla de las FARC, con sus frentes 34 y 57, ha hecho presencia en la zona históricamente; el resumen de la situación de orden público en la región se divide en tres periodos relevantes: antes de los diálogos de paz entre el gobierno y la guerrilla de las FARC realizados desde el 2012 hasta el 2018, durante el proceso de resocialización de los

desmovilizados como consecuencia de dichos diálogos y después del proceso de paz, donde se supone que los excombatientes harían parte activa de la sociedad. A continuación, se presentan los elementos característicos de la situación social en los periodos señalados.

Realidad histórica en la región hasta hace 5 años

Semana (2014) refiere que actores armados como la guerrilla de las FARC con sus frentes 34 y 57, el bloque Elmer Cárdenas y bandas como los Urabeños, tuvieron control de la zona realizando actividades ilícitas de minería, tráfico de droga, extorsión a la población maderera y reclutamiento de jóvenes para fines delictivos, entre otros; manipulando las dinámicas sociales y afectando con su explotación los recursos naturales de la región.

La Oficina de la ONU para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, OCHA, señalaba en informe realizado en 2014 luego de visitar la zona rural del municipio de Vigía del Fuerte, que los enfrentamientos entre los actores armados no estatales y las operaciones militares sometieron a la población civil a restricción de movilidad y comunicación; limitando drásticamente sus labores diarias y por ende la posibilidad de adquirir alimentos y artículos básicos de primera necesidad.

Situación social durante el proceso de paz

La guerrilla de las FARC entregó las armas; acordaron un proceso de paz con el gobierno donde se crearon Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación -ETCR-, los cuales sirvieron para capacitar a los ex integrantes de dicha grupo, en pro de su reincorporación a la vida civil, preparación de proyectos productivos y atención de necesidades de formación técnica de las comunidades aledañas, en un modelo de reincorporación comunitaria, de conformidad con

el Decreto 1274 de 2017 y el Decreto 2026 de 2017; uno de ellos Vidri, el cual arropaba los excombatientes de Vigía del Fuerte.

Situación social concluido el proceso en el ETCR

El alto comisionado para la paz (2017) informa que tan pronto se cumplió el plazo pactado, el gobierno nacional, mediante Decreto 982 de 2018, decidió suprimir dos de los 26 sitios destinados a desarrollar la reincorporación económica y social de los excombatientes de la antigua guerrilla de las FARC, Vidri fue uno de esos dos.

Al entrar en vigencia el Decreto de disolución participaban del proceso un número bajo de excombatientes, lo cual representó un riesgo, dado que, sin tierras y oportunidades laborales tangibles, la posibilidad latente de recaer en las filas del conflicto fue alta. Además, suscitó alta probabilidad de vinculación a actividades extractivas ilegales como los focos de minería ilegal que aprovecharían afluentes al río Atrato y las características de este en cuanto a navegabilidad y salida al mar (ver *Figura 4*).



Figura 4. Recorrido río Atrato

Fuente: <http://especiales.semana.com/especiales/atrato-rio-sin-pais/index.html>

Estado actual del servicio de energía eléctrica en Vigía del Fuerte

En Colombia se genera energía eléctrica a través de plantas hidroeléctricas, eólicas y plantas de energía térmica, la cual se transmite y se distribuye hacia los centros urbanos, donde se comercializa para diferentes usos como el residencial, comercial e industrial, entre otros. Estos sistemas de distribución se encuentran interconectados a través del Sistema Interconectado Nacional -SIN-.

De otro lado, en nuestro país tenemos zonas geográficas de difícil acceso, las cuales no se encuentran conectadas eléctricamente al SIN; en estas zonas, las cuales se denominan como Zona No Interconectada -ZNI-, se utilizan plantas de generación de energía eléctrica que funcionan generalmente con combustible diésel.

El municipio de Vigía del Fuerte se encuentra localizado en una ZNI, debido a las condiciones selváticas y topográficas que lo rodean; al momento de realizar estudios de factibilidad, el alto costo, la posible afectación ambiental y la situación de orden público son factores relevantes que no ayudan a su interconexión por parte de los operadores del servicio eléctrico de la región ([COCIER],2018). Actualmente, la distribución de energía eléctrica de esta localidad se realiza mediante el uso de plantas eléctricas a base de combustible diésel, condición que genera que este servicio público no sea continuo, sea ineficiente y de alto costo para la gobernación local y el departamento. Lo anterior, sin duda, afecta el crecimiento económico de la región y la calidad de vida de sus habitantes.

Según los resultados del censo realizado por el DANE en el año 2005, el 67.4 % de las viviendas cuentan con conexión a la red de energía eléctrica del municipio. La distribución de la energía es realizada por la Empresa Municipal de Servicios Públicos Domiciliarios de Vigía del

Fuerte, EMSPUVIF, la cual cuenta con 23 plantas Diesel ubicadas en zona rural y 2 en la cabecera municipal, según la información existente en el Sistema Único de Información -SUI-.

Vigía del Fuerte es el único municipio del departamento de Antioquia que no se encuentra conectado al Sistema Interconectado Nacional, razón por la cual este suministra las plantas y el combustible para la generación de energía eléctrica (Ver *Figura 5*) y así suplir las necesidades de los habitantes, tanto de la zona urbana como de la zona rural.

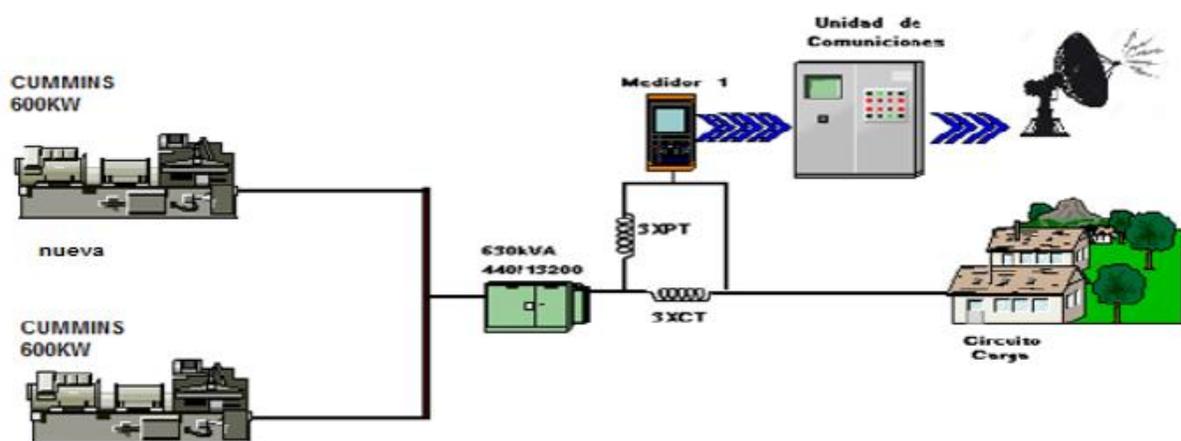


Figura 5. Diagrama de la localidad de Vigía del fuerte
Fuente: Informe mensual de telemetría 1-30 abril 2019 IPSE

El promedio expuesto en el informe de mediciones de telemetría del IPSE para el mes de abril de 2019 es de 8 horas y 23 minutos diarias; muy por debajo de la meta de 24 horas diarias (Ver *Figura 6*).

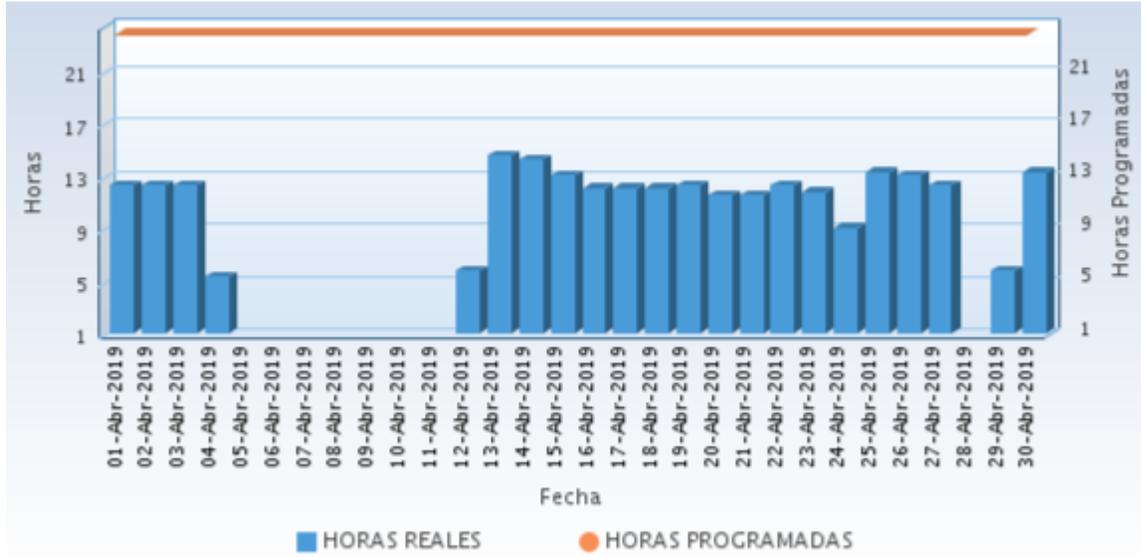


Figura 6. Horas efectivas de prestación del servicio de fluido eléctrico en Vigía del Fuerte en el mes de abril de 2019

Fuente: Informe mensual de telemetría 1-30 abril 2019 IPSE

Para referenciar la problemática de la ausencia de prestación del servicio y su precariedad, en la Figura 7, se tomaron los informes de telemetría del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas del primer trimestre de 2019 (IPSE,2019). En enero el promedio diario de prestación del servicio fue de 6 horas 45 minutos, en febrero 12 horas 47 minutos y en marzo 12 horas y 39 min. El promedio del primer trimestre de 2019 en cuanto a horas de prestación del servicio de fluido eléctrico en Vigía del Fuerte fue de 10 horas 44 min.

VIGIA DEL FUERTE - ANTIOQUIA					
(Horas de servicio de energía diario, Trimestre I - 2019)					
Enero	Horas de servicio promedio día	Febrero	Horas de servicio promedio día	Marzo	Horas de servicio promedio día
01-ene-2019	15 horas 45 Minutos	01-feb-2019	12 horas 15 Minutos	01-mar-2019	12 horas 15 Minutos
02-ene-2019	6 horas 45 Minutos	02-feb-2019	12 horas 30 Minutos	02-mar-2019	12 horas 15 Minutos
03-ene-2019	4 horas 15 Minutos	03-feb-2019	14 horas 15 Minutos	03-mar-2019	11 horas 15 Minutos
04-ene-2019	5 horas 15 Minutos	04-feb-2019	12 horas 15 Minutos	04-mar-2019	12 horas 45 Minutos
05-ene-2019	0 horas 0 Minutos	05-feb-2019	13 horas 30 Minutos	05-mar-2019	12 horas 30 Minutos
06-ene-2019	2 horas 0 Minutos	06-feb-2019	12 horas 30 Minutos	06-mar-2019	12 horas 0 Minutos
07-ene-2019	4 horas 15 Minutos	07-feb-2019	12 horas 30 Minutos	07-mar-2019	12 horas 15 Minutos
08-ene-2019	4 horas 0 Minutos	08-feb-2019	12 horas 30 Minutos	08-mar-2019	11 horas 45 Minutos
09-ene-2019	0 horas 0 Minutos	09-feb-2019	16 horas 0 Minutos	09-mar-2019	13 horas 15 Minutos
10-ene-2019	0 horas 0 Minutos	10-feb-2019	14 horas 45 Minutos	10-mar-2019	15 horas 15 Minutos
11-ene-2019	0 horas 0 Minutos	11-feb-2019	12 horas 0 Minutos	11-mar-2019	12 horas 30 Minutos
12-ene-2019	5 horas 0 Minutos	12-feb-2019	12 horas 30 Minutos	12-mar-2019	11 horas 30 Minutos
13-ene-2019	11 horas 15 Minutos	13-feb-2019	12 horas 15 Minutos	13-mar-2019	11 horas 45 Minutos
14-ene-2019	8 horas 0 Minutos	14-feb-2019	12 horas 0 Minutos	14-mar-2019	11 horas 30 Minutos
15-ene-2019	8 horas 45 Minutos	15-feb-2019	12 horas 30 Minutos	15-mar-2019	10 horas 45 Minutos
16-ene-2019	5 horas 15 Minutos	16-feb-2019	12 horas 0 Minutos	16-mar-2019	12 horas 15 Minutos
17-ene-2019	4 horas 15 Minutos	17-feb-2019	14 horas 15 Minutos	17-mar-2019	13 horas 0 Minutos
18-ene-2019	0 horas 0 Minutos	18-feb-2019	13 horas 45 Minutos	18-mar-2019	13 horas 15 Minutos
19-ene-2019	0 horas 0 Minutos	19-feb-2019	12 horas 15 Minutos	19-mar-2019	12 horas 0 Minutos
20-ene-2019	0 horas 0 Minutos	20-feb-2019	12 horas 15 Minutos	20-mar-2019	10 horas 45 Minutos
21-ene-2019	3 horas 45 Minutos	21-feb-2019	12 horas 30 Minutos	21-mar-2019	11 horas 15 Minutos
22-ene-2019	5 horas 15 Minutos	22-feb-2019	12 horas 0 Minutos	22-mar-2019	14 horas 45 Minutos
23-ene-2019	11 horas 30 Minutos	23-feb-2019	13 horas 30 Minutos	23-mar-2019	12 horas 15 Minutos
24-ene-2019	12 horas 15 Minutos	24-feb-2019	12 horas 15 Minutos	24-mar-2019	12 horas 0 Minutos
25-ene-2019	12 horas 45 Minutos	25-feb-2019	12 horas 15 Minutos	25-mar-2019	17 horas 15 Minutos
26-ene-2019	14 horas 0 Minutos	26-feb-2019	12 horas 30 Minutos	26-mar-2019	17 horas 30 Minutos
27-ene-2019	16 horas 30 Minutos	27-feb-2019	12 horas 0 Minutos	27-mar-2019	11 horas 30 Minutos
28-ene-2019	11 horas 45 Minutos	28-feb-2019	12 horas 15 Minutos	28-mar-2019	11 horas 15 Minutos
29-ene-2019	12 horas 0 Minutos			29-mar-2019	11 horas 45 Minutos
30-ene-2019	12 horas 0 Minutos			30-mar-2019	15 horas 45 Minutos
31-ene-2019	12 horas 30 Minutos			31-mar-2019	12 horas 15 Minutos

Figura 7. Tablas de prestación de servicio de fluido eléctrico en horas Vigía del Fuerte.

Fuente: Informes de telemetría IPSE. http://190.216.196.84/cnm/info_mes.php

Marco teórico - Generación de energía eléctrica con energía solar

La generación de energía eléctrica, a partir de la energía solar, es uno de los métodos más limpios de producción de energía ideado por el hombre hasta ahora, ya que consiste en captar la radiación solar y transformarla en electricidad (fotovoltaica) o en calor (térmica), convirtiéndose en un proceso comparable al mecanismo básico de las plantas para generar su energía, conocido como fotosíntesis.

Según la revista de divulgación Saber Mas de la universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Rafael Salgado expresa:

Los rayos solares son una fuente básica de energía inagotable, el 99.98% de la energía proviene del sol como energía radiante y equivale a $173,000 \times 10^{12}$ Watts -unidad de medida de la potencia eléctrica-, de la cual el 77% es reflejada o devuelta al exterior. El 23%, retenido en la tierra, se emplea casi todo en el ciclo hidrológico -evaporación, convección, precipitación y corrientes de agua, entre otras formas-; una pequeña fracción (0.2%) da lugar a olas, vientos y fenómenos de convección en la atmósfera, y una fracción aún menor (0.02 %) es capturada y transformada por las plantas en el proceso de fotosíntesis e ingresa de esta forma al sistema trófico que sustenta la vida sobre la tierra.

Esta gran cantidad de energía no aprovechada puede captarse para generar Energía Eléctrica. Una alternativa tecnológica moderna para obtenerla son los paneles solares, formados por celdas fotovoltaicas que transforman de manera directa la radiación solar en electricidad. Estas celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica (Ver *Figura 8*).

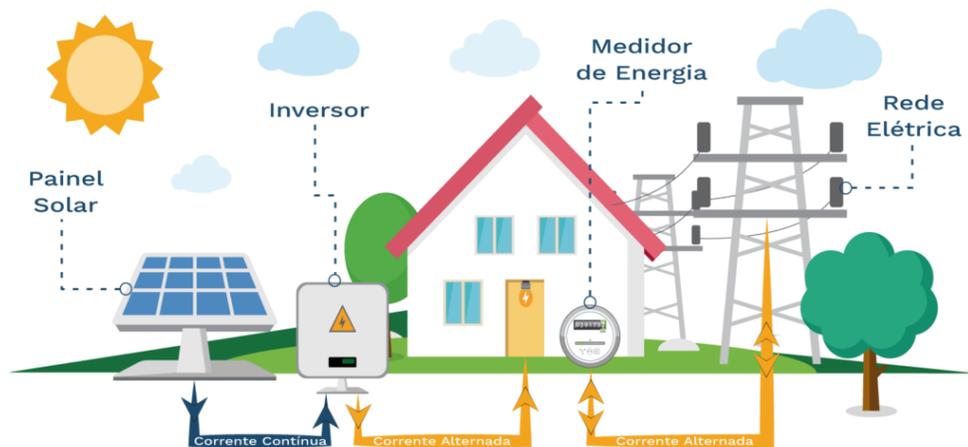


Figura 8. Esquema sistema de generación de energía solar simple

Fuente: <https://www.multiplaconstrutora.com.br/energia-solar/>

Las celdas de los paneles solares son hechas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de entregar cada una de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios. Estas celdas se colocan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado a las necesidades eléctricas (Ferichola, 2009).

En el proceso, los paneles captan la energía solar y la transforman en energía eléctrica, en forma de corriente continua, la cual se almacena en baterías para que pueda ser utilizada en cualquier momento, incluso después de la puesta del sol. Los paneles fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica aún en días nublados.

La energía fotovoltaica tiene muchas aplicaciones; con ella se puede disponer de electricidad en lugares alejados de la red de distribución eléctrica; tales como, casas de campo, refugios de montaña, bombeos de agua, instalaciones ganaderas, también se pueden alimentar sistemas de iluminación o balizamiento y sistemas de comunicaciones.

Eventualmente este tipo de energía se utilizaba para el suministro de energía eléctrica en lugares donde no era rentable la instalación de líneas eléctricas. Con el tiempo, su uso se fue

intensificando hasta el punto de que actualmente los países han desarrollado investigaciones orientadas a que las instalaciones que generan energía eléctrica, mediante la captación de energía solar, sean conectadas directamente a la red principal de transmisión de energía eléctrica nacional.

Tipos de instalaciones de sistemas de energía solar

Según Celsia (2018), las formas más comunes de instalación de sistemas de paneles solares en Colombia son:

Instalación conectada a la red: (On-Grid).

Este tipo de instalación permite aprovechar la energía del sol durante las horas del día, mediante un consumo instantáneo de la energía eléctrica; es decir, el usuario instala este sistema en sus techos o en su terreno y genera energía en las horas con presencia luz solar. Como el usuario también se encuentra conectado a la red de distribución eléctrica, su intención es consumir la energía proveniente de los paneles solares durante el día para reducir su consumo de la red eléctrica, y, dado que no cuenta con acumulación de energía (baterías), en las horas de la noche, el usuario toma la energía eléctrica de la red de distribución de la zona.

Este sistema es ideal para usuarios en zonas urbanas que consuman energía durante el día, tales como comercios, fábricas, industria, edificios, entre otros. Consta de: paneles solares fotovoltaicos, inversores de corriente, estructura para fijar los paneles, cableado y material eléctrico, y equipo de medición y monitoreo.

Instalación aislada o desconectada a la red: (Off-Grid).

Este tipo de instalación permite aprovechar la energía del sol durante las horas del día y de la noche; no depende de una conexión a la red de distribución eléctrica y es ideal para usuarios que estén alejados de la red eléctrica, zonas rurales y aisladas, y alumbrado público.

En este caso, los paneles solares generan energía eléctrica para los consumos del día y para cargar las baterías que almacenan la energía que se utiliza en la noche o en los periodos de poca radiación solar. Consta de: paneles solares fotovoltaicos, inversores de corriente, estructura para fijar los paneles, banco de baterías, controladores de carga, cableado y material eléctrico.

Componentes de un sistema off grid:

Básicamente, se necesitan cuatro elementos para armar un sistema de este tipo:

- Panel fotovoltaico y su respectivo soporte. Son expandibles con el tiempo y de fácil instalación, una vez armado el sistema.
- Regulador de carga. Los proveedores sugieren prever una expansión del sistema a futuro, lo que hace que este componente se calcule por encima de la capacidad necesaria para tener rango de amplitud.
- Batería de ciclo profundo. Son fácilmente ampliables, adicionando más baterías en paralelo y aumentando la capacidad. Se aconseja instalar marcas reconocidas y con trayectoria, con el fin de facilitar la expansión de su capacidad. Las baterías representan cerca del 40% del costo de la inversión.
- Inversor de CC a CA. Para convertir la señal de corriente continua entregada por los paneles en corriente alterna, que es la requerida debido a la naturaleza de la mayoría de las cargas, especialmente de los hogares.

Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Ventajas de la energía solar fotovoltaica

Recurso inagotable.

En algunos países no se dispone de fuentes hídricas suficientes o de combustibles fósiles, por lo tanto, deben importar combustibles como petróleo y gas o comprar energía eléctrica a países vecinos que la produzcan, con el consecuente incremento en los costos que ello conlleva. Otros países cuentan con algunas reservas de petróleo en su subsuelo, sin embargo, estas se van agotando, y en pocos años necesitarán tener implementados otros sistemas alternativos de generación de energía.

En países como Colombia, por ejemplo, a pesar de su gran riqueza hídrica, el impacto ambiental generado por la construcción de centrales hidroeléctricas y el alto costo de centrales térmicas, sumado a la delicada situación ambiental del planeta, ha llevado a la implementación de alternativas de generación de energías limpias como la energía obtenida a partir de la energía solar, cuya materia prima, el sol, es inagotable.

Disminución de los costos iniciales a mediano y largo plazo.

Aunque actualmente los costos iniciales de implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico son considerados como una desventaja, porque los elementos más representativos por su costo en el sistema son los paneles construidos a base de silicio y las baterías para el almacenamiento de la energía, a medida que avanza la tecnología, se lograrán a futuro disminuciones importantes en los costos, ya que contaremos con materiales alternativos de menor costo y mayor eficiencia, como lo referencia una de las leyes de la electrónica del silicio

más conocidas: “ Cada dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador” (Moore, 1965, p.114).

Lo anterior, sin mencionar la relación costo - beneficio a largo plazo entre la inversión inicial, los costos de mantenimiento y el ahorro en la cuenta de energía por disminución en el consumo de la energía de eléctrica tomada de la red nacional.

Impacto ambiental.

Comparado con otros sistemas de generación, la generación de energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica produce impactos ambientales mínimos, entre los cuales cabe resaltar los siguientes: como es considerado un recurso limpio, no se producen humos, olores ni desechos; tampoco se generan gases de efecto invernadero como el CO₂; no se contaminan las aguas; no se produce ruido, ya que se trata de una generación silenciosa.

En contraparte tenemos la generación por grupo electrógeno actualmente usada en Vigía del fuerte, en la cual, según datos de la calculadora de Sunearthtools, se emiten 175.74kg de CO₂ por cada kW generado (Sunearthtools, 2019).

Sistema fiable y duradero.

La generación energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica es considerada como un sistema confiable y duradero, siempre y cuando se realice el mantenimiento preventivo recomendado por los fabricantes.

Para el análisis de costos de un sistema fotovoltaico, se debe tener claro su tiempo de vida útil; es decir, la proyección de cuantos años serán eficientes sus partes o elementos antes de perder efectividad.

Aunque existen sistemas de energía fotovoltaica con más de 30 años y que en la actualidad continúan funcionando correctamente, su duración depende de la calidad de los materiales y de

los procesos utilizados por los fabricantes; en general, se considera que la vida útil promedio de los paneles varía entre 20 y 25 años.

Es de anotar que, los paneles solares no dejan de funcionar repentinamente; van presentando una disminución gradual de su efectividad hasta un momento en que ya no cumplen su función.

Generación en zonas aisladas.

Una de las grandes ventajas del sistema de energía solar fotovoltaica es que se puede utilizar tanto en zonas urbanas como en zonas rurales y se puede implementar para grandes y/o pequeñas comunidades, incluso para una sola vivienda.

Como el sistema se construye junto a los sitios de consumo, se logran ahorros en costos ya que no requiere infraestructura para transferir energía a sitios distantes, como es el caso de la generación hidroeléctrica o termoeléctrica, que requiere una red de interconexión para transportar la energía eléctrica a los centros de distribución.

La Figura 9 corresponde a uno de los primeros sistemas de generación de energía eléctrica mediante el uso de sistemas de energía solar fotovoltaica, instalado en Colombia, en el año 1996, sistema que proveía de 120 V_{AC} a doce familias y una concentración escolar.



Figura 9. Sistema Solar La Venturosa Vichada año 1996

Fuente: Revista de Ingeniería No 28 noviembre 2008 pp 87 Universidad de los Andes

Como se ha mencionado anteriormente, el municipio de Vigía del Fuerte está localizado en una zona aislada, razón por la cual no se encuentra conectado al Sistema Interconectado Nacional colombiano, en consecuencia, se considera una muy buena alternativa la implementación del sistema de energía solar fotovoltaica, tanto para el casco urbano como para las zonas rurales.

Además de las ventajas mencionadas anteriormente, con la generación de energía eléctrica a partir de energía solar en Vigía del Fuerte, se puede lograr:

- El desarrollo de proyectos productivos de biocomercio, los cuales impactan la calidad de vida de los habitantes y mejoran sus condiciones de poder adquisitivo y desarrollo social; la Jagua y el Naidi son especies de colorantes naturales y alimenticias producidas en esta región, que tienen una gran demanda en el exterior, por tanto, es viable su comercialización, siempre y cuando se garantice su condición principal de enfriamiento.
- Con la fiabilidad del sistema de generación a través de paneles solares se mejora la calidad de vida de sus habitantes, dado que se logra integración social y aprendizaje a través de herramientas tecnológicas que facilitan el desarrollo del conocimiento y la interacción con otras regiones y culturas.

Construcción Modular, poco mantenimiento.

Una de las ventajas de esta tecnología es que su construcción es modular, lo que permite fabricar desde pequeños paneles, útiles para los techos de las casas, hasta grandes plantas fotovoltaicas que pueden generar gran cantidad de energía, y los gastos de mantenimiento son

mínimos, solo con agua y jabón periódico se garantiza el buen estado de estos. A modo de referencia, algunos fabricantes recomiendan realizar entre 3 y 4 limpiezas al año.

El proceso de limpieza es muy sencillo, radica en el uso de agua y jabón, teniendo cuidado de no utilizar detergentes y/o esponjas abrasivas que puedan afectar la superficie del panel e idealmente se buscan detergentes altamente biodegradables.

Desventajas de la energía solar fotovoltaica

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar existen algunas desventajas, las cuales debemos tener en cuenta para el análisis de su implementación en el municipio de Vigía del Fuerte.

Variación de la radiación solar.

Uno de los principales aspectos para tener en cuenta en la implementación de estos sistemas es la radiación solar, ya que su eficiencia depende de las horas de sol con que se cuente diariamente. Entre los factores geográficos que afectan la radiación solar se encuentran: la nubosidad, la temperatura ambiente, la altitud, la topografía y la época del año, ya que en verano el sistema es más eficiente.

Según Celsia (2018), en Colombia la radiación promedio uniforme es de 4,5 kWh/m² durante el año, la cual supera el valor promedio mundial de 3,9 kWh/m²/d. De acuerdo con lo indicado en la *Figura 10*. Potencial de la energía solar en Colombia por regiones, el potencial solar de la Costa Pacífica, región donde se localiza el municipio Vigía del Fuerte, es aproximadamente el 58 % del máximo potencial mundial.

Región del país	Radiación Solar (kWh/m ² /año)
Guajira	2 000 - 2 100
Costa Atlántica	1 730 - 2 000
Orinoquía-Amazonía	1 550 - 1 900
Región Andina	1 550 - 1 750
Costa Pacífico	1 450 - 1 550

Figura 10. Potencial de la energía solar en Colombia por regiones

Fuente: Revista de Ingeniería No 28 noviembre 2008 pp 87 Universidad de los Andes.

Según lo indica el Atlas Climático de Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, mostrado en la Figura 11, el municipio de Vigía del Fuerte registra un rango diario de entre 3 y 4 horas de brillo solar.

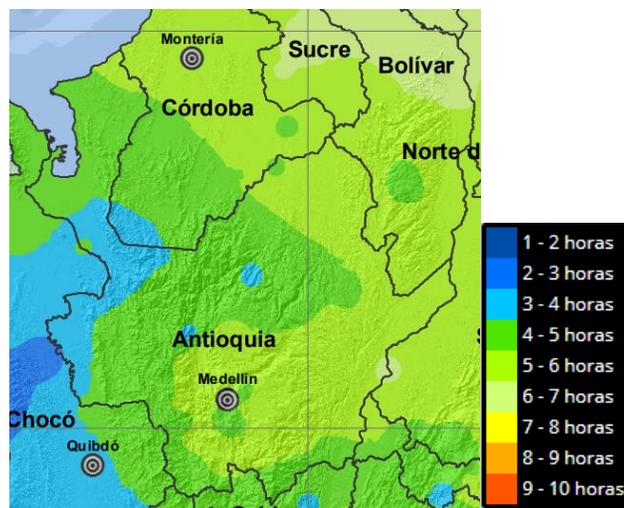


Figura 11. Horas de brillo en Antioquia

Fuente: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/BrilloSolar_Anual.pdf

Impacto visual.

Dado que los paneles solares ocupan grandes áreas, dependiendo de la capacidad del sistema, se puede generar un impacto visual que se recomienda considerar desde la etapa de diseño. En las grandes ciudades, por ejemplo, son instalados en la parte superior de los edificios y/o terrazas, con algunas limitaciones o prohibiciones.

Para el caso de estudio, se requiere disponer de una extensión de terreno de aproximadamente 1.2 hectáreas en el Municipio de Vigía del Fuerte, en lo posible cerca del casco urbano, para disminuir costos en las líneas de transmisión de la energía.

El único impacto visual grave que podría generar la instalación del sistema de captación de energía solar en el municipio de Vigía del Fuerte se presentaría si los paneles solares son instalados en cercanías del radio de visibilidad de los pilotos de las avionetas al aterrizar en el aeropuerto de la localidad, lo cual podría generar riesgo al presentarse posibles reflejos del sol sobre los paneles. Por lo anterior, el sistema se debe localizar a más de 200 m de la pista del aeropuerto.

Impactos ambientales.

Es importante anotar que se presentan algunos impactos ambientales durante la fabricación de los elementos que se utilizan para la implementación de los sistemas de energía fotovoltaica, ya que quedan residuos que pueden ser tóxicos y que, de no disponerse de forma adecuada, pueden ocasionar daños importantes al medio ambiente.

A modo de información, el país con mayor producción de paneles solares es China; actualmente, los materiales más utilizados son el silicio y el plomo.

Es necesario conocer el nivel de toxicidad que tienen los materiales con que son construidos los paneles solares y su duración, con el fin de prever el manejo adecuado y su disposición al final de su vida útil.

Asimismo, un criterio similar se debe aplicar a las baterías usadas en el sistema de energía fotovoltaica para almacenar la energía generada. Como las baterías están construidas a base de plomo, no solo tienen efecto contaminante al medio ambiente, sino que también pueden afectar

la salud de los seres vivos; en ese sentido cabe resaltar que la operación del sistema obliga a gestionar la adecuada disposición final a los residuos especiales (en caso de reposición o desmantelamiento de los aparatos eléctrico-electrónicos) considerando lo estipulado en Decreto 2981 de 2013 que estipula la gestión integral de residuos sólidos.

De otro lado, para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, que básicamente consiste en el lavado de los paneles, en cuya actividad se requiere el uso de abundante agua, se debe garantizar detergentes de alta biodegradabilidad o disponer de un adecuado sistema de tratamiento de aguas antes del vertimiento en la red de alcantarillado y/o fuentes naturales, esto se debe a la necesidad de garantizar lo establecido en los decretos 1076 de 2015 y la resolución 631 de 2015, los cuales establecen los usos del recurso hídrico y señalan los parámetros y valores permisibles de vertimientos a cuerpos de aguas.

Finalmente, se puede destacar el impacto que se ha detectado en diversas especies de insectos acuáticos, en estudios realizados en países como Estados Unidos y Hungría, donde se determinó que dichas especies confunden la apariencia de los paneles solares con lagunas o charcos y terminan muriendo al intentar reproducirse mediante el depósito de huevos. El estudio indica que se pueden modular los paneles a instalar, de tal forma que este impacto se minimice.

Mantenimiento de placas solares

El mantenimiento de placas solares no es excesivamente complicado, aunque es indispensable para asegurar la mayor vida útil posible a los paneles, unos 25 años. El mantenimiento depende de diversos factores como la complejidad de la instalación o la climatología de la localización donde su ubica. Eso sí, en cierto modo también se puede hablar de una serie de normas de mantenimiento que podrían ser aplicadas a todas las placas solares:

Los paneles deben estar totalmente limpios para poder absorber la mayor cantidad de energía posible. Se calcula que un panel solar sucio o rallado puede producir entre un 15% y un 30% menos de energía. Para limpiar los paneles basta con aplicar agua y jabón en la superficie y frotar sin excesiva fuerza y esta actividad debe realizarse bimensualmente. No hay que limpiarlo nunca en seco puesto que puede tener arenas u otros cuerpos extraños que produzcan desperfectos en el panel. También se pueden limpiar con un cepillo de cerdas suaves. Hacer revisiones del depósito de baterías, pues contiene partes esenciales para la captación y transformación de energía. Se debe hacerle mínimo una revisión al año. También es importante que las gomas aislantes se encuentren en perfecto estado. Revisión periódica (cada 3 o 4 meses) de daños estructurales, como grietas, roturas, desperfectos provocados por temporales y en caso de encontrarse registrar para programar el correctivo respectivo. (Hernández, 2018, p.25)

Casos aplicados - Lecciones aprendidas

Programa de apoyo para la energía solar (SSP), caso comparativo internacional

World hábitat (2005) refiere: En Nepal un 85% de la población vive en zonas rurales, donde hay muy poca o ninguna infraestructura. La iluminación proviene de una o dos lámparas de queroseno con mecha, en las zonas de alta montaña es difícil adquirirlo, por tanto, la opción es quemar madera de pino. El Centro de Promoción de Energía Alternativa -AEPC-, organización estatal nepalesa que busca el fomento de soluciones de energía alternativas, lanzó un programa cuyo objetivo fue dotar las viviendas rurales de Sistemas Solares Domésticos -SHS- subvencionados por el gobierno (de un 20% a un 50%), según ubicación y tamaño de los sistemas. Los SHS, se utilizan principalmente para el suministro de luz, se instalan en zonas remotas donde no llega la red nacional de electricidad o donde no hay mini redes de las pequeñas centrales hidroeléctricas. Se trata de sistemas autónomos de energía solar que proporcionan suficiente electricidad para dos o cuatro bombillas y dependiendo del valor de la subvención, la capacidad alcanza para otras aplicaciones, como el uso de la radio, la televisión, y otros electrodomésticos. World hábitat (2005) también complementa que:

Con los SHS, cada hogar ahorró una media mensual de 4,48 litros de queroseno. Esta cantidad de queroseno se traduce en unas 3 toneladas de emisiones CO₂ por vivienda que irían a parar a la atmósfera en un periodo de 20 años (lo que dura un SHS). En las altas regiones de montaña, una vivienda puede llegar a quemar una media de 1,47 kilos de madera de pino al mes, lo que se traduce en 353 kilos de madera en un periodo de 20 años. La utilización de la energía solar como fuente alternativa a la madera, con el objetivo de suministrar luz solamente, no sólo reduce la contaminación dentro de la casa y las emisiones de CO₂ sino que también contribuye a la conservación de los recursos naturales. (p.3)

Ámbito local: Empresas nacionales que optaron por la energía solar fotovoltaica

En Colombia, la aspiración de migrar hacia un modelo de negocio sostenible dejó de ser un deseo lejano; primero, porque es inevitablemente necesario, ante los nuevos retos globales del cambio climático; segundo, porque ahora es posible para una empresa instalar un sistema de energía solar fotovoltaica a costos eficientes con un retorno visible en el tiempo.

La ubicación geográfica privilegiada de Colombia para la radiación solar, el desarrollo de nuevas tecnologías, el auge de nuevos mercados de energías renovables no convencionales y los beneficios tributarios de la Ley 1715 del 2014, han generado un entorno ideal para el desarrollo de pequeños y grandes proyectos basados en energía solar fotovoltaica.

Celsia, a través de su modelo de negocio PPA (Contrato de Compra de Energía), ofrece nuevas opciones a las empresas para implementar un sistema solar fotovoltaico que genera grandes beneficios, tales como la generación de energía limpia, ahorros en la factura, disminución de consumo de la red nacional de energía eléctrica y un impacto positivo en el medio ambiente, al reducir grandes emisiones de CO₂.

El modelo PPA, Contrato de Compra de Energía, permite pagar los kWh consumidos a un precio competitivo con tarifas estables en el tiempo o pagar los kWh que genera el sistema solar fotovoltaico. De esta forma ambas partes aprovechan los excedentes del sistema; además, es Celsia la que asume los costos de la instalación, mantenimiento, montaje y operación del servicio.

Océano Verde.

Es un proyecto de casas campestres que utiliza la energía solar en Jamundí (Valle del Cauca) para ahorrar energía con base en la Resolución 0549 de vivienda sostenible de Colombia. Este proyecto de construcción sostenible de 400 viviendas, inmerso en un entorno natural, se construyó en un área de 650.000 m², localizada en una zona ideal para aprovechar el sol.

La implementación de energía fotovoltaica en este proyecto logró 7,50 kWp de capacidad instalada, 0,25 GWh a generar en 25 años y 102 toneladas de CO₂ dejadas de emitir, equivalentes a plantar 226 árboles.

La Compañía Nacional de Chocolates.

Esta empresa, filial de Grupo Nutresa, tiene el techo de energía solar más grande de Antioquia en su fábrica en Rionegro. El sistema fotovoltaico, que cuenta con 8.000 módulos y 74 convertidores, tiene capacidad para generar 2.132 kWp. De acuerdo con el periódico El Colombiano, "el sistema está diseñado para el autoconsumo en el proceso productivo de la empresa y se estima que, en la máxima radiación solar, genere entre 15% y 20% del total del consumo de la empresa".

Coherentes con la prioridad estratégica de sostenibilidad de la compañía de reducir el impacto ambiental, con este nuevo sistema se dejarán de emitir 1.229 toneladas de CO₂, lo que equivale a sembrar al año un bosque de 40 hectáreas.

Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT-.

Tiene el primer piso solar para autogeneración instalado en Colombia. Comprende 2.820 módulos solares que equivalen a una generación de 902 kWp, aportando una reducción del 12% a la tarifa de energía convencional (\$50 millones al año) y la posibilidad de no emitir 458 toneladas anuales de CO₂.

Universidad Autónoma de Occidente.

Esta universidad de la ciudad de Cali (Valle) cuenta con una instalación de 1.546 módulos solares que tienen una capacidad de generación de 250 kWp (kilovatio hora pico) de energía verde para atender el 14,8% de su demanda energética.

Centro Comercial La Reserva.

En Envigado (Antioquia), este centro comercial tiene ahora un techo solar constituido por 96 módulos solares que ayudan a producir más de 43.700 kWh al año y a reducir en 16 toneladas sus emisiones anuales de CO2.

Almacén Década 10.

Este almacén, considerado el almacén más grande de moda en la ciudad de Tuluá (Valle), cuenta con la instalación de 385 paneles solares con los cuales evita la emisión de 50,4 toneladas de CO2 al año, el equivalente a sembrar 197 árboles, gracias a un sistema fotovoltaico instalado on-grid (conectado a la red), que hace que la energía producida se consuma en el mismo instante en que se genera.

Centro de Convenciones de Cartagena.

Este icónico lugar de la ciudad de Cartagena generará energía eléctrica a partir de energía solar para evitar la emisión de 191 toneladas de CO2 en el año.

Otras empresas como Pronavícola, Intergrafic, Frayle, Maranta, Pactia, Socya, El Castillo, Nuestro Montería, Argos Mulaló, actualmente generan energía solar con el sello de Celsia.

El Director Comercial de Celsia, Luis Felipe Vélez, explica que 92 empresas están en proceso de instalación o por iniciar a instalar la estructura fotovoltaica en sus sedes.

Legislación Colombiana para la generación de energía fotovoltaica

En Colombia no se necesita ningún permiso para instalar paneles solares; de acuerdo con lo establecido en el Decreto Nacional 1076 de 2015, solo se requieren permisos, concesiones o autorizaciones de tipo ambiental para aquellos proyectos, obras o actividades que van a usar o aprovechar el medio ambiente o los recursos naturales renovables, por tal razón, si un proyecto de generación de energía eléctrica a partir de energía solar solo va a ocupar el techo de una edificación, no requiere ningún tipo de autorización o permiso de la autoridad ambiental.

A continuación, se relacionan algunas leyes, resoluciones o decretos que regulan aspectos relacionados con la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar.

- **Ley 29 de 1999 y Decreto 393 de 1991:** Con esta y este Decreto, el Gobierno Nacional impulsó la investigación en el uso racional de la energía, a través de Colciencias.
- **Resolución 0549 de 2015:** Obliga a los constructores a cumplir los parámetros de construcción sostenible para el ahorro de energía y agua.
- **Ley 1715 de 2014:** Se creó con el fin de reglamentar la integración de las energías renovables no convencionales al sistema eléctrico nacional.
- **Ley 143 de 1994:** Dice que todo aquel que produce energía exclusivamente para atender sus necesidades es un auto generador. La Resolución CREG 030 de 2018 regula a los auto generadores de energía a pequeña escala (AGPE), los cuales que se dividen en 2 grupos: aquellos con capacidad inferior a 100 kW y los que se encuentran entre 1000 kW y 5000 kW.

Financiación de proyectos de generación de energía eléctrica con energía solar

En Colombia existen varias entidades de financiación del estado que fomentan la innovación y el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, tales como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas -FAZNI- y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas -IPSE-. En el año 1999, mediante decreto 1149, el Gobierno Colombiano transformó el antiguo Instituto Colombiano de Energía Eléctrica -ICEL- en el actual IPSE. Con el fin de promover la implementación y uso de la energía solar fotovoltaica, el estado ha proferido la Ley 697 de 2001, también llamada Ley URE, Uso Racional de Energía, mediante la cual busca establecer regímenes para el sistema y estableció el Decreto 3683 de 2003, el cual determina una estructura institucional relacionada con energías alternativas. Las formas de financiación para proyectos de generación de energías renovables más utilizadas se referencian en la *Figura 12*.

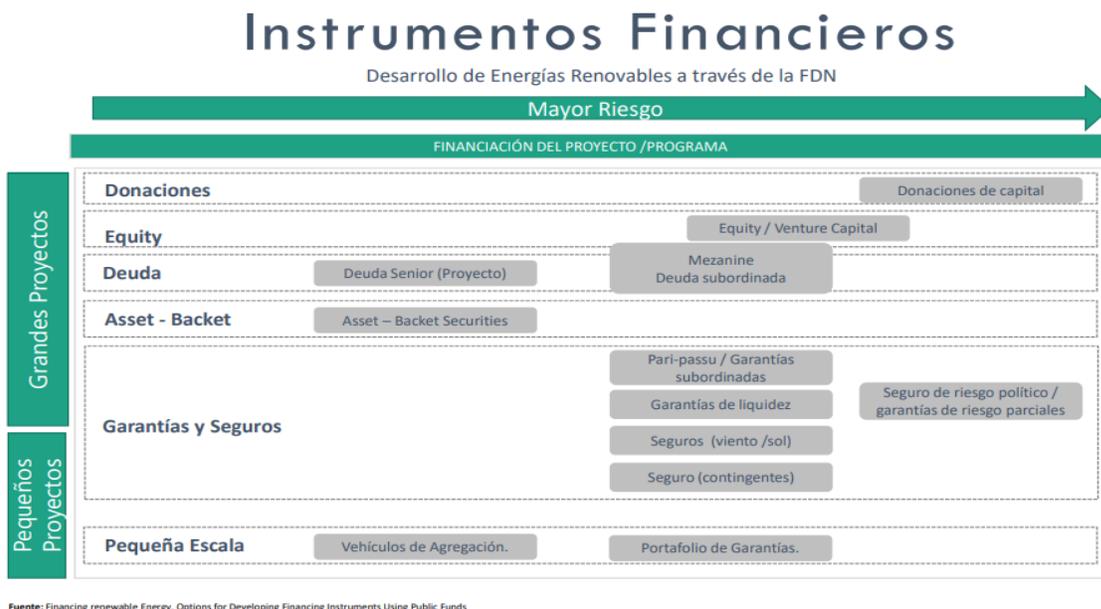


Figura 12. Instrumentos financieros

Fuente: Financing renewable Energy. Options Financing Instruments Using Public Funds

Como los analistas financieros de una reconocida firma bancaria expresan, Camargo y Aristizábal (2016):

La energía solar es la segunda fuente de energía renovable no convencional más utilizada en el mundo. Las principales consideraciones de los financiadores para patrocinar proyectos de generación de energía eléctrica con energía solar fotovoltaica son el análisis de la experiencia en el diseño, construcción y operación de activos de este tipo de proyectos por parte del promotor, así como su fortaleza financiera para cumplir con sus aportes de capital y respaldar sobrecostos durante la construcción del proyecto. Un nivel adecuado de retorno contribuye a la alineación de los intereses del promotor y del financiador para el proyecto sea desarrollado con éxito.

De igual forma, en la fase de diseño y construcción de un proyecto solar fotovoltaico, se consideran múltiples elementos o factores que son analizados por los financiadores; entre ellos:

- **Ubicación:**

Es importante verificar que el sitio seleccionado sea adecuado para el desarrollo del proyecto, en particular, teniendo en cuenta las importantes extensiones de tierra requeridas para el montaje de proyectos fotovoltaicos a gran escala.

La ubicación del proyecto considera la disponibilidad y variabilidad del recurso solar, la topografía, temperatura, velocidad del viento, precipitación, polvo, polución y degradación que afectan el desempeño de este.

- **Estudio de producción:**

Se debe contar con un estudio de producción estimada de energía con intervalos de confianza, que sea desarrollado por un consultor experto independiente, el cual establezca una predicción de la generación de un proyecto teniendo en cuenta su diseño.

Vale la pena resaltar que se requieren estimaciones de generación de energía bajo escenarios P90 y P75 (Criterios de decisión con base en la distribución de probabilidad del análisis del proyecto), dependiendo de las características del proyecto. Este estudio de producción de energía es fundamental para los financiadores, pues la producción de energía determina los ingresos del proyecto y, por ende, la fuente de pago de la deuda.

- **Tecnología propuesta:**

Otro elemento analizado por los financiadores es la tecnología propuesta para desarrollar el proyecto, en la cual se consideran los tipos de módulos, inversores, transformadores, sistemas de montaje, entre otros, los cuales deben contar con garantías de proveedores sólidos y reconocidos en el mercado.

- **Infraestructura de transmisión disponible:**

Es importante contar con toda la información relacionada con la infraestructura de transmisión disponible para llevar a buen término el proyecto. En esta información se deben establecer aspectos como los accesos, distancias existentes y capacidad requerida.

- **Licencias y permisos:**

Para el desarrollo del proyecto se debe contar con todos los permisos necesarios para accesos, servidumbres y adquisición de predios, entre otros, para lo cual se deben firmar los

respectivos contratos, en los cuales se incluyan las garantías y las cláusulas penales aplicables en caso de incumplimiento.

En el contrato se deben adjuntar las pólizas de seguros para proteger los activos que respaldan la deuda de presentarse alguna situación no prevista, tales como sobrecostos o demoras en la construcción.

- **Impactos socioambientales:**

En cuanto al impacto socioambiental, algunos financiadores requieren del cumplimiento de estándares internacionales para el adecuado manejo de los impactos ambientales y sociales.

Para la aprobación del proyecto se debe contar con un Estudio de Impacto Ambiental, que contemple los riesgos que se puedan presentar y las acciones a implementar para evitarlos o mitigarlos.

- **Operación y mantenimiento:**

Una operación y mantenimiento inadecuados del proyecto afectan el desempeño del activo y su generación de ingresos.

Es importante contar con un operador experto, indicadores de desempeño y garantías de fabricación y funcionamiento de los proveedores de la tecnología, así como un adecuado traspaso de riesgos entre el contrato de operación y mantenimiento (O&M), si este último es aplicable al caso concreto.

- **Flujo de ingresos:**

Los financiadores requieren un flujo de ingresos estable y predecible del proyecto. El riesgo asociado a la volatilidad de los ingresos del proyecto es mitigado mediante un contrato de

compraventa de energía de largo plazo, preferiblemente del tipo “take or pay”, en el que el comprador se compromete a adquirir la energía generada por el proyecto a un precio definido. La financiación de proyectos en los que la energía no está contratada es poco usual y resulta en parámetros de dimensionamiento de deuda más estrictos y, por ende, en un menor nivel de endeudamiento. A su vez, se analizan la calidad y visibilidad comercial del contrato y, en consecuencia, se estudian también la solidez financiera y la seriedad del comprador de energía.

El plazo de la financiación, que podría estar entre los diez y quince años, es por lo general menor al plazo de los contratos de compraventa de energía.

Los elementos técnicos analizados por los bancos dentro de su estudio de un proyecto solar fotovoltaico permiten establecer su solidez y se traducen en insumos que hacen posible cuantificar el monto de deuda que sus flujos de caja pueden pagar. Dentro de las métricas utilizadas para dimensionar la deuda se encuentran el nivel de apalancamiento, que en general se encuentra entre el 50% y el 70% del monto de la inversión, según características del proyecto. Otra métrica utilizada con el objetivo de establecer la capacidad para repagar la deuda es el indicador de cobertura del servicio de deuda. El indicador de cobertura de deuda, o DSCR por sus siglas en inglés, se calcula como el flujo de caja libre del proyecto dividido por el servicio de deuda (devolución del principal más pago de los intereses). Para proyectos solares, este indicador puede ubicarse entre 1,3 y 1,5.

Por último, es usual que el financiador requiera la constitución de una cuenta de reserva para el servicio de deuda y establezca obligaciones a la distribución de flujos de los promotores.

En síntesis, la obtención de endeudamiento que los promotores requieren para desarrollar los proyectos, en condiciones financieramente atractivas, es fundamental para que la industria solar alcance su potencial en Latinoamérica. Por ese fin, en una financiación Project Finance, los promotores deberán abrir proyectos al escrutinio del financiador, quien lo analizará de manera integral, buscando no solamente la predictibilidad del recurso y los contratos de compraventa de energía sino el éxito del proyecto a través del análisis de la confiabilidad de la tecnología, el promotor y el operador. (p.2)

Factibilidad del proyecto

Se analizarán a continuación los aspectos requeridos para determinar la viabilidad del proyecto.

Factibilidad técnica

Realizando un zoom al mapa de brillo solar de Colombia, en la *Figura 13* se enfoca al municipio de Vigía del Fuerte para determinar que cuenta entre 3 y 4 horas diarias de brillo solar:

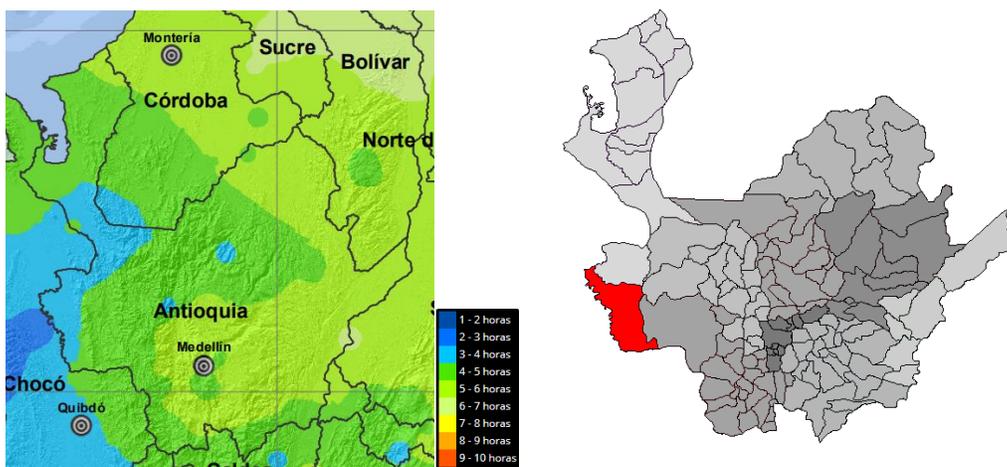


Figura 13. Horas de brillo solar diaria en Vigía del fuerte
Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

El sistema que se presenta como alternativa de generación eléctrica es de tipo off grid, puesto que no estaría conectado al SIN, en el marco teórico se entregó la descripción de estos sistemas, en la *Figura 14*, se referencian sus componentes:

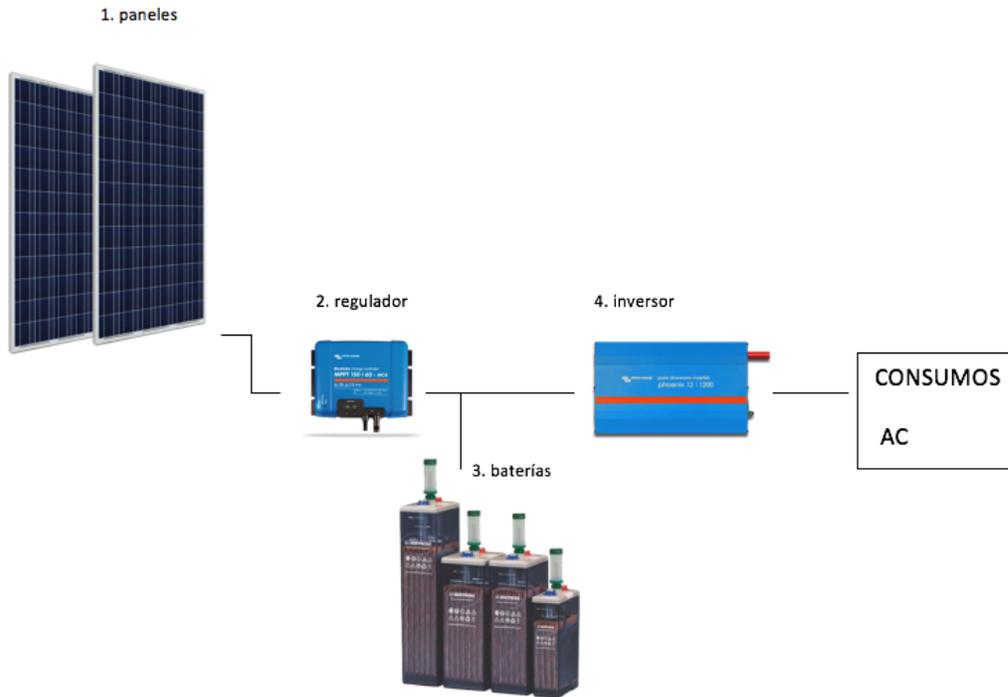


Figura 14. Composición de un sistema off grid

Fuente: <https://tecnosolab.com/noticias/seccion-de-cable-en-una-instalacion-fotovoltaica-aislada/>

Adicional a esto, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas -IPSE-, en cumplimiento de una de sus funciones, entrega informes de telemetría mensuales. De acuerdo con el historial de estos informes para Vigía del Fuerte, se observa que mayo de 2016 es el periodo donde se registran los valores de mayor estabilidad, consumo y tiempo de servicio del sistema de plantas DIESEL de los últimos tres años, IPSE (2016) informa: “con un promedio de tiempo de servicio de 23 horas 27 minutos diarios durante este mes y un valor pico de consumo de 354.46 kW” (p.394).

- **Consideraciones**

- Según el IPSE (2015):

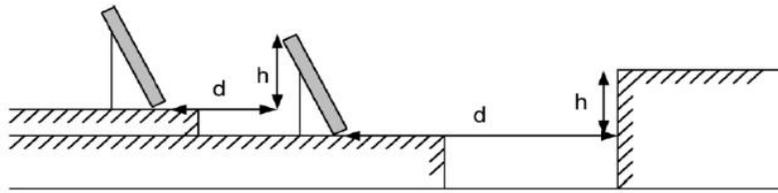
En las regiones de Sudamérica (hemisferio sur), se recomienda que los paneles solares se encuentren dirigidos al norte. Las regiones que se encuentran en el hemisferio norte, los paneles se dirigirán al sur; para configurar el ángulo de inclinación, es necesario conocer el grado de latitud en donde se va a realizar la instalación, toda vez que este será el ángulo con el cuál se inclinará el panel (p.13). Dado que las coordenadas de Vigía del fuerte son 06°35'20" de latitud norte. Los paneles estarán con sus caras al sur inclinados 6°.

- El área donde se ubicarían los paneles:

Cada panel mide 1.58m x 0.81m x 0.40m, se ubican en soportes de a dos, separado a los lados 10cm. Contemplando una distribución en hileras de a 100 unidades (son 1592 en total) se tendría un área donde uno de los lados sería de:

1.62m (dos paneles en un soporte) *50 (para lograr 100unidades por hilera) *49 (10cm de separación entre soportes) = 1.62m*50*4.9m=396.9m.

La *Figura 15* nos devela la separación entre paneles para evitar el sombreado.



Expresión a utilizar para el cálculo de la distancia d :

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = k * h$$

$$d = k * h$$

Donde:

h es la altura máxima del obstáculo.

El coeficiente "k" sería = $\frac{1}{\tan(61 - \text{latitud})}$

Figura 15. Cálculo de la distancia entre paneles para evitar sombreado

Fuente: <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>

En la Figura 16, se observa la distribución de paneles, teniendo en cuenta la distancia

"d", la cual es la variable que nos condiciona el sombreado.



Figura 16. Ubicación paneles caso Vigía del Fuerte

Fuente: Elaboración propia.

Los valores para el caso de estudio Vigía del Fuerte son:

$$h = 1.58 * \sin(6^\circ) = 1.58 * 0.1045 = 0.165$$

$$K = 1 / \tan(61^\circ - 6^\circ) = 1 / 1.428 = 0.7$$

$$d = 0.7 * 0.165 = 0.115 \text{ m}$$

$x = 1.58 * \cos(6^\circ) = 1.58 * 0.9945 = 1.5713\text{m}$ esta sería la proyección del panel en el suelo.

El otro lado sería = $1.5713\text{Proyeccion panel en el suelo} + 0.115\text{(distancia a respetar para evitar sombreado)} * 16\text{(Hileras de paneles de a 100Unds).} = 26.98\text{m}$

El área necesaria para instalar los paneles será de $396.9\text{m} * 26.98\text{m} = 10.708.6795\text{m}^2$

- Medida de las instalaciones físicas con techo para el almacenamiento de las baterías y elementos delicados como cofres: 407 Unidades de baterías cuyo tamaño es: Largo x Ancho x Alto (520 x 269 x 203 mm). Esta batería de 24V está compuesta por 2 baterías de estas medidas de 12V. Para el caso de análisis Serian 407 módulos de 1040x340x406. Si se distribuyen en bancos de a 51 unidades serian 8 bancos.
1 banco de 51 unidades tendría en área $51(1040x406) = 53.04\text{m} * 20.7\text{m.} = 1098.246\text{m}^2$
Los módulos pueden estar distribuidos verticales espaciados 40cms entre cada uno lo que implicaría 2.8m de espaciamiento y $340\text{mm} * 8 = 2.72\text{m}$. Dejando espacio para gálibos de paso y gabinetes eléctricos podemos redondear en una construcción de 1200m² con una altura de 6 m de alto.
- El voltaje de los componentes como las baterías, el inversor y los paneles que seleccionaremos será de 24V dado que es el más frecuente comercial o fácilmente configurable.
- Para realizar nuestro desarrollo aproximaremos a 355kW el consumo pico y promedio, garantizando así valores que satisfagan las necesidades del caso de análisis.

- Para los cálculos del sistema se deben tener en cuenta que la eficiencia de los inversores es del 90% según los fabricantes, así las cosas, para lograr una generación de 355kW, debemos calcular un sistema que entregue $355\text{kW} \cdot 1.1 = 390.5\text{kW}$.
- Para conseguir una vida útil adecuada las baterías no deben descargarse totalmente. A la cantidad, en porcentaje, que se ha descargado se le denomina profundidad de descarga (Depth of Discharge = DOD). Cuanto menos profundos sean los procesos de descarga mayor será la vida útil de la batería, por esto se calcularán con un 80% de eficiencia, para garantizar mayor vida útil.
- El máximo consumo en mayo de 2016 en Vigía del fuerte fue de 23 horas y 27 min, enfocaremos nuestros cálculos en lograr una cobertura de 24 horas que es el caso ideal.

- Cálculo Inversores del sistema:

$W \text{ totales} = 390500\text{W}$

Valores comerciales Inversores (Watt)= 300-400-600-800-1000-1200-1500-2000-2500-3,4,5,6,7,8kW

Así las cosas, requerimos 48 inversores de 8kW y 1 de 7kW.

- Cálculo de la cantidad de paneles solares del sistema:

$W/d = 390500$

$\text{Amp/día} = W \times \text{día} / \text{voltaje del sistema} = 390500 / 24\text{V} = 16270.83$

$\text{Amp/día normalizados} = 16270,833 / 80\% = 20338.54$; para calcular los amperios necesarios de esta cantidad de energía tenemos en cuenta el factor DOD del 20%.

Para calcular la capacidad de las baterías, dividimos la necesidad de Vigía del fuerte por la cantidad de horas al día que hay radiación solar en el municipio que son 3 horas (Se toma el valor mínimo para prever las peores condiciones de funcionamiento y garantizar que cumpla):

$$20338.54/3=6779.51 \text{ A}$$

Del mercado tomamos un valor de corriente Max de las especificaciones técnicas de un panel de 24V Ver *Figura 17*, Impp: 4.26A.

Referencia	FOT005
Marca	Fotona
Potencia Nominal (PMMP)	150 W
Tensión Tipo	24 V
Tensión Máxima (VMPP)	35,2V
Corriente Máxima (IMPP)	4,26 a
Tensión Vacío (Voc)	43,20 V
Corriente Máxima (ISC)	4,75 A
Número Celdas	72
Dimensiones	(1580 x 808 x 40) mm
Peso	22 kg

Figura 17. Especificaciones técnicas panel fotovoltaico comercial

Fuente: <https://www.tutiendaenergetica.es/panel-solar-24v-150w-monocristalino-fotona>

El número de paneles necesarios será: $6779.51/4.26= 1591.43$, aproximando 1592 paneles.

- Cálculo de las baterías del sistema:

Como ya se había expuesto: $\text{Amp/día normalizados} = 16270,833\text{A}/80\% = 20338.54 \text{ A}$

Los valores comerciales de baterías a 24V están para 100A, 150A y 250A, siendo las de 150A las más fáciles de conseguir. El cálculo se realiza para 3 días de autonomía de las baterías.

Así las cosas, se tiene: $20338.54\text{A} * 3\text{días} / 150\text{A} = 407 \text{ Unidades de Baterías.}$

- Cálculo del fusible del sistema:

$$I_{sc} \times 1.25 = 4.75A \times 1.25 = 5.9375 A$$

Fusibles comerciales (Amperios) 1-2-3-3,5-4-5-6-8-10-12-15-20-25-30.

Serian 1592 fusibles de 6 A

- Calculo controlador

Controlador Comercial (Amperios) 10-20-30-40-50-60-70-80-100-120-150.

La carga por manejar son $1592 \times 5.9375A = 9452.5A$, se escogen controladores de 100A por la facilidad de cambio a futuro. Así las cosas, se requieren 95 controladores.

Para verificar la factibilidad y viabilidad real, solicitamos consultoría a la firma Ingeniería Frio y Confort. Mediante el software Netsolar e ingresando los parámetros propios del caso de estudio se obtuvieron los resultados que apoyan nuestros cálculos en la *Figura 18*.

DATOS INICIALES

Informacion PANEL I

Potencia **maxima**.
 Voltaje **maximo**.
 Corriente **maxima**.
 Voltaje en circuito abierto (sin conexión)
 Corriente en corto
 Voltaje nominal

P_{max}	100 Watt
V_{MPP}	35,8 V
I_{MPP}	2,8
V_{OC}	42,9 v
I_{SC}	2,9
V_n	24

Informacion PANEL II

P_{max}	150 Watt
V_{MPP}	35,2 V
I_{MPP}	4,26
V_{OC}	43,2 v
I_{SC}	4,75
V_n	24

Informacion PANEL III

P_{max}	280 Watt
V_{MPP}	32
I_{MPP}	8,76
V_{OC}	39
I_{SC}	9,25
V_n	32

Proyecto 1	354460	390500	Watt
Watt	354460	390500	Watt
Wab/dia	355000	390500	

Eficiencia inversor 0,9

Verificacion.		
Horas de prestación de servicio	Capacidad instalada	356000
Horas	2	16271

INVERSORES (Watt) 300-400-600-800-1000-1200-1500-2000-2500-3.4.5.6.7.8kW

inversor	Varios	3 de 5 KVA y 1 de 1 KVA	VALOR INVERSOR
----------	--------	-------------------------	-----------------------

VOLTAJE (según catalogo) 24

(Wab/dia) / Voltaje siste 16270.83 Amp/dia AMPERIOS Consumo dia

(Amp/dia) / Efic Bateria (0,8) 20338.541 Amp/dia

(Amp/dia) / Horas sol pico (3) 6779.5139

Calculo inicial de paneles	Panel I	Panel II	Panel III	
	1599,52	1063,82	511,26	
Voltaje sist/Voltaje paneles	Panel I	Panel II	Panel III	0,75
	1	1		
Total modulos (PANELES)	2421.25	1591.43	773.91	
	REDONDEAR	REDONDEAR	REDONDEAR	Costo Paneles
	2422	1592	774	100 W 150 W 280 w
				\$ 332.320.000 \$ 290.104.820 \$ 158.735.500

SEGUN PLANO DE MONTAJE MANUAL (Depende del voltaje de los paneles y del voltaje de alimentacion del inversor)

Numero PARALELOS totales	2422	1592	774
Numero de PARALELOS individuales	1	1	1

Calculo fusible (Isc x 1,25)	Panel I	Panel II	Panel III	COSTO FUSIBLES
.....(Isc x 1,25 x 1,25)	3,63	5,93	10,95	
	4,53	7,42	13,6875	
FUSIBLES COMERCIALES (Amperios) 1-2-3-3,5-4-5-6-8-10-12-15-20-25-30				
Selección FUSIBLE				

Calculo Barraje	Panel I	Panel II	Panel III	COSTO BARRAJES
	8791.86	9452.5	8475.3	
BARRAJES COMERCIALES (Amperios) 30-60-120-150-200				
Selección BARRAJE				Barraje de 500 Amperios 18.905 Redondeado 19

Calculo DPS	Valor estimado	COSTO DPS
1- Tipo 1- Mas de 15 metros de los paneles	\$ 1.200.000	
2- Tipo 2- Menos de 15 metros de los paneles	\$ 250.000	
DPS COMERCIALES:	48 V - 600V - 800 V - 1000V	

	Panel I	Panel II	Panel III	COSTO SECCIONADOR
Calculo SECCIONADOR	8791.86	9452.5	8475.3	
SECCIONADOR Comercial (Amperios)	25-32-40-60-80-100-150			
Selección SECCIONADOR				

	Panel I	Panel II	Panel III	COSTO CONTROLADOR	Costo control 100 A	
Calculo CONTROLADOR	8791.86	9452.5	8475.3			\$ 155.000
CONTROLADOR Comercial (Amperios)	10-20-30-40-50-60-70-80-100-120-150					Cantid controla
Selección CONTROLADOR				redondeado	94.52	
					100	

Calculo total de BATERIAS en PARALELO	Dias de autonomia	Capacidad de la bateria en amperios			
BATERIAS	3	100	150	250	
		Watt	Redondear	Valor unitario	Valor total
Calculo BATERIAS	610.15	100	611	\$ 585.000	\$ 357.435.000
Calculo BATERIAS	406.77	150	407	\$ 905.000	\$ 368.335.000
Calculo BATERIAS	329,630	250	330	\$ 1.463.000	\$ 482.790.000

Figura 18. Datos arrojados por el software Netsolar sobre el sistema en Vigía del Fuerte.
Fuente: Ingeniería Frio y Confort

Así las cosas, el sistema sería de tipo off grid y estaría compuesto según la Figura 19 :

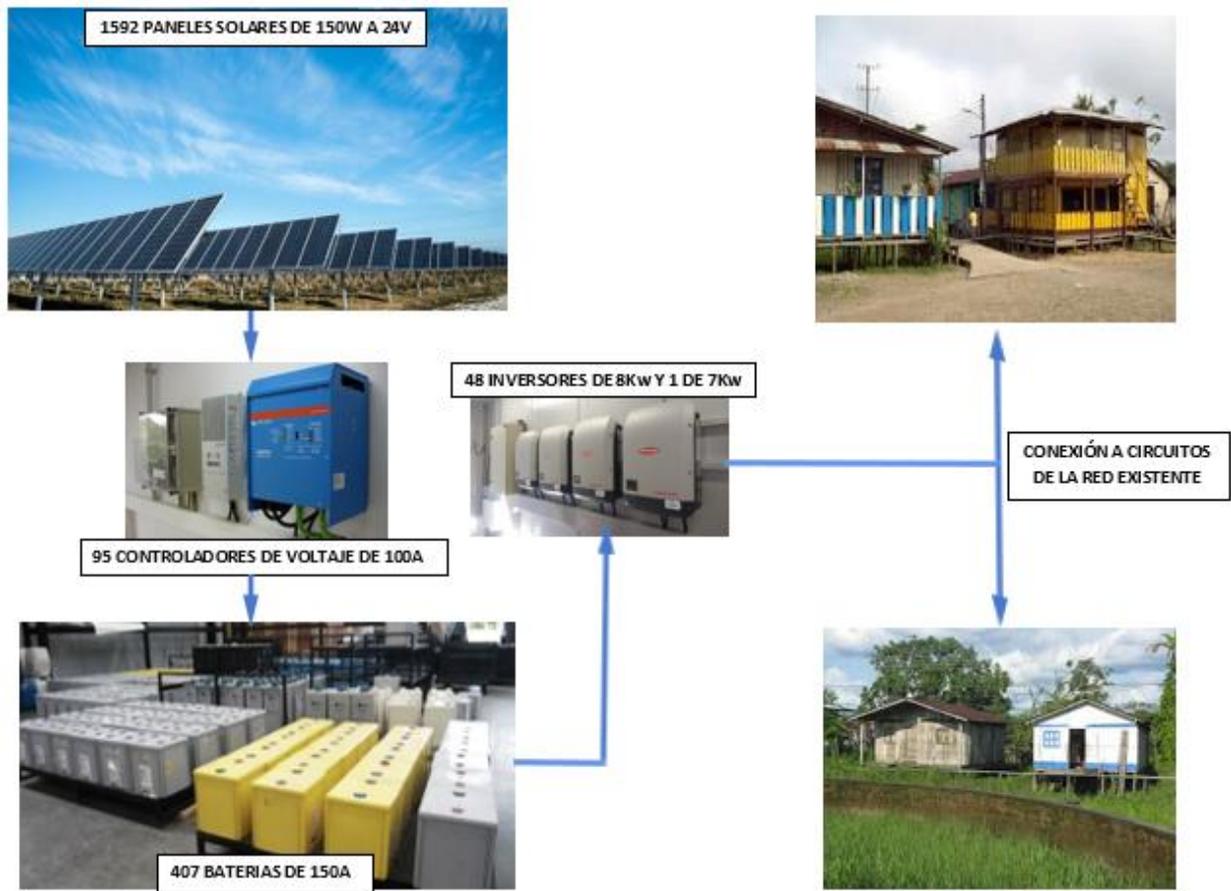


Figura 19. Composición sistema generación solar fotovoltaico Vigía del Fuerte
Fuente: Elaboración propia

Factibilidad económica

En la *Figura 20*, observamos las características de consumo de las plantas generadoras de combustible actualmente instaladas en Vigía del Fuerte y que surten de fluido eléctrico al municipio.

Grupo motor – generador	ESPECIFICACIÓN
Motor	
Velocidad de rotación	1800 RPM
Potencia Continua	150 kW – 180 KVA
Combustible	ACPM
Año de fabricación	2015 o superior
Aspiración	Turbo
Gobernador	Electrónico
Filtro de aire	Preferiblemente en aceite
Ciclos	4 Tiempos
Enfriamiento	Por agua con radiador vertical acoplado al motor diesel
Toma de carga instantánea en vacío	Mínimo 50% de la capacidad nominal
Arranque	Eléctrico a 24 VDC Batería 24 VDC 200 Ah Alternador para carga de batería 45 Ah Cargador de batería 24 VDC 10 A
Consumo de combustible	Máximo 200 gr/kWh
Generador	
Potencia Prime (Kw / KVA)	150 / 180

Figura 20. Especificaciones grupo electrógeno instalado en Vigía del fuerte

Fuente: <http://dispac.com.co/wp-content/uploads/2016/03/TERMINOS-REFERENCIA-OBRA-VIGIA-DEL-FUERTE.pdf>

Como ya se expuso son dos plantas de generación de energía, una respaldo de la otra. Para entender la tabla anotamos que un galón de ACPM pesa 3.2Kg gracias a su densidad.

El consumo de energía promedio tomado de la estimación de mayor fiabilidad de los últimos tres años es de 355kWh. De la figura 18, se tiene que la planta consume Max 200gr/kWh.

Al tener que generar 355Kwh el consumo es de 71000 gr de combustible por hora. El galón de ACPM comercialmente cuesta en el mercado \$9200.

Para cubrir la demanda de una hora de generación la planta consume:

$71000/3200=22.1875$ Gln por hora.

El consumo de combustible de un día sería $=22.1875*24=532.5$ Gln.

En pesos colombianos un día de generación a full carga costaría = \$4.899.000 y al año valdría 1.788'135.000.

El funcionamiento de los paneles proyectado a 25 años consta de:

Obra civil: Se prevé un Sistema de Lego-Ladrillos de Obra Limpia, es un sistema Industrializado, no prefabricado, lo más cercano a la construcción convencional, se requieren 1200 m² construidos.

Personal técnico de verificación de operación y mantenimiento, que puede recibir capacitación y ser de planta de la Empresa de servicios públicos de Vigía del Fuerte – EMSPUVIF-. Como mejor opción encontrada están los cursos virtuales certificados internacionalmente y ofrecidos por Solar Energy International, donde se inducen los conocimientos necesarios de operación y mantenimiento del sistema de estudio:

FVOL203: Fundamentos de sistemas fotovoltaicos basados en baterías - en línea

Este curso le proporcionará al estudiante una comprensión de los conceptos fundamentales necesarios para trabajar de forma segura en sistemas FV basados en baterías; estos incluyen los sistemas FV aislados (o autónomos) y los sistemas FV conectados a la red con respaldo de baterías. Se estudia el propósito, las aplicaciones y los criterios de diseño requeridos para los diferentes componentes que se deben seleccionar e integrar como: controladores de carga, baterías, arreglo FV e inversores basados en baterías (sumamente distintos a los inversores conectados a la red). La información en este curso le proveerá una comprensión teórica de los

sistemas FV basados en baterías que podrá aplicar en instalaciones reales y aplicaciones prácticas.

Tiene una duración de 6 semanas y un costo por persona de US 445, según el banco de la república (2019), el dólar se cotiza a 3.266,72.

El precio de los insumos para el mantenimiento son agua y jabón para los paneles, esto se puede manejar los primeros 5 años como insumos que deja el proyecto y a futuro incluirlo en algún fondo municipal de mantenimiento de sus instalaciones.

El valor estimado de los componentes del sistema analizado en el ítem de factibilidad técnica y la mano de obra sería el mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Precios del comercio para los elementos del sistema solución

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN.	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Componentes sistema solar				
1.1	PANEL SOLAR	und	1592	\$ 366.020	\$ 582.703.840
1.2	CONTROLADOR DE VOLTAGE	und	95	\$ 216.000	\$ 20.520.000
1.3	BATERIA ESTACIONARIA SECA TIPO GEL	und	407	\$ 1.221.750	\$ 497.252.250
1.4	REGULADOR/INVERSOR/CARGADOR DE 8 KVA	und	48	\$ 7.020.000	\$ 336.960.000
1.5	REGULADOR/INVERSOR/CARGADOR DE 7 KVA	und	1	\$ 6.950.000	\$ 6.950.000
1.6	COFRE DE 70X70X30 INTEMPERIE C.16 ENTREP AÑO, CELOSIA, CERRADURA	und	38	\$ 405.000	\$ 15.390.000
1.7	BARRAJE	und	38	\$ 310.500	\$ 11.799.000
1.8	PROTECCIÓN 1(DP S)	und	19	\$ 688.500	\$ 13.081.500
1.9	PROTECCIÓN 2 (SECCIONADOR)	und	19	\$ 270.000	\$ 5.130.000
1.10	CONECTOR MC4 P AR MACHO YHEMBRA	und	1592	\$ 33.750	\$ 53.730.000
1.11	CABLE 4MM P V SOLAR	mt	1000	\$ 13.500	\$ 13.500.000
1.12	CABLE #2 MULTIFILAR	mt	5000	\$ 3.375	\$ 16.875.000
1.13	TERMINAL # 1/0	und	10000	\$ 675	\$ 6.750.000
1.14	FUNDA TERMOENCOGIBLE	mt	1000	\$ 11.813	\$ 11.813.000
1.15	SOPORTE P ANEL SOLAR P ARA POSTE / TECHO / P ISO	und	796	\$ 337.500	\$ 268.650.000
1.16	ESTANTE P ARA BATERIAS 3 NIVELES TIPO P ESADO	und	204	\$ 236.250	\$ 48.076.875
1.17	FUSIBLE	und	1592	\$ 4.050	\$ 6.447.600
1,18	P ORTA FUSIBLE	und	1592	\$ 16.200	\$ 25.790.400
2	Mano de obra				
2.1	INCLUYE SUPERVISION, MONTAJE, TRANSPORTE DE MATERIALES	und	1	\$ 133.596.000	\$ 133.596.000
	Sub Total				\$ 2.075.015.465
	IVA	N/A			
	Total de la propuesta				\$ 2.075.015.465

Fuente: Ingeniería Frio y Confort

En los siguientes años los costos serian asociados al insumo para mantenimiento dado que el recurso humano es propio de la Empresa de servicios públicos que se capacitara. En la Tabla 2, se observa la estimación el valor del jabón líquido altamente biodegradable con un promedio del valor de la inflación anual de los últimos diez años se tendría (Precio por año):

Tabla 2. *Estimación valor insumo detergente biodegradable para el proyecto.*

a cinco años	\$ 15.026.832,00
a seis años	\$ 15.538.118,40
a siete años	\$ 16.049.404,80
a ocho años	\$ 16.560.691,20
a nueve años	\$ 17.071.977,60
a diez años	\$ 17.583.264,00
a once años	\$ 18.094.550,40
a doce años	\$ 18.605.836,80
a trece años	\$ 19.117.123,20
a catorce años	\$ 19.628.409,60
a quince años	\$ 20.139.696,00
a dieciseis años	\$ 20.650.982,40
a diecisiete años	\$ 15.538.118,40
a dieciocho años	\$ 21.673.555,20
a diecinueve años	\$ 22.184.841,60
a veinte años	\$ 22.696.128,00
a veintiun años	\$ 23.207.414,40
a veintidos años	\$ 23.718.700,80
a veintitres años	\$ 24.229.987,20
a veinticuatro años	\$ 24.741.273,60
a veinticinco años	\$ 25.252.560,00
TOTAL costo insumos mtto durante 20 años aproximado	\$ 417.309.466

Se concatena la información hasta ahora expuesta en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación sistema actual vs sistema propuesto.

Grupo electrogeno existente		Sistema de paneles solares fotovoltaicos		
Precio funcionamiento por un año a precio de junio de 2019	\$ 1.788.135.000	Primer año	Grupo elementos tecnicos de funcionamiento con instalacion incluida	\$ 2.075.015.465
Este valor sube anualmente minimamente el valor de la inflacion			Obra civil para ubicación de baterias y modulos electricos (1200m2)	\$ 1.200.000.000
Estimacion de costo de operación siguiente con un promedio del valor de la inflacion de los ultimos 10 años	\$ 1.861.448.535		Capacitacion personal (4 personas min)	\$ 5.814.762
			Dotacion de Jabon 5 años. NOTA: en un año son 6 rutinas de lavado y para cada rutina el jabon liquido tiene un valor promedio en el mercado de \$2'318,400	\$ 69.552.000
			Subtotal primer año inversion	\$ 3.350.382.227
			Subtotal Estimado del valor insumo mantenimiento a 20 años	\$ 417.309.466
Total operación dos años	\$ 3.649.583.535		TOTAL PROYECTO	\$ 3.767.691.692

Observamos de la tabla 3, que el valor estimado para el sistema de generación fotovoltaica y su operación durante 25 años es equiparable al valor de dos años de uso del grupo electrógeno a full carga, por lo que concluimos que económicamente la generación de energía solar a través de paneles si es factible económicamente.

Factibilidad legal

Según lo revisado en el marco de la legislación colombiana, el proyecto no requiere ningún permiso para su instalación y al no entrar en conflicto con el medio ambiente, sino que al contrario es amigable con el mismo, la licencia solo requiere el trámite de solicitud, mediante el formato único nacional de solicitud de licencia ambiental, ya que la ANLA tiene la política del de promover el uso de las energías ‘limpias’ bajo los principios del desarrollo sostenible.

Se concluye que el proyecto es factible desde el marco legal, y que ambientalmente debe cumplir el procedimiento estandarizado normal, pero hay una predisposición a su aprobación por la naturaleza de este.

Factibilidad operacional

El proyecto es perfectamente funcional y en esencia está considerado para cumplir con las condiciones mínimas de radiación, se contempló el cuidado por los componentes delicados como las baterías, las cuales están pensadas para el trabajo más pesado proyectando que su porcentaje de descarga máximo garantice la mayor vida útil.

Se resuelve a cabalidad la entrega de fluido eléctrico a los sistemas de cableado existentes que alimentan el casco urbano del municipio de Vigía del Fuerte y se deja el sistema de grupos electrógenos como respaldo para garantizar una atención con alta fidelidad. Su funcionamiento y sostenibilidad van de la mano de mantenimientos que están previstos en el alcance del presupuesto inicial tratando de garantizar la operatividad óptima. El sistema se concluye viable desde lo operacional por las razones expuestas.

Recomendaciones y aprobación

Como recomendación, se propone dejar las plantas diésel que se encuentran en servicio actualmente como sistema de respaldo ante algún tipo de mantenimiento correctivo imprevisto, como alguna afectación ambiental a los paneles que implique el cambio de algunos, o la misma situación con las baterías.

Dado que en la zona normalmente no hay intervenciones gubernamentales en pro de sanear las necesidades primordiales, a la par de la implementación del proyecto recomendamos una labor social para que la gente conozca, valore y adopte un sentido de pertenencia por el mismo, que se les presente el proyecto como un foco de progreso y bienestar para la zona en pro de que sea aceptado y cuidado por la comunidad.

En la zona la existencia de grupos armados hace que los oferentes de este tipo de ejecuciones tengan dudas sobre la seguridad y su bienestar físico. El acompañamiento de las autoridades en el proceso es fundamental para garantizar que el proyecto sea llevado a cabo sin novedades de esta índole.

El uso adecuado de los insumos para el mantenimiento de los sistemas por el personal idóneo garantiza una mayor probabilidad de duración de los elementos.

En el evento de tener algún inconveniente técnico con las baterías, hay que recordar que están hechas con materiales nocivos al contacto humano, por lo cual es indispensable darle el manejo de dichos elementos al personal calificado.

Conclusiones

Los sistemas de generación fotovoltaica resultan ser una alternativa viable, desde los puntos de vista técnico, económico, legal y operacional, para solucionar la falta de cobertura del servicio eléctrico en el municipio de Vigía del Fuerte.

Los costos del proyecto de generación solar analizado para el caso de Vigía del Fuerte son muy inferiores respecto a la opción de seguir intentando suplir la necesidad por los medios electrógenos que en la actualidad no cumplen los requerimientos de la población sino una porción del tiempo.

Desde el punto de vista analítico Vigía del fuerte tiene todas las condiciones para la implementación de un sistema de generación eléctrica alternativo puesto que el convencional es técnicamente inviable por temas de acceso a la zona, naturaleza de la generación convencional, impacto ambiental y conflicto armado.

La implementación de un sistema alternativo de generación de energía eléctrica traería, aparte de los beneficios adyacentes, la dignificación la calidad de vida a un colectivo históricamente afectado por el conflicto armado y desamparado por los gobiernos centrales.

En Colombia las leyes para la generación de energía solar están en pro de incentivar, siendo los requisitos mínimos para este tipo de emprendimiento que genera opciones amigables con el ambiente; es interesante observar los beneficios para quienes optan por contribuir con soluciones alternativas, a tal punto que una gran empresa del sector como Celsia ofrece el servicio a todo costo solo por su rentabilidad en el caso de los sistemas Grid on.

Los temas sociales que atañen a la seguridad y la presencia del conflicto armado en la zona son una razón de peso para que Vigía del Fuerte, hasta ahora, solo haya obtenido soluciones parciales a su problemática de acceso a fluido eléctrico constante.

En Colombia hay avances significativos con relación a la aceptación y fomento de los sistemas de generación fotovoltaica, los cuales serano cada vez más accesibles económica y tecnológicamente más robustos, como lo indica la ley Moore.

Referencias Bibliográficas

- Agencia para la Reincorporación y la Normalización ARN. (2019). Los Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación. ETCR. Recuperado de:
<http://www.reincorporacion.gov.co/es/reincorporacion/Paginas/Los-ETCR.aspx>
- Alcaldía Vigía del Fuerte (2012). Plan de desarrollo municipio Vigía del Fuerte. Recuperado de
<http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/vigia.pdf>
- Arboleda-González, J.A. (2008). Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades, Medellín, Colombia.
- Área tecnología. (2018). Baterías para paneles solares Fotovoltaicos. Recuperado de
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/baterias-para-paneles-solares.html>
- Asoatrato. (2017). Vigía del Fuerte Antioquia. Recuperado de:
<http://asoatrato.gov.co/vigiadelfuerte/>
- Autoridad nacional de licencias ambientales. (2019). ANLA aprueba primera licencia para generación de energía fotovoltaica. Recuperado de <http://www.anla.gov.co/Noticias-ANLA/ANLA-aprueba-primer-licencia-para-generacion-de-energia-fotovoltaica>.
- B. van Campen, D. Guidi y G. Best. (2000). Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/profile/Bart_Van_Campen2/publication/280727475_Energia_solar_fotovoltaica_para_la_agricultura_y_desarrollo_rural_sostenibles
- Boletín DANE. (2015). Censo general perfil Vigía del Fuerte Antioquia. Recuperado de:
https://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/antioquia/vigia_del_fuerte.pdf
- Celsia. (2019). Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia. Recuperado de:
<https://eficienciaenergetica.celsia.com>

Cetsa. (2018). Estas 8 empresas optaron por la energía solar fotovoltaica. Recuperado de:
<https://blog.celsia.com/estas-7-organizaciones-optaron-por-la-energia-solar-fotovoltaica>

Congreso de la República. (2014). Ley 1715 de 2014. Recuperado de
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

DANE, (2018). Censo Nacional de población y vivienda 2018. Recuperado de
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

Departamento Nacional de Planeación (2015). Instalación y operación de celdas fotovoltaicas Zonas no interconectadas. Recuperado de
http://viva.org.co/PDT_para_la_Construccion_de_Paz/Proyectos_tipo_SGR-DNP/CELDA%20FOTOVOLTAICA%2025062015.pdf

Energías inteligentes. (s.f.). Instalación de un sistema fotovoltaico off grid. Recuperado de
<http://www.energiasinteligentes.com/descargas/primeros-pasos-en-instalacion-fotovoltaica-1.pdf>

García, R., (2014). Pobreza energética en América Latina. ILPES-CEPAL. Recuperado de
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36661/S2014039_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Habitissimo. (2019). Cotizaciones. Recuperado de
<https://www.habitissimo.com.co/u/ladrilloslegosdecolombia>

Hernández, C., Rangel, R., Máynes, J. (2018). Implementación de ventanas fotovoltaicas en la línea de autobuses turísticos. Instituto tecnológico de Chihuahua. Recuperado de
<https://www.doccity.com/es/investigacion-autobuses-solares/2695130/>

Herrera, V. (2018). En un mes Vigía del Fuerte tendrá un nuevo hospital. Recuperado de
<http://www.elcolombiano.com/antioquia/en-un-mes-vigia-del-fuerte-tendra-nuevo-hospital-FI9390968>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (s.f), Vigía del Fuerte uno de los municipios de Antioquia donde renacerá la Paz. Recuperado de <https://noticias.igac.gov.co/es/contenido/vigia-del-fuerte-uno-de-los-municipios-de-antioquia-donde-renacera-la-paz>

International Energy Agency. (2019). Las emisiones de CO2 por kWh de electricidad y calor. Recuperado de https://www.sunearthtools.com/es/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_3

IPSE. (2019). Informes mensuales de operación. Recuperado de http://190.216.196.84/cnm/info_mes.php.

Jardón J. (1995). Energía y medio ambiente – Una perspectiva económico social. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=lang_es&id=7dRBFry7IakC&oi=fnd&pg=PA9&dq=beneficios+social+de+energia+solar+&ots=q9Jdg6e4ZY&sig=2cDC8ZveCa2g_wr6_uDS7d3rqdE&redir_esc=y#v=onepage&q=beneficios%20social%20de%20energia%20solar&f=false

J. Rodrigo, N. Cañellas, M. Meneses, F. Castells y C. Solé. (2008). El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda en España - Un análisis de ciclo de vida (ACV), Fundación Gas Natural, Barcelona, España. ISBN: 978-84-612-2604-7.

Ministerio de energía (2019). Informes mensuales de Operación. Recuperado de http://190.216.196.84/cnm/info_mes.php

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Resolución 0549 de 2015. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

Moore (1998). Cramming more components onto integrated circuits. Recuperado de <https://www.cs.utexas.edu/~fussell/courses/cs352h/papers/moore.pdf>

Municipio Vigía del Fuerte - Antioquia (septiembre 2012). Diagnostico Técnico. Recuperado de:
http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/INF_SP_AGUA_POTAB_DOC_DIAGNOSTICO_VIGIA_DEL_FUERTE.PDF

N. Jungbluth, M. Stucki and R. Frischknecht R. (2009), Photovoltaics, Ecoinvent report No. 6-XII, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.

Ochoa J. (diciembre 2019). Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo - Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de:
<https://core.ac.uk/download/pdf/41799448.pdf>

Oficina del alto comisionado para la paz. (2017). Vereda Vidri. Recuperado de
<http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/construcion-paz/espacios-territoriales-capitacion-reincorporacion/Paginas/ETCR-Vidri-Vigia-del-Fuerte-Antioquia.aspx>

Parque Eólico Piloto Jepirachi. (junio 202). Estudio de Impacto Ambiental Informe Final. Recuperado de:
<http://documentos.bancomundial.org/curated/es/427541468248967090/pdf/multi0page.pdf>

Perfil productivo municipio Vigía del Fuerte (2013). Recuperado de:
https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_vig_a_del_fuerte

Plan de desarrollo municipio de Vigía del Fuerte. (2016). Recuperado de:
<https://perfildealcaldes.socya.org.co/wp-content/uploads/2016/09/Plan-de-Desarrollo-Municipio-de-Vig%ADa-del-Fuerte.pdf>

Plitt L. (junio 2010). El lado oscuro de los paneles solares. Recuperado de:
https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/06/100617_paneles_solares_insectos_lp

Presidencia de la República. (2017). Decreto 1274 del 28 de julio de 2017. Recuperado de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201274%20DEL%2028%20DE%20JULIO%20DE%202017.pdf>

Presidencia de la República. (2015). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Revista Semana. (2014). El Atrato un río sin país. Recuperado de <http://especiales.semana.com/especiales/atrato-rio-sin-pais/index.html>

Twenergy. (2012). Las ventajas de la Energía Solar. Recuperado de: <https://twenergy.com/a/las-ventajas-de-la-energia-solar-411>

V. Conesa. (2010). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental, Ediciones Mundi-Prensa.

Verdadabierta. (s.f.). Gobierno suprime los primeros espacios para la reincorporación de las Farc. Recuperado de <https://verdadabierta.com/gobierno-suprime-los-dos-primeros-espacios-la-reincorporacion-las-farc/>

Verdadabierta. (s.f.). La guerra silenciosa que se libra a lo largo del río Atrato. Recuperado de: <https://verdadabierta.com/la-guerra-silenciosa-se-libra-lo-largo-del-rio-atrato/>

World hábitat awards. (2005). Programa de Apoyo para la Energía Solar (SSP). Recuperado de <https://www.world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/programa-de-apoyo-para-la-energia-solar-ssp/>

Zapata, R. (2014). Colombia - Informe MIRA: Municipio Vigía del Fuerte – Comunidad La Loma Murri (Antioquia). OCHA. Recuperado de <https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/assessments/140828%20Informe%20Final%20MIRA%20Vigia%20del%20Fuerte.pdf>

