

LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS

Jhonnatan Gómez-Ramírez, Jairo D. Murcia-Murcia, Ivan Cabeza-Rojas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Universidad Santo Tomás

Carrera 9 N.º 51 - 11, Bogotá Colombia

jhonnatangomez@usantotomas.edu.co

RESUMEN

La demanda energética en Colombia y en el mundo cada vez es mayor, pues existe un gran crecimiento poblacional e industrial, necesitando consumo energético y trayendo consigo problemas económicos, sociales y ambientales. Una posible solución para suplir esta demanda y disminuir los problemas causados por la generación eléctrica actual es la energía solar fotovoltaica, dado que Colombia cuenta con un buen nivel de potencial de radiación solar en todo su territorio, pudiendo sacar provecho de esta fuente energética con diferentes tecnologías. Sin embargo, esto no ha sido suficiente para que personas naturales y jurídicas se motiven a destinar recursos en tales actividades por el costo inicial y por la falta de conocimiento de esta fuente de generación. El objetivo de este trabajo es mostrar y analizar en cuanto a: el aprovechamiento, los beneficios, que tan favorable es la ubicación geográfica de Colombia, en que zonas se ha invertido más en estas tecnologías, que zonas cuentan con mayor potencial solar (recurso solar - radiación) y porque no se ha extendido en todo el país esta fuente de generación renovable. Además, se divulgarán fondos e instituciones de apoyo financiero y técnico, instituciones y políticas que regulan la solar FV, normativas, leyes e incentivos tributarios, proyectos puestos en marcha y en planeación, inversiones hechas en el tema, empresas comercializadoras, las aplicaciones que se pueden llevar a cabo por medio de sistemas fotovoltaicos, el desarrollo de esta tecnología en el país y las pautas que se deben tener en cuenta al invertir en esta fuente de generación, para de esta manera mejorar la eficiencia energética, dar a conocer la misma y motivar a los Colombianos en emigrar a esta fuente de generación de carácter renovable.

PALABRAS CLAVE

Energía Solar Fotovoltaica, radiación Solar, paneles solares, energías renovables, usos de la energía solar FV, sistema interconectado nacional (SIN), zonas no interconectadas (ZNI).

ABSTRACT

This article describes solar photovoltaic energy in Colombia. The energy demand in Colombia and in the world is growing, because there is a large population and industrial growth, needing energy consumption and bringing economic, social and environmental problems. A possible solution to meet this demand and reduce the problems caused by the current electricity generation is photovoltaic solar energy, given that Colombia has a good level of solar radiation potential throughout its territory, being able to take advantage of this energy source with different technologies. However, this has not been enough for natural and legal persons to be motivated to allocate resources in such activities for the initial cost and for the lack of knowledge of this source of generation. The objective of this work is to show and analyze in terms of: the use, the benefits, how favorable is the geographical location of Colombia, in what areas has more investment in these technologies, which areas have greater solar potential (solar resource - radiation) and because this source of renewable generation has not been extended throughout the country. In addition, funds

and financial and technical support institutions, institutions and policies that regulate solar PV, regulations, laws and tax incentives, projects launched and planned, investments made in the subject, commercializing companies, applications that will be disseminated will be disseminated. they can carry out by means of photovoltaic systems, the development of this technology in the country and the guidelines that must be taken into account when investing in this source of generation, in order to improve the energy efficiency, make known the same and motivate Colombians to emigrate to this source of renewable generation.

KEYWORDS

Photovoltaic solar energy, solar radiation, solar panels, renewable energy, uses of solar PV power, national interconnected system (SIN), zones not interconnected (ZNI).

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	2
2.1 DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA SOLAR EN DIFERENTES REGIONES DE COLOMBIA	2
2.2 INSTITUCIONES DE APOYO FINANCIERO Y TÉCNICO	5
2.3 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FV EN COLOMBIA.....	6
2.4 BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN.....	9
2.4.1 Beneficios Tributarios	10
2.5 LEYES Y POLÍTICAS ENERGÉTICAS	10
2.6 DEMANDA	11
2.6.1 Demanda Actual	12
2.6.2 Demanda Potencial	12
2.7 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.....	12
3. CONCLUSIONES.....	13

Este artículo de Revisión fue ejecutado entre el 3 de agosto de 2016 al 27 de octubre de 2017.

Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Estudiante de Pregrado en Ingeniería Mecánica. Dirección Postal Carrera 20 # 185-58, Correo electrónico: jhonnatangomez@usantotomas.edu.co.

Jhonnatan Gómez Ramírez. Todos los derechos reservados.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Colombia busca suplir la demanda de energía eléctrica de manera eficiente en todas las regiones del país ya que se tienen dependencias de fuentes de energía que demandan el uso de recursos naturales, como: petróleo, carbón y agua (hidráulica). Las cuales contaminan gravemente al medio ambiente [1], [2]; La energía solar FV es una excelente solución a esta situación, ya que es, de fácil instalación y operación (Zonas aisladas), su fuente de generación es inagotable (Sol), se cuenta con buen recurso solar y es amigable con el medio ambiente [3], [4]. Además, los sistemas fotovoltaicos son de fácil instalación y sus costos tienden a disminuir, es decir: necesitan poco mantenimiento, presentan larga vida útil y el costo de las celdas solares cada vez es menor [5].

La capacidad instalada de generación de energía solar fotovoltaica en el mundo para el año 2014 fue de 177 GW, en el año 2015 se incrementaron 50 GW respecto al año anterior, logrando un valor histórico de 227 GW y un crecimiento del 25% de esta fuente renovable. En el año 2015 las energías renovables representaron el 23,7% de la capacidad de generación de energía del mundo, dentro de estas, la fotovoltaica representaba el 1,2%; Los países líderes en generación eléctrica fotovoltaica son: China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Francia, España, India y Australia. Se estima que la energía solar fotovoltaica ha generado alrededor de 2.772 empleos en el mundo y su mercado se aproxima a los USD 300 millones anuales [6].

Actualmente existe un déficit energético en el país, alrededor del 32,0% del territorio nacional no hace parte del sistema interconectado nacional (SIN), representando un valor notorio [3], [7]. Sin embargo, Colombia cuenta con un recurso solar (radiación) promedio uniforme durante el año para todo el territorio del orden de 4,5 kWh/m² [8], propicio para ser utilizado en generar y suplir las necesidades de energía eléctrica por medio de sistemas solares fotovoltaicos. En el 2005 existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos, cuya capacidad instalada era 208,06 kW [9], en el año 2014 se tenía alrededor de 11,6 GW y en el 2015 se incrementó un 0,6 GW para un total aproximado de 12 GW [6]. Con esto se ratifica que la generación de electricidad en el país a partir de fuentes renovables como la solar fotovoltaica es muy baja [10].

La incidencia que tiene la posición geográfica y astronómica de Colombia juega un papel importante en la disponibilidad de este recurso natural renovable. Uno de los objetivos de este artículo es hacer una revisión acerca del potencial solar en algunas ciudades del país y determinar, a qué nivel ha sido aprovechada esta disponibilidad en el ámbito nacional, los proyectos e inversiones que se han realizado en esta fuente renovable inagotable e identificar las entidades que tienen a su cargo el desarrollo de planes, incentivos tributarios y programas encaminados a la utilización de este recurso natural renovable; se abordará lo referente a la producción académica, técnica y proyectos realizados sobre energía solar fotovoltaica en Colombia.

Con respecto a la metodología de la recolección, sistematización y organización de la información, se determinaron los objetivos y metas que se querían con el

documento. Seguidamente se acudió a lugares informáticos como bibliotecas tanto presenciales como virtuales, bases de datos, internet (páginas web) e institutos de investigación. Las fuentes más utilizadas fueron los artículos de revistas especializadas, seminarios, tesis, documentos de grado, instituciones o entes relacionados con el tema y fuentes humanas como docentes de la UPV (Universidad Politécnica de Valencia - España) y docentes de las USTA (Universidad Santo Tomás de Aquino – Colombia); Una vez localizadas las fuentes de información, se procedió a recopilar información (reciente y específica) extrayendo documentos claves, luego se procesa y retiene dicha información.

En primer lugar, se analizó el contenido de los abstracts o datos primarios pertenecientes a las revistas especializadas los cuales dan soluciones a las problemáticas planteadas, en segundo lugar, se analizó las entidades nacionales y la normativa, la cual aplica al documento dando respuestas a las preguntas que motivaron para el desarrollo de este.

Se realizó una ficha bibliográfica identificando los libros, artículos, documentos de grado, empresas que desarrollan la tecnología, documentos y entidades de información de carácter internacional y nacional. Seguidamente se elabora una ficha de contenido, para empezar a conocer los razonamientos, planteamientos y posiciones de los diferentes autores. De la misma forma se analiza, critica, aprecia, clasifica y organiza el material o la información de cada documento recopilado.

Después se hace uso del programa Mendeley para referenciar los documentos a utilizar, se buscan los datos necesarios para reconocer la fuente de procedencia y el contenido de la misma. Por ejemplo: Apellido del autor, título, tipo de documento, páginas utilizadas, etc. Ahora bien, se procede a la redacción del documento por medio de un proceso, el cual consiste en: ordenar las ideas para hacerlas entendibles, realizar una redacción clara e impersonal, destacar en el texto lo que se quiere hacer llegar al lector. Finalmente se procede a citar y por consiguiente realizar la bibliografía de todo el documento utilizando Mendeley.

2. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1 DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA SOLAR EN DIFERENTES REGIONES DE COLOMBIA

Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo; aunque se presentan variaciones, los datos evidencian que en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto [4]. El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central.

Actualmente se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones meteorológicas (información radiométrica) la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar [12], [13]. Cuenta con 550 estaciones automáticas satelitales y convenciones localizadas en la extensión de país, de las cuales: 71 son directas, 383 se dedican a realizar medidas rutinarias de brillo solar y 96 se dedican a realizar mediciones

de humedad relativa y temperatura. Variables que son correlacionadas con intensidad radiante sobre la superficie; En el caso de radiación solar global, se recolecta y estima información de todas las estaciones meteorológicas (550), en el caso de brillo solar, se toma información de 479 estaciones [14]. El atlas cuenta con 4 colecciones de 13 mapas sobre radiación solar y brillo solar, es generado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, conjuntamente con la Unidad de planeación Minero Energética – UPME; estableciendo niveles de Radiación e Irradiancia promedio mensual y anual desde el año 1981, estos valores son expresados en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m^2), como se evidencia en la figura 2 [15].

En el caso específico se observa cómo la región pacífica, amazónica y el departamento de Nariño tienen promedios de insolación aceptables para la generación energética, la cual puede ser aprovechada por tecnologías de silicio amorfo de una manera más eficaz de la que lo harían las celdas de silicio mono o multi-cristalino [4]. Pues el silicio amorfo es económico y presenta buen rendimiento con baja radiación. Es importante recordar que por medio de las celdas fotovoltaicas cierta parte de la energía del sol se transforma directamente en energía eléctrica, estas celdas están fabricadas de materiales semiconductores, ya que estos ofrecen menor resistencia al paso de la corriente eléctrica [16]. Las celdas se asocian y encapsulan en módulos fotovoltaicos generando una cantidad considerable de energía, sin embargo, para incrementar aún más dicha generación, se debe utilizar más de un módulo fotovoltaico lo que se denomina “campo solar fotovoltaico”.

Como se puede observar en la figura 1, las principales características eléctricas de una célula solar FV son: La potencia, la tensión y la corriente, estas características dependen del número de células solares asociadas y de las condiciones de trabajo de las mismas (radiación, viento, inclinación). Del mismo modo para la selección de un módulo fotovoltaico, es indispensable conocer parámetros como: radiación incidente, temperatura de trabajo y precio de la tecnología, buscando el punto de máxima potencia (PMP), el cual es el punto del campo solar FV donde se genera la máxima cantidad de energía. Por otra parte, es importante destacar que los módulos fotovoltaicos varían según su montaje, si se extienden en serie, aumenta la tensión. Pero si se disponen en paralelo, aumenta la corriente [17].

Se debe agregar que para una buena selección de células y módulos solares se deben observar rangos de operación, los cuales los especifican los fabricantes, pues existen las Condiciones Estándar de Medida (STC) de uso universal y las condiciones de Temperatura de Operación Nominal de la Célula (TONC), estas presentan parámetros que entregan los equipos (potencia máxima, corriente de cortocircuito, voltaje de circuito abierto y factor de forma) bajo esas condiciones [18].

- Condiciones STC o CEM: 1000 W/m^2 de irradiación, 25°C de temperatura de célula y 1.5 AM de Masa de Aire [19].
- Condiciones TONC o NOCT: 800 W/m^2 de irradiación, 20°C de temperatura de célula y 1 m/s de velocidad del viento [20].

Además, es indispensable conocer acerca del tipo de tecnología (silicio monocristalino, silicio policristalino, etc.), el rango de potencia que entrega el módulo, la eficiencia, la tolerancia positiva de potencia, la aplicación (invernadero, tejados, climas extremos, proyectos a gran escala), los datos mecánicos, límites de temperatura, límites operativos, garantía (fabricación y potencial lineal) y configuración de embalaje. En el anexo 1 se muestran las características de un módulo FV dado por el fabricante Trinasolar [21].

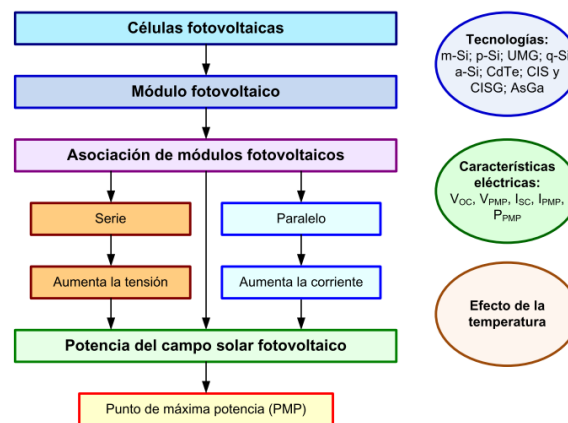


Figura 1. Esquema de las Células Fotovoltaicas
Fuente: J. Gimeno Sales, S. Orts Grau y S. Seguí Chilet [17].

Habría que decir también que las celdas de silicio dominan el mercado, porque este es un buen semiconductor y es el segundo elemento más abundante en el planeta. Sin embargo, siguen siendo muy costosas, poco eficientes y presentan una fabricación compleja. La eficiencia de las células comerciales de silicio, normalmente está comprendida entre el 4 y 17 %, mientras que algunos productos especiales (laboratorio) han alcanzado el 32,5%. A saber, *alrededor del 84% (y hasta el 90% en el caso de Silicio no cristalino o amorfo) de la energía solar incidente sobre un módulo fotovoltaico se pierde en forma de calor: Aproximadamente un 16% de la energía solar es transformada en energía eléctrica en el módulo solar. Es por ello que se precisan grandes superficies de módulos fotovoltaicos para conseguir potencias elevadas* [17], [22]. Algunas ventajas y desventajas de las celdas solares dependiendo de la tecnología son:

- **Silicio Amorfo:** Presentan un rendimiento del 4-11 %, son las celdas más económicas y presentan buen comportamiento frente a la temperatura, pero: son de sumo cuidado (deterioros iniciales), menor eficiencia a largo plazo (degradación alta) y necesitan de más materiales y energía para su fabricación. El precio de estos módulos se estima entre $1,8 - 2,1 \text{ €/Wp}$. Es aconsejable utilizar esta tecnología en la Región Caribe y Región Insular pues estas zonas cuentan con buen recurso solar y en el caso de la Región Caribe cuenta con grandes huertas o áreas para la distribución de estos módulos, puesto que hay que montar varios módulos para alcanzar una potencia instalada [17].
- **Silicio Monocristalino (m-Si):** Presentan un rendimiento del 15-21 %, se obtienen Altos rendimientos, es una tecnología fiable y ha ocupado durante años el primer lugar en porcentaje del mercado, pero: tienen un costo elevado $> 2,6 \text{ €/Wp}$, necesitan de una cantidad considerable de material y son complejas de fabricar. Es aconsejable utilizar esta

tecnología en la Región Amazónica y Región Pacífica pues se puede alcanzar una potencia instalada con una radiación solar aceptable [16], [17].

- **Silicio Policristalino (p-Si):** Presentan un rendimiento del orden del 16 %, el coste de fabricación es inferior al del mono cristalino, fabricación sencilla y son modulares (mejor ocupación del espacio) pero: son sensibles a impurezas, presentan complejidad al instalar y pueden llegar a ser costosas 2,2 – 2,6 €/Wp, Es aconsejable utilizar esta tecnología en las Regiones Andina y Orinoquía, pues se alcanzar potencias instaladas con ciertos rangos de radiación y son de gran utilidad en sistemas de conexión a red o generación distribuida [17].
- **Arseniuro de galio (GaAs):** Pueden superar rendimientos del orden del 25 %, presentan alta resistencia a las altas temperaturas, pero: su costo es muy elevado, los materiales son tóxicos y de baja disponibilidad, Es aconsejable utilizar esta tecnología en zonas donde se desee obtener un potencia instalada alta y no se cuente con un excelente recurso solar [22].

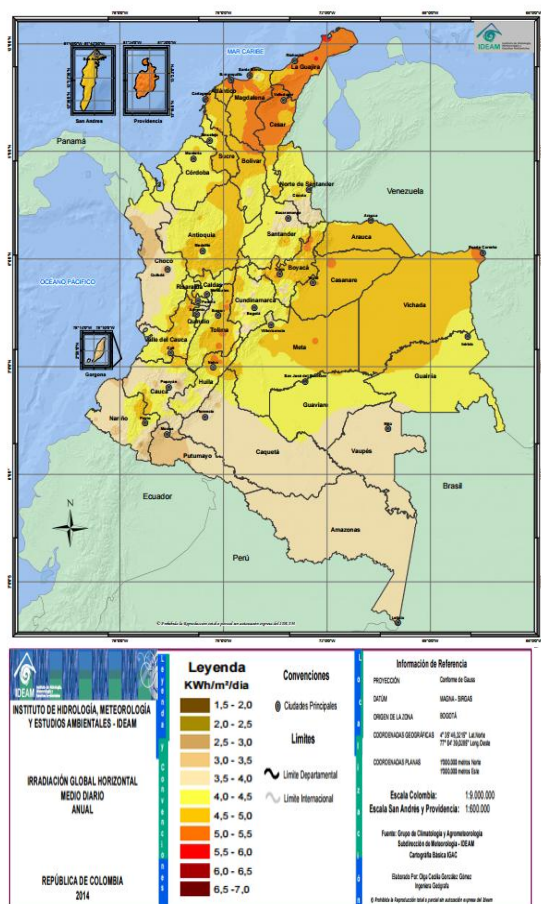


Figura 2. Mapa y Convenciones de Radiación Global Horizontal Medio Diario Anual, República de Colombia, 2014.
Fuente: IDEAM [23].

Las condiciones naturales en Colombia son favorables para la generación fotovoltaica y los niveles de radiación por región a lo largo del año son buenos. Como se puede evidenciar en la figura 2, La mayor parte de las ZNI y SIN en el país cuentan con un recurso de irradiación solar promedio de 194 W/m² y de radiación solar promedio de 4,5 kWh/m²/d, la cual supera el valor promedio mundial de 3,9 kWh/m²/d [4].

Toledo, en su documento determina que los departamentos de Casanare, Magdalena, entre otros cuentan con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m² [24]. En la región atlántica, específicamente en la región noreste de la costa atlántica - Guajira, de acuerdo con los resultados de la evaluación del recurso solar del país, muestran un potencial solar promedio diario entre 5,0 y 6,0 kWh/m², el mayor del país [23], [25]; Además Colombia puede contar con esta fuente de energía la mayoría de los días del año.

En la figura 3, se puede observar que la mayor parte del territorio nacional cuenta con un buen recurso de brillo solar (horas de sol), alrededor de 4, 8 y 12 horas de Sol al día en promedio diario anual, los cuales son valores altos en comparación de países como Alemania el cual cuenta con 3 horas de brillo solar. Siendo esto significativo a la hora de invertir en sistemas fotovoltaicos y aprovechamiento de los mismos, ya que se tendría buena incidencia (tiempo) de la radiación solar en los paneles FV y por consiguiente mayor capacidad de generación de los mismos. A saber, Colombia está dentro de la zona ecuatorial, lo cual no presenta fenómenos de estaciones, garantizando un recurso promedio de radiación solar bueno a lo largo del año [11].

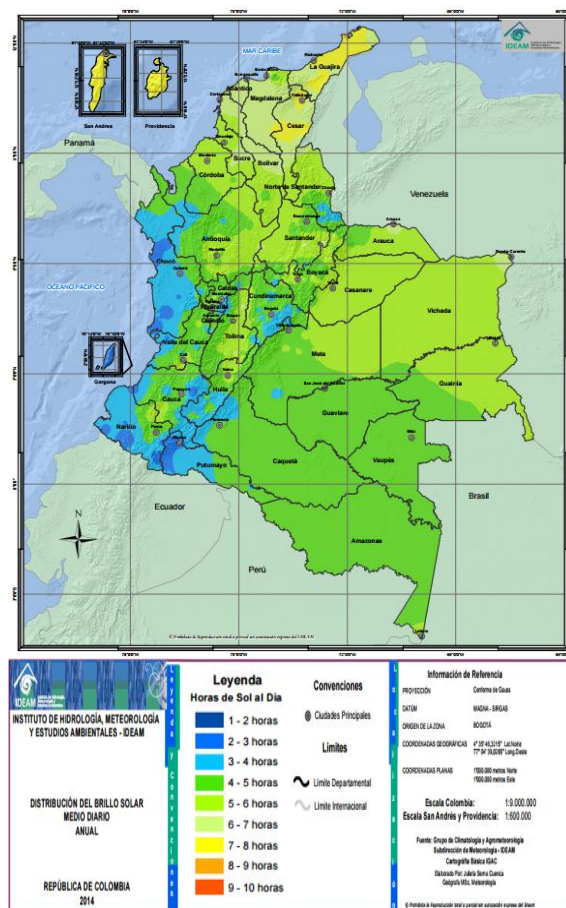


Figura 3. Mapa y Convenciones de Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día), República de Colombia, 2014.
Fuente: [26].

Para referirse al potencial de la energía solar en Colombia, Eraso y Eraso, afirman que las condiciones naturales en Colombia para la generación de energía solar son favorables y que la radiación presenta niveles constantes [4]. Mesa, Escobar e Hincapié, al sostener que la ubicación geográfica de

Colombia hace que tenga esta fuente de energía disponible durante todos los días del año, coincide en lo afirmado por los autores Eraso y Erazo [25].

En la tabla 1 se muestra el recurso solar de algunas ciudades principales de Colombia, se nombra la estación meteorológica que reporta, el departamento al que pertenece cada municipio, valores de latitud, longitud y elevación (m.s.n.m.), el promedio

anual por día, los años de información de cada estación y las fechas específicas desde cuando se recolecta la información, con fin de proveer y suponer acerca de valores de radiación solar del pasado, presente y futuro. Se pueden observar ciudades con valores de radiación solar entre 3,6 kWh/m²/d y 5,9 kWh/m²/d. Determinando regiones propicias y potenciales en cuanto a recurso solar.

Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m.)	Promedio Anual (kWh/m ² por día)	Años de Información	Fecha Inicio	Fecha Final
Aeropuerto Eldorado	Bogotá	Cundinamarca	4,71	-74,15	2541	4,0377	23	mar-81	dic-04
Aeropuerto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	6,22	-75,58	1490	4,3351	10	ene-85	jun-97
Las Flores	Barranquilla	Atlántico	11,04	-74,82	2	5,9512	6	nov-09	dic-14
Aeropuerto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	10,43	-75,5	2	5,5525	7	feb-90	dic-00
UPTC	Tunja	Boyacá	5,55	-73,35	2690	4,6574	6	ene-96	dic-01
E.M.A.S	Manizales	Caldas	5,09	-75,51	2207	3,7672	10	may-05	dic-14
Univ. Tecnológica de Magdalena	Santa Marta	Magdalena	11,22	-74,19	7	5,4054	7	ago-07	dic-14
Aeropuerto Vanguardia	Villavicencio	Meta	4,15	-73,62	423	4,7507	14	ene-90	dic-14
Botana	Pasto	Nariño	1,16	-77,28	2820	3,7428	10	may-05	abr-03
Aeropuerto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	7,92	-72,5	250	4,4438	12	sep-89	nov-13
Armenia	Armenia	Quindío	4,53	-75,69	1458	3,9338	10	dic-05	nov-96
Aeropuerto Matecaña	Pereira	Risaralda	4,8	-75,73	1342	4,2109	7	oct-90	oct-13
Aeropuerto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	12,58	-81,7	1	4,8183	3	ene-01	dic-14
Aeropuerto Perales	Ibagué	Tolima	4,42	-75,13	928	4,6632	9	nov-89	dic-14
Univalle	Cali	Valle del Cauca	3,38	-76,53	992	4,3326	9	nov-06	dic-14
Macagual - Florencia	Florencia	Caquetá	1,5	-75,66	257	3,6175	10	jul-05	dic-14
Aeropuerto Almirante Padilla	Riohacha	La Guajira	11,52	-72,92	4	5,6058	17	sep-91	mar-14

Tabla 1. Potencial de Irradiancia global media recibida en superficie para algunas de las Principales Ciudades del País.
Fuente: IDEAM [27].

En base a los mapas de radiación solar sobre una superficie plana y potenciales de irradiación global media recibida en superficie, ciudades como Bogotá, Tunja, Cali, Medellín. Pueden alcanzar valores entre 4 y 4,6 kW/m², pudiendo con esto garantizar la generación eléctrica con sistemas fotovoltaicos. Si se implementan estos sistemas se minimizaría la saturación de la energía en el SIN (pérdidas por transporte de energía), trayendo consigo más inversión en todas las zonas que no gozan de este servicio básico ZNI [24].

Observando las figuras 2, 3 y la tabla 1. Colombia cuenta con un buen recurso solar. Pues realizando una comparación con países como Alemania, se evidencia que este cuenta con valores de irradiación solar del orden de (3,0 kWh/m²/d), y depende de las estaciones, aun así, es uno de los países que hace más uso de dicha fuente energética.

2.2 INSTITUCIONES DE APOYO FINANCIERO Y TÉCNICO

En la tabla 2 se listan algunos fondos e instituciones de apoyo financiero y técnico para los sectores de energía eléctrica en Colombia, la mayoría de estas entidades son financiadas por el

Ministerio de Minas y Energía (MME) y vigiladas por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la cual se encarga de estudiar la viabilidad técnica y financiera, evaluando y desarrollando proyectos relacionados con el tema de energía eléctrica; Estas Instituciones buscan ampliar la cobertura, desarrollar proyectos de carácter renovable, disminuir la dependencia de generación de otras fuentes, mejorar la capacidad instalada y el servicio de la energía eléctrica en el país. Brindando este servicio básico a todos los colombianos y trayendo consigo desarrollo económico, cultural y social [28].

INSTITUCIÓN	SIGLA
Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas	FAER
Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas	FAZNI
Programa de Normalización de Redes Eléctricas	PRONE
Sistema General de Regalías	SGR
Financiera de Desarrollo Territorial S.A.	FINDETER
Filial de ISA especialidad en la Gestión de Sistemas de Tiempo Real	XM
Sistema de información Eléctrico Colombiano	SIEL
Sistema de Información Energética	SIE
Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales de Colombia	IDEAM

Departamento Administrativo Nacional de Estadística	DANE
Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica	ACOLGEN
Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales	ASIC
Liquidador y Administrador de Cuentas	LAC
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	ANLA
Instituto Colombiano de Energía Eléctrica	ICEL
Centro Nacional de Despacho	CND
Consejo Nacional de Operación	CNO
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios	SSPD
Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia	SGI&C - FNCER
Fuentes no Convencionales de Energía	FNCE
Comisión de Regulación de Energía y Gas	CREG
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas	IPSE
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME
Ministerio de Minas y Energía	MME

Tabla 2. Fondos e instituciones de apoyo financiero y técnico en Colombia.

Fuente: Autor, a partir de [28].

2.3 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FV EN COLOMBIA

La energía solar fotovoltaica actualmente es la segunda fuente de energía renovable más utilizada o implementada en el mundo, después de la Eólica. Esto se debe a que brinda soluciones a un sin número de problemáticas en este sector [6].

Las aplicaciones de esta fuente energética son muchas [29]. A continuación, se listan algunas posibles aplicaciones, las cuales pueden ser muy beneficiosas para el territorio colombiano [30]; ya que buscan proporcionar energía eléctrica en áreas o espacios como:

- **Servicios:** Sector comercio, inmobiliario, salud, alimentación, educación, etc., buscando suplir la demanda de energía de dichos establecimientos, ya sea en electrodomésticos, equipos y maquinarias de consumo [30].
- **Residencial (viviendas y edificaciones):** En actividades relacionadas con viviendas privadas, iluminación, enfriamiento, calentamiento de agua, calefacción, entre otras; las mayores fuentes de demanda son los electrodomésticos y estas instalaciones son de conexión a la red [31].
- **Electrificación de viviendas aisladas:** Se puede ofrecer la alternativa de satisfacer el consumo de una vivienda sin conexión a la red o zonas con deficiencias de abastecimiento eléctrico [32].
- **Industrial y telecomunicaciones:** Abasteciendo cierta parte o el total de la demanda de las repetidoras, sistemas de comunicación, maquinaria o equipos de consumo industrial; reduciendo el consumo de energía proveniente de la red convencional (- \$) por medio de generación distribuida [33].
- **Agropecuario (Sistemas agroganaderos y de agricultura):** Supliendo necesidades de luz, refrigeración, cercas eléctricas, sistemas de riego por medio de bombeo fotovoltaico y equipos con diferentes fines [34].
- **Transporte:** Se puede implementar la energía eléctrica para generar movimiento mecánico, algunas aplicaciones pueden ser en los vehículos eléctricos, sistemas de transporte masivo,

sistemas de señalización vial, otra muy buena solución es la implementación de sistemas fotovoltaicos en los semáforos de las ciudades [35].

Además, se pueden aplicar en [30]:

- Sistemas de inyección o conexión a la red eléctrica convencional.
- Instalaciones Centralizadas y Descentralizadas.
- Satélites, etc.

Haciendo un recuento a través del tiempo de proyectos puestos en marcha y en especial de la tecnología FV en el país se tiene que, en los años 80, se realizó el programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En el proyecto se instalaron generadores fotovoltaicos de 60 Wp (vatio pico) para radioteléfonos; Al año 1983 se tenían instalados 2.950 sistemas de esta capacidad. Seguidamente se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp (Kilovatio pico) [36].

Según un estudio realizado entre los años 1985 y 1994, se importaron 48.499 módulos solares para una potencia de 2,05 MWp. De los cuales, se utilizaron 20.829 para telecomunicaciones rurales, logrando una potencia de 935,5 kWp. Y otros 20.829 se utilizaron en electrificación rural, logrando una potencia alrededor de 953,5 kWp. También se realizó un estudio de funcionamiento de los mismos, sobre una muestra de 248 sistemas, donde el 56% funcionaban sin problemas, el 37% funcionaban con algunos problemas y el restante 7% estaban fuera de servicio. [37].

Los años ochenta se caracterizaron por ser el boom del mercado de sistemas fotovoltaicos, sin embargo, en los 90 se frenó el desarrollo del mercado por las dificultades del orden público presentadas en esa década; desde los años 80 hasta los años 90 se estimaba un desarrollo o crecimiento del mercado fotovoltaico anual, del orden de 300 kW. Estimaciones realizadas por Corpoema y IPSE en el año 2010, indicaban que para ese periodo Colombia contaba con una potencia instalada de 9 MWp; Según el IPSE, en ese mismo año se tendrían 15.000 sistemas solares fotovoltaicos instalados, los cuales suministrarían energía para iluminación, radio y tv [36].

El Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL), desarrollo alrededor de 370 proyectos de instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales, los cuales se encuentran instalados en los departamentos: Vichada, Guaviare, Guainía, Vaupés y Amazonas. Estos constan de un módulo fotovoltaico de 51-53 Wp (vatio pico), una batería de 60-72 Ah (Amperio hora), regulador de 12 A (Amperio), uno o dos tomacorrientes y 2 a 3 lámparas fluorescentes [9].

En cuanto a importaciones de los sistemas fotovoltaicos, en el año 2005 alcanzaron valores de US\$ 2.919.100. Discriminados en dos categorías de US\$ 1.773.839 para dispositivos semiconductores fotosensibles y US\$ 1.145.261 para células fotovoltaicas. A continuación, se pueden observar las empresas que importaron estos sistemas y la inversión realizada, la mitad de las importaciones provienen de Estados Unidos (43.46%) [9], ver tabla 3.

EMPRESAS IMPORTADORAS DE DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES FOTOSENSIBLES		
EMPRESAS	INVERSIÓN (US\$)	%
Tenesol Colombia Ltda.	\$ 162.861,00	14,22%
Melco de Colombia Ltda.	\$ 147.220,00	12,85%
Coexitto S.A.	\$ 123.645,00	10,80%
Colsein Ltda.	\$ 83.404,00	7,28%
BP Solar España Suc. L.A.	\$ 76.637,00	6,69%
Unión Temporal Fulgor Energía	\$ 70.356,00	6,14%
Componentes Electrónicas Ltda.	\$ 58.003,00	5,06%
Durespo S.A.	\$ 44.203,00	3,86%
Energías Integradas CIA. Ltda.	\$ 42.000,00	3,67%
Andcom Ltda.	\$ 38.920,00	3,40%
Satelice and Solar Services - 3s	\$ 38.010,00	3,32%
Proyectos y desarrollo social	\$ 30.260,00	2,64%
Solar Center Ltda.	\$ 26.112,00	2,28%
Coaxesorios Ltda.	\$ 22.240,00	1,94%
Otros	\$ 181.390,00	15,84%
TOTAL	\$ 1.145.261,00	100%

Tabla 3. Principales Empresas Importadoras de Células Fotovoltaicas a Colombia, Año 2005.

Fuente: Autor, a partir de [9], [38], [39], [40].

En el año 2012 se instaló un sistema solar fotovoltaico autónomo de 800 Wp en el despacho de la rectoría de la Universidad Tecnológica del Chocó, en la ciudad de Quibdó. Esta planta de generación ha permitido respaldar el suministro de fluido eléctrico en momentos de corte de electricidad por parte de la empresa de energía local. El sistema está compuesto por 10 paneles solares de silicio mono-cristalino, un inversor dc-ac de 1.500 W, un regulador de carga de 20 A y cuatro baterías de 255 Ah [41].

Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos se han modificado, pues para aplicaciones de hogares e instituciones aisladas en la actualidad constan o se componen de paneles solares de 70 - 300 Wp, baterías entre 60 - 120 Ah y reguladores de carga de 12 A - 24 A [42].

Las aplicaciones más difundidas o desarrolladas en Colombia son la generación de electricidad a pequeña escala para la

electrificación de viviendas aisladas y el bombeo fotovoltaico. Pues en las ZNI se abastece la demanda eléctrica con sistemas de fácil instalación y transporte. Además, en las zonas rurales de difícil acceso a redes de transmisión, se suele suplir el consumo de electrodomésticos y maquinaria agropecuaria. [43]. Es importante resaltar que el bombeo fotovoltaico consiste en impulsar el agua por medio de un sistema de bombeo alimentado por energía solar, básicamente está compuesto por un panel fotovoltaico y una bomba eléctrica [44].

En lo concerniente al aprovechamiento del recurso en Colombia, Barbosa en su documento, consideran que hasta ahora el país está comenzando, que los estudios académicos no han sido llevados a la práctica [45]. Rodríguez no difiere en gran manera en lo dicho por Barbosa, al considerar que la energía solar es utilizada en Colombia principalmente en la generación de electricidad a pequeña escala. Por su parte afirma que los logros son modestos y que el país aún no ha podido dejar de depender de tecnologías extranjeras [46].

En cuanto a la utilización de la energía solar FV en Colombia, según Ladino, este recurso es muy usado en el sector rural para el abastecimiento de servicios de electricidad, como iluminación en los hogares y funcionamiento de electrodomésticos [47].

Con respecto a las aplicaciones generales de este tipo de energía solar han estado dirigidas a zonas remotas o rurales, en cuanto a electrificación de viviendas, sistemas de abastecimiento de agua, instituciones educativas, comunicaciones, centros de salud, iluminación, refrigeración de medicinas, neveras y comunidades. Ya que los costos de generación, operación y mantenimiento de sistemas que utilizan combustibles son muy altos [47]. Algunos proyectos fotovoltaicos realizados entre los años 1991 y 2016 en Colombia se encuentran en las tablas 4 y 5. Trayendo consigo información de la ubicación, población beneficiada e inversión.

PROYECTO	ENTIDADES	AÑO DE VIGENCIA FISCAL	FINANCIADO COLCIENCIAS	COSTO TOTAL DEL PROYECTO
Desarrollo de celdas solares - Fase II	Universidad Nacional - Sede Bogotá	1997	\$ 45.616.393	\$ 45.616.393
Desarrollo de materiales para la fabricación de celdas solares e instalación y monitoreo de sistemas prototipo de generación fotovoltaica de electricidad	Universidad Nacional - Sede Bogotá	2002	\$ 125.282.745	\$ 339.106.250

Tabla 4. Proyectos en Fuentes No Convencionales de Energía, periodo 1991 – 2009, pesos constantes 2006.

Fuente: Autor, a partir de [36].

PROYECTOS DE INVERSIÓN FOTOVOLTAICOS - 2015				
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PROYECTO	POBLACIÓN BENEFICIADA	VALOR EN PESOS
Nariño	Santa Bárbara de Iscuandé	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios, Santa Bárbara de Iscuandé, Nariño	307 Familias (1290 personas)	181.662.190
	Leiva	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios, Leiva, Nariño	60 Familias (252 personas)	181.662.190
	El Sábalo - Barbacoas	Sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas y en la red de microscopios en la selva Awa	71 Familias (298 personas)	181.662.190

Chocó	Comunidad de bajo baudó - Puerto Abadía	Energía Solar en Concosta, en la comunidad de Bajo Baudó Centro poblado de Puerto Abadía, Chocó	62 Familias (190 personas)	168.571.333
	Litoral de San Juan	Energía solar para la comunidad de El Litoral de San Juan, García Gómez, Chocó	20 Familias (88 personas)	168.571.333
	Litoral de San Juan	Energía solar en Unión Balsalito en el Litoral de San Juan, Chocó	87 familias (383 personas)	167.821.333
	Parque Nacional Natural de Utria	Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Parque Nacional Natural de Utria, Chocó		126.106566.
PROYECTOS DE INVERSIÓN FOTOVOLTAICOS - 2016				
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PROYECTO	POBLACIÓN BENEFICIADA	VALOR EN PESOS
Amazonas	Resguardo Indígena Ticoya San Martín de Amacayacu - Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Ticoya San Martín de Amacayacu del Municipio de Leticia - Amazonas	125 personas beneficiadas de 542	262.184.716
	Resguardo Indígena Mocagua - Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Mocagua del Municipio de Leticia - Amazonas	118 personas beneficiadas de 617	224.793.793
	Resguardo Indígena Santa Sofía - Leticia	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo y centro de salud Resguardo Indígena Santa Sofía del Municipio de Leticia - Amazonas	97 personas beneficiadas de 582	259.277.777
Arauca	vereda San José - Cravo Norte	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda San José ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	20 personas beneficiadas de 120	166.444.677
	Vereda Juriepe - Cravo Norte	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda Juriepe Ubicado en el municipio Cravo Norte del departamento Arauca	19 personas beneficiadas de 114	158.047.924
Putumayo	Centro Educativo e Internado Luis Vidales - Puerto Leguizamo	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo e Internado Luis Vidales Comunidad Piñuña Negro del Municipio de Puerto Leguizamo - Putumayo	98 personas beneficiadas de 600	289.128.922
Vichada	Centro Educativo La venturosa - Puerto Carreño	Implementación de sistema solar fotovoltaico para el Centro Educativo La venturosa del Municipio de Puerto Carreño - Vichada. Dentro de este proyecto también se provee electricidad a un centro de salud durante las 24 horas del día	98 personas beneficiadas de 300	177.934.119
Guajira	Nazareth y Puerto Estrella - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para los usuarios localizados en el corredor entre Nazareth y Puerto Estrella en la Alta Guajira	86 personas beneficiadas de 1.032	1.249.074.511
	comunidades indígenas de Malirrachon, Ushuru y Mapuain - Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Malirrachon, Ushuru y Mapuain Municipio de Manaure Alta Guajira	40 personas beneficiadas de 480	367.500.333
	Comunidades indígenas de Juluguaipa y Ampuita - Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Juluguaipa y Ampuita Municipio de Manaure Alta Guajira	30 personas beneficiadas de 360	280.297.908
	Comunidades indígenas de Cuniche - Manaure - Alta Guajira	Implementación de sistema solar fotovoltaico para usuarios de las comunidades indígenas de Cuniche Municipio de Manaure Alta Guajira	30 personas beneficiadas de 624	469.656.758
Chocó	vereda Los Tibirre alto, medio y bajo -Acandí	Implementación de sistemas fotovoltaicos individuales para la generación de energía eléctrica en la vereda Los Tibiarle alto, medio y bajo. Municipio de Acandí. Departamento del Chocó	79 personas beneficiadas de 948	982.367.318
	Vereda Titiza -Acandí	Implementación de sistemas fotovoltaicos individuales para la generación de energía eléctrica en la vereda Titiza. Municipio de Acandí. Departamento del chocó	59 personas beneficiadas de 278	736.662.971

Tabla 5. Proyectos de Inversión Fotovoltaica 2015 y 2016.

Fuente: Autor, a partir de [7]

El Instituto IPSE ha desarrollado proyectos, los cuales para el año 2015 beneficiaron 201.742 usuarios con más de 108 entes prestadores del servicio eléctrico. Brindando una capacidad operativa de 215.568 KW, entre estos 2.600 KW en energías renovables, sin embargo. Siguen siendo muchas las zonas que carecen de este servicio [48].

Es importante conocer acerca de los proyectos de generación eléctrica en el país, y para ello existe el Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencional de Energía Renovable en Colombia (SGI&C – FNCER), el cual

es un proyecto de la UPME que busca informar acerca de proyectos en energías renovables. A la fecha, se estima que en las diferentes regiones (Norte de Santander, Cauca, Cundinamarca) del país (urbanas y rurales) existen proyectos de generación eléctrica con tecnología solar fotovoltaica (paneles fotovoltaicos) de tipo privado y comercial, con tipos de conexión: Conectado al Sistema Interconectado y Aislado del Sistema Interconectado. Como se puede observar en la tabla 6, estos se encuentran en estado de funcionamiento, finalización, desarrollo, construcción y planeación. Logrando aportes significativos en la Capacidad de generación y

aprovechamiento del recurso solar, como también, aportando en el mejoramiento de los servicios eléctricos en el país de las ZNI y el SIN.

PROYECTOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN COLOMBIA		
ESTADO	CAPACIDAD (KW)	ENERGÍA (KWh/mes)
En Funcionamiento	5.653,70	15.231,80
Finalizado	133,44	15.239,00
En Desarrollo	39,92	4.246,90
En Construcción	72	10,3
En Planeación	87.709,00	2.812.809,00
TOTAL	93.608,06	2.847.536,50

Tabla 6. Proyectos de Generación Eléctrica en Colombia al año 2017.
Fuente: Autor, a partir de [42].

En resumen, en el 2005 existían aproximadamente 145 sistemas fotovoltaicos, cuya capacidad instalada era 208,06 KW [9]. En el año 2014 se tenía alrededor de 11,6 GW, y en el 2015 se incrementó un 0,6 GW para un total aproximado de 12 GW [6]; pero esta cifra ha aumentado de acuerdo a los proyectos hechos en la actualidad, y se provee incrementemente con la ejecución y puesta en marcha de los mencionados en las tablas 5 y 6.

Las energías renovables han venido creciendo con relevancia en el mundo, hoy en día la mayor parte de las empresas han querido implementar estos sistemas de generación; los consumos energéticos que se realizan diariamente se hacen en forma de calor, electricidad, movimiento, etc. Pero el más usado por la población mundial es el consumo eléctrico [49]. En el país, el interés en la tecnología solar fotovoltaica ha estado en instituciones estatales como el MME, UPME, SGI&C-FNCER [42]. Las cuales estudian y desarrollan proyectos con energía solar FV en diferentes zonas del país. Pero algunas universidades han comenzado a realizar esfuerzos valiosos para convertir en centro de investigación científica este tipo de energía [45]. como es el caso de La Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano, la cual ha venido desarrollando una propuesta de generación de energía a partir de un sistema solar fotovoltaico en la red de baja tensión de su instalación. La meta de este proyecto es dimensionar, instalar y poner en operación un sistema de generación de potencia eléctrica fotovoltaica distribuida en su red de baja tensión de 208 Vac para suplir sus necesidades eléctricas y para conocer más acerca de estas tecnologías [50].

Con relación a un plan o proyecto de implementación de un sistema solar fotovoltaico en Colombia, podría ser: desarrollar un sistema FV en áreas, servicios o espacios como estaciones de transporte masivo (Transmilenio). Pues recopilando información de la estación de Transmilenio Marly, se dice que consume un promedio mensual de 4.915 kWh y podría pagar entre \$ 2.387.678 a \$ 2.456.824 mensualmente por el servicio eléctrico, como se puede evidenciar en las tablas 7 y 8. En efecto, al implementar un sistema fotovoltaico se generaría conciencia y se verían beneficiados estudiantes, pacientes, empleados de los hospitales, clínicas o personas del común que hagan uso de esta estación y sus servicios, como también dicha empresa podría traer consigo un ahorro significativo a mediano o largo plazo, logrando con esto promover el uso de esta fuente

energética en el país, la cual trae consigo múltiples beneficios [51].

CONSUMO ENERGÍA 2016		
ESTACIÓN	CONSUMO KWh	PERIODO
MARLY	4.834	Del 09 Diciembre 2015 al 13 de Enero 2016
	4.969	Del 14 de Enero al 10 de Febrero
	4.563	Del 11 de Febrero al 09 de Marzo
	4.564	Del 10 de Marzo al 11 de Abril
	5.156	Del 12 de Abril al 10 de Mayo
	5.090	Del 11 de Mayo al 09 de Junio
	4.823	Del 10 de Junio al 08 de Julio
	5.130	Del 09 de Julio al 08 Agosto
	5.111	Del 09 de Agosto al 07 de Septiembre

Tabla 7. Información de consumo eléctrico estación de Transmilenio Marly - Bogotá DC.
Fuente: Autor, a partir de [51]

TARIFA CONSUMO ENERGÍA 2016				
ESTACIÓN	CONSUMO KWh	VALOR KWh [\$]	VALOR CANCELADO [\$]	PERIODO
MARLY	4.834	424	2.456.824	Del 09 de Diciembre al 13 de Enero
	4.969	427	2.537.045	Del 14 de Enero al 10 de Febrero
	4.563	436	2.387.678	Del 11 de Febrero al 09 de Marzo

Tabla 8. Información de tarifa KWh consumida o facturada en la estación de Transmilenio Marly – Bogotá DC.
Fuente: Autor, a partir de [51].

2.4 BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN

Los beneficios de esta fuente energética son muchos. Sin embargo, se busca generar un mayor consumo de energía solar, ya que se cree traería consigo una reducción del uso de las otras fuentes de energía, una menor demanda de la red y, por consiguiente, una reducción de los precios nacionales en las fuentes tradicionales. Esto desde luego, es un beneficio para todos los consumidores [52]. Es importante destacar que la inversión o costo inicial de una instalación fotovoltaica es alto. Pero, el aprovechamiento posterior es enorme (larga vida útil del sistema) y económico (bajos costos de mantenimiento y no necesita de combustible). Se dice que si se aumenta la oferta de energía fotovoltaica, el costo sería menor, lo que se conoce como *merit-order effect* [53].

Acerca de las ventajas de la energía solar FV. La principal y más importante ventaja consiste en que la fuente de energía (Radiación Solar) es gratuita, esto puede ser muy significativo a la hora de invertir en un sistema Solar FV. Se ha argumentado que este tipo de energía contribuye de forma positiva al bienestar social en la medida que reduce las externalidades negativas sobre el medio ambiente. Frente a otras fuentes de energía, la fotovoltaica genera menores emisiones de dióxido de carbono (CO₂), efecto invernadero, lluvia ácida y óxidos de azufre [54]; Este tipo de energía limpia reduce las emisiones

por kilovatio hora (KWh) en 0,6 kg/ KWh; teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ alcanzadas en 2010. Si se supone un costo entre 10 y 20 dólares de la tonelada de CO₂, el valor de las externalidades evitadas se calcula entre 0,006 y 0,012 dólares por kilovatio [55].

A saber los factores de emisiones asociados con los sistemas solar FV para el año 2013 se encontraban en el orden de 50 kg CO₂ eq/MWh, frente a valores por encima de 450 kg CO₂ eq/MWh para plantas operadas con combustibles fósiles [11].

Otro gran beneficio o ventaja es que cualquier persona u empresa puede generar energía eléctrica con sistemas FV, aumentando la independencia energética. Además, el uso de la energía fotovoltaica es menos peligroso, debido a que no necesita de líneas de alta tensión, las cuales pueden generar catástrofes en cuanto fallo de estructura y líneas de transporte. De acuerdo al IPSE, Colombia presenta un sistema Interconectado muy débil el cual no cubre toda la demanda del país, el transporte de energía resulta costoso y genera pérdidas significativas; Haciendo uso de esta fuente energética, se pueden reducir impactos ambientales, emisiones de gases de efecto invernadero (actividades industriales) y demás contaminación causada por el petróleo, carbón entre otras [9].

Acerca de los beneficios, Makridis coincide con Greenpeace y EPIA al decir que la implementación de los sistemas fotovoltaicos favorece el bienestar social y económico, dado que con estos es menor la emisión de dióxido de carbono, óxidos de azufre y el costo disminuye en razón de las externalidades evitadas [54], [55].

2.4.1 Beneficios Tributarios

El Sector Eléctrico Colombiano (SEC) cuenta con toda clase de oportunidades e incentivos tributarios para la implementación de la energía fotovoltaica. la Ley 1715 de 2014 concede grandes beneficios a las personas naturales o jurídicas que fomenten la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de las Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE), entre los cuales se encuentran:

- Disminución del 50% en el impuesto de renta, a quienes estén obligados a declarar y hayan invertido en energías renovables no convencionales [56].
- Los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en energía solar FV, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, el 50% del valor total de la inversión realizada. Durante los 5 años siguientes al año gravable en el que hayan realizado la inversión [11].
- Los generadores de energía renovable en pequeña y gran escala, podrán vender a la red eléctrica, el excedente de energía que ellos no consuman (medición bidireccional), según disponga la CREG [57].
- Los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión, inversión, medición y evaluación de las FNCE, estarán excluidos de IVA.

- Las personas naturales o jurídicas que a partir de la vigencia de la presente ley sean titulares de inversiones en proyectos de FNCE, gozarán de exención del pago de los derechos arancelarios en: maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación, está deber ser solicitada a la DIAN, 15 días hábiles antes de la importación. [9].

- Tasa de depreciación acelerada menor o igual al 20% como tasa global anual [58].

2.5 LEYES Y POLÍTICAS ENERGÉTICAS

El Sector Eléctrico Colombiano ha venido generando estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable. Por medio de entes reguladores como el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), los cuales han trabajado en legislaciones y decretos [36], entre estos:

- El Gobierno Nacional creó la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, para impulsar la investigación en el URE (Uso Racional de la Energía) a través de Colciencias.

- En 1992, se incluyó un documento llamado "Políticas en fuentes alternas de energía, presente y futuro". Encaminado a políticas de orden, en el campo de las fuentes alternas no convencionales de energía para la población urbana y rural. En el documento se señala las funciones asignadas por el artículo 63 de la Ley 1 de 1984, correspondientes a:

- ✓ Promover la aplicación de fuentes alternas de energía mediante la utilización de recursos energéticos localmente disponibles, especialmente en áreas donde los servicios públicos son deficientes.
- ✓ Evaluar y supervisar la ejecución de proyectos en zonas aisladas.
- ✓ Evaluar el potencial de FNCE.
- ✓ Efectuar estudios para el desarrollo de las FNCE con el fin de formular políticas a nivel nacional.

- Mediante la Ley 164 de octubre de 1994 y el artículo 1º de la Ley 7ª de 1994. El Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992. Encaminado a enfrentar los GEI (Gases de efecto Invernadero) y el cambio climático por medio de una política global.

- En 1994 se reestructuró la expedición de las Leyes 142 y 143; en la cuales se establecieron límites en cuanto a actividades de funcionamiento del sector energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización para las SIN y ZNI. Se le asignó a la UPME elaborar el Plan Energético Nacional (PEN) y el Plan de Expansión del sector eléctrico [59].

- El INEA elaboró el Plan de Desarrollo de Energías Alternativas 1996 – 1998, publicado en febrero de 1995. Este trataba acerca de una recopilación de proyectos [36].

- Se creó el Plan Energético Nacional (PEN) 1997 – 2010 Autosuficiencia Energética Sostenible, el cual es un documento que presenta ideas, perspectivas, retos, requerimientos y competencias sobre el desarrollo futuro del sector energético colombiano, en este se ratificó la Convención Marco por parte del Congreso, respecto a las emisiones del GEL.
- En diciembre del año 2000, se aprobó la Ley 620, la cual trataba acerca del “Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático”, favoreciendo a Colombia en cuanto a uso del Mecanismo Desarrollo Limpio previsto en dicho Protocolo [60].
- Colombia se acogió al Protocolo de Kioto, el cual ratificó mediante la Ley 697 del 2000. Encaminado a disminuir los efectos del cambio climático por la contaminación ambiental [60], [61].
- Mediante la ley 697 de 2001, se fomentó el uso racional y eficiente (URE) de energía en Colombia. El cual adoptó normas y estrategias para garantizar la satisfacción de las necesidades energéticas (eficiencia) [62].
- Para impulsar el uso de fuentes alternas de energía (Solar Fotovoltaica), se creó el Decreto 3652 y 3683 de 2003, los cuales establecen el programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales – PROURE [9], [62].
- Actualmente existe la Ley 143 de 1994, la cual establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo a actividades legales correspondientes al MME (Ministerio de Minas y Energía) [63].
- Mediante la resolución 18 0919 de junio de 2010, se promueve la utilización de energías alternativas [62].
- La ley 1715 de 2014, se creó con el fin de reglamentar la integración de las energías renovable no convencionales al sistema energético nacional, dentro de sus funciones delega a la CREG establecer tarifas para la energía solar FV, también regula la venta de créditos o excedentes de energía entregados a la red de distribución y transporte para auto generadores que produzcan menos de (5 MW), apoya la utilización de fuentes locales para producción de energía a través del Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGÉ) [56].
- Los lineamientos de la política energética general vigente se encuentran en el PEN 2050, el cual presenta ideas, perspectivas, retos, requerimientos, competencias y panorama del sector energético [64].

2.6 DEMANDA

A saber, el 78% de la energía consumida Colombia proviene de fuentes fósiles, mientras que el 22% restante proviene de fuentes renovables [11]. En el país, la mayor parte de energía eléctrica es generada por hidroeléctricas, las cuales se

encuentran en los departamentos de: Antioquia, Boyacá, Santander y Cundinamarca. Esto genera una dependencia alta de esta fuente de energía, *“Esta dependencia puede llegar a limitar el desarrollo regional y local, y esto en última instancia afecta la calidad de vida de los habitantes de todo un país, entendiéndonos, así como una república unitaria [...]”* [65]; Sin embargo esta fuente de energía trae consigo impactos ambientales negativos en los ecosistemas como: ciénagas, humedales, pantanos, ríos, quebradas, donde habitan diversas especies de flora y fauna. Afecta en mayor proporción a las poblaciones cercanas a las represas [53], [66]. Además, esta fuente de generación puede presentar imprevistos debido a condiciones críticas como lo es el verano, invierno ó condiciones climáticas como el fenómeno del niño presentado en los años 1992, 1993, 2009, 2010, 2013 y 2014. el cual representó bajos niveles en los embalses y por lo tanto baja su capacidad de generación. Asimismo se ha pronosticado vulnerabilidad a las sequías, las cuales crecerán significativamente en Colombia debido al cambio climático, causando así altos e inciertos costos de operación de las plantas térmicas como respaldo a un déficit hídrico [36]

En el mundo existen países que han tenido que enfrentar crisis energéticas por la alta dependencia de fuentes de generación como la hidráulica y por presentar una generación centralizada, es el caso de Uganda y Albania, los cuales han tenido grandes demandas eléctricas y para el mismo tiempo han sufrido grandes sequías. Optando por soluciones costosas como instalación de plantas de generación térmica (combustión de petróleo). Debido a estas situaciones países como Uruguay, Noruega, Suecia y Finlandia han invertido en fuentes de generación renovable para evitar imprevistos y sobrecostos en la medida de suplir la demanda energética de sus habitantes en condiciones extremas [11]

Es necesario aclarar que cuando se habla de generación centralizada, se hace referencia a un tipo de generación a gran escala, las cuales se realizan con fuentes convencionales como la hidráulica, la térmica y se encuentran ubicadas lejos del sistema de distribución. Así mismo, cuando se menciona generación distribuida (GD), se hace referencia a varias fuentes de generación las cuales generan pequeñas porciones de energía eléctrica (< 10 MW), estas utilizan tecnologías limpias (fotovoltaica, eólica, geotérmica, biomasa, mini hidráulica) y se encuentran ubicadas cerca al Sistema de Distribución local (SDL) o conectadas en las instalaciones de los consumidores [67], [68].

El propósito es poder cambiar y consolidar la generación de carácter centralizado a generación distribuida, donde se puedan beneficiar cada vez más productores y consumidores. Pues el poder implementar GD presenta bastantes beneficios como:

- Reducción de pérdidas de energía debido al transporte (pérdidas parásitas), se dice que se pierde alrededor de un 65 % del total de la energía producida [69].
- Mejora en la capacidad de distribución y generación [68].
- Mayor confiabilidad y calidad del sistema, varias fuentes de generación, las cuales pueden dar respuesta o respaldo oportuno frente a un fallo [70].
- Reducción de la contaminación [70].

2.6.1 Demanda Actual

La demanda de energía eléctrica en Colombia, para el año 2015 alcanzó un valor pico de 66.174 GWH. Los servicios que más demandaron energía fueron los electrodomésticos (neveras, ventiladores), sistemas de aire acondicionado y sistemas de transporte de agua (bombeo eléctrico). pues para este período hubo un aumento significativo en las temperaturas del país debido al fenómeno del niño [2].

La generación de energía eléctrica en Colombia no supe la totalidad de la demanda del país, Pues la capacidad instalada de energía eléctrica en el año 2013 era de 13.354,48 MW [71], Al 31 de diciembre de 2014 la capacidad efectiva neta de energía eléctrica del SIN alcanzó un valor de 15.498 MW y al finalizar el año 2015 se registró un valor de 16.420 MW [72]. Actualmente, al 31 de Octubre de 2017 se cuenta con una capacidad efectiva neta de 16.750,64 MW [73], esto debido a proyectos energéticos de tipo hidráulico, de cogeneración, eólicos y térmicos que se han venido realizando o se encuentran en fase de construcción.

2.6.2 Demanda Potencial

Para los años 2016 y 2017 se pronostica una proyección de la demanda de energía eléctrica del orden de 67.476 GWH Y 71.412 GWH, Sin embargo, La energía solar Fotovoltaica en Colombia, puede ser una opción muy viable para aumentar la capacidad instalada, la capacidad neta y suplir gran parte de la demanda de energía eléctrica en las Zonas que cuentan con el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y las Zonas no Interconectadas (ZNI), ya que el 32,0% del territorio nacional carecen de este servicio básico. Es importante destacar que cuando se habla de Sistema Interconectado Nacional (SIN), se hace referencia a las zonas (municipios, corregimientos, localidades, caseríos) que tienen acceso al servicio de energía eléctrica mediante un sistema de suministro eléctrico (líneas de transmisión, redes de transporte, subestaciones eléctricas, postes de luz); y cuando se menciona las Zonas no interconectadas (ZNI), se hace referencia a las zonas que no tienen acceso a un sistema de suministro de energía eléctrica. En estas últimas zonas, la prestación del servicio eléctrico se hace mediante plantas de generación diésel, paneles solares (sistemas fotovoltaicos) y pequeñas centrales hidroeléctricas [74].

Recolectando información, se evidenció que algunos departamentos, municipios y localidades que presentan deficiencias o no tienen acceso a este servicio en algunos de sus sectores se encuentran ubicados en el Amazonas, Caquetá, Putumayo, Vaupés, Guaviare, Guainía, Vichada, Casanare, Meta, Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Chocó y Guajira [7]. En la tabla 9 se pueden observar algunos de estos. Para infortunio muchos de estos también son víctimas del conflicto armado colombiano, como son los municipios ubicados en los departamentos del Caquetá, Meta Guaviare, Putumayo, Nariño, Cauca, Valle, Chocó, Guajira [7]. Por tal motivo resulta difícil incorporar Instalaciones eléctricas de conexión a red, redes de transmisión o suministro, ya que esto trae consigo una gran inversión y se puede ver afectado por agentes externos. Además, algunos departamentos del SIN sufren la presencia de agentes armados ilícitamente, a saber: Arauca,

Antioquia, Tolima, Norte de Santander, Cesar, Magdalena, Sucre, Bolívar [7].

ZONAS NO INTERCONECTADAS EN COLOMBIA - 2016	
32 Departamentos	Equivale al 32,0% del territorio Nacional
Priorización IPSE en 17 departamentos (criterio cobertura rural)	
90 Municipios	
20 Territorios Especiales Biodiversos y Fronterizos	
1.448 localidades ZNI	
39 Cabeceras Municipales	
5 Capitales departamentales	

Tabla 9. Información de las zonas sin interconexión eléctrica nacional a 2016.

Fuente: Autor, a partir de [7].

2.7 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en Colombia es poco, la mayoría de estudios académicos no han podido ser llevados a la práctica industrial masiva por el poco conocimiento de entidades de apoyo financiero, técnico existentes y por falta de políticas públicas o reglamentación [45]. El desarrollo actual no corresponde a las posibilidades de un desarrollo local que permita al país realizar tecnologías energéticas liberadas de las tradicionales dependencias de tecnologías foráneas [43]. Es de mencionar que pese a la existencia de información confiable y personal capacitado en el país para el diseño y la instalación de sistemas de energía solar el uso de ésta no es muy generalizado [66].

Morales afirma que, aunque en el país se tiene información confiable y se cuenta con personal capacitado para la implementación de sistemas fotovoltaicos, el uso y diseño de esta tecnología no ha tenido avances significativos [66].

Actualmente existen empresas como EMERGREECOL y AMÉRICA FOTOVOLTAICA, las cuales se dedican a desarrollar e implementar tecnologías y avances en el campo de la energía solar fotovoltaica. Estas brindan herramientas gratuitas, como: simuladores online, información de dimensionamiento, porcentaje del consumo eléctrico atendido por la instalación solar, paneles solares a utilizar, años de vida del sistema, inversión y tiempo de retorno de la misma, capacidad del sistema, entre otros [75], [76].

Colombia ha venido desarrollando y publicando información desde los años 1970 acerca de la radiación solar, por medio de estaciones meteorológicas del IDEAM, antiguamente llamado HIMAT. Se han evaluado regiones como la Costa Atlántica [46], la Sabana de Bogotá y demás zonas del país [77], por medio de Atlas de Radiación Solar [78], [79].

En el año 2009 los grupos universitarios de I&D en energía, en el país ascendían a 101, clasificados por Colciencias en 4 categorías, por su nivel de desempeño. De estos grupos, 4 tienen actividades en energías renovables y 3 en energía solar (grupo de celdas solares - grupo de energía solar, radiación solar y aplicaciones de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos - grupo de materiales semiconductores) estos pertenecen al departamento de física de la Universidad Nacional de Colombia y realizan investigaciones desde hace más de 20 años. Las investigaciones cubren temáticas como

radiación solar, aplicaciones térmicas de la energía solar, materiales semiconductores, celdas solares y sus aplicaciones [43].

El grupo de celdas solares ha realizado numerosas publicaciones científicas sobre celdas solares principalmente. El grupo de energía solar, radiación solar y aplicaciones de sistemas solares térmicos y fotovoltaicos ha hecho más aportes relacionados con servicios como ha sido el programa de telefonía rural de Telecom, en el pasado, y más recientemente aplicaciones de sistemas solares en las zonas remotas del país para otras instituciones nacionales. El trabajo del grupo de materiales semiconductores ha aportado a la ciencia dispositivos capaces de hacer funcionar salones de informática y elementos audiovisuales, por un costo ajustado a las restricciones económicas propias de Colombia [45].

Cabe destacar que a la fecha se encuentra Ciencia y Tecnología para Todos, esta es una herramienta de consulta o búsqueda de información (bases de datos) sobre actividades y resultados en ciencia y tecnología de investigadores y grupos de investigación netamente colombianos. Esta herramienta es realizada por COLCIENCIAS y la integra el servicio GrupLac, plataforma que brinda información de distintas áreas de conocimiento, al 2017 los grupos de Investigaciones en Energía y Minería ascienden a 180, desarrollando y publicando estudios en energías renovables y no renovables [80].

Sin embargo, para un desarrollo potencial en el país, se debe tener en cuenta la utilización y reglamentación de la energía FV como lo ha hecho España, pues para desarrollar la tecnología implementó marcos políticos, jurídicos y medioambientales integrales, como: planes de eficiencia energética (ahorro de energía), diseños ecológicos, etiquetado energético (electrodomésticos, luces, equipos), precios adecuados, reglamentación para cada aplicación o caso (edificios, casas, industrias, transporte, residencial), incentivos económicos, objetivos de ahorro energético (reducir el 20 % del consumo de energía eléctrica), incentivos para renovación de electrodomésticos y vehículos eléctricos de alto consumo, como también eliminación de las primas para nuevas instalaciones, por consiguiente Colombia debe adoptar muchas de estas estrategias en su modelo energético.

En consecuencia, para poder impulsar más esta tecnología, es necesario implementar estrategias como la "grid parity" la cual consiste en buscar un punto de equilibrio donde el coste de la energía de origen fotovoltaico es igual al coste de la energía eléctrica convencional, estas estrategias se han implementado en Alemania, Italia y España logrando un desarrollo en su economía y sistemas de energía eléctrica.

3. CONCLUSIONES

La principal barrera que se presenta en cuanto a desarrollo de sistemas fotovoltaicos es el poco conocimiento que tienen las personas acerca de los beneficios, cómo acceder a ellos y las aplicaciones de este recurso energético; a pesar de que en el país existen instituciones que brindan excelente información e incentivos, además se dispone de personal con formación en diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos, pero no todas las personas conocen acerca de ello.

Colombia no presenta un desarrollo potencial en esta tecnología por falta de políticas públicas destinadas a mejorar la eficiencia energética del país, pues a pesar de contar con la ley 691 de 2001 (eficiencia energética), no existe una agencia o mecanismo capaz de evaluar, coordinar y hacer cumplir las políticas planteadas y leyes aprobadas. Además, no se cuenta con una reglamentación para cada uno de los sectores, las entidades no tienen objetivos o planes específicos para dar solución oportuna a una problemática y tampoco se conoce de un precio adecuado para las personas naturales o jurídicas que deseen invertir en esta tecnología.

Colombia debe poner en práctica el compromiso adquirido en el acuerdo de París en 2015, el cual busca disminuir los efectos del cambio climático producidos por la contaminación ambiental. Desarrollar nuevos proyectos con políticas y estrategias encaminadas a suplir la demanda de energía eléctrica, preservando un ambiente sano. Como los son mecanismos de desarrollo, entre estos: considerar impuestos o topes de las emisiones de carbono, permisos para emitir carbono (cap and trade), tarifas garantizadas (feed in tariff), certificados de energía renovable para los generadores de energías limpias. Sin embargo, para esto es necesario realizar cambios en la industria de energía, consumo y tecnologías.

La ubicación geográfica de Colombia es favorable, en el sentido de que la mayor parte de la radiación recibida en todo el territorio es alta y se mantiene por varias horas en el día. Esto hace que Colombia disponga de un potencial positivo de energía solar. Para futuros proyectos es importante trabajar las Regiones Insular, Caribe, Andina y Orinoquia, pues estas cuentan con el mayor potencial en el país y pueden resultar técnica y económicamente más viables que las Regiones Amazónica y Pacífica.

Se dice que al implementar e invertir más en sistemas solares fotovoltaicos para generación de energía eléctrica se podría aumentar la capacidad instalada de energía eléctrica, capacidad neta de energía eléctrica, suplir la demanda energética con mayor eficiencia, y disminuir el déficit energético en el país. El cual se encuentra alrededor del 32,0% de colombianos que no tienen acceso o no disfrutan de este servicio básico; Pues al 31 de Octubre de 2017 la capacidad efectiva neta de energía eléctrica en el país alcanzaba un valor de 16.750,64 MW y la demanda de energía eléctrica al terminar el año se estima alrededor de 71.412 GWH.

Colombia apenas se inicia en la implementación de los sistemas fotovoltaicos. El nivel de aprovechamiento de Colombia es inferior frente a países como Alemania en los cuales la disponibilidad del recurso solar (radiación) es menor que la de este país; Pues la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia crece anualmente alrededor de 1 GW, lo cual no es notorio. En el año 2015 se alcanzaban valores de 12 GW, y al finalizar el 2017 se estima llegue a 15 GW.

Donde más se utiliza la energía solar fotovoltaica es en el sector rural y ZNI, en las ciudades son pocos los casos en los que se han implementado sistemas fotovoltaicos. Esto resulta bueno en medida que se puede prestar este servicio básico (energía eléctrica) en zonas alejadas o de difícil acceso, pero puede ser malo, ya que en las ciudades son pocos los usos de

esta tecnología y se estaría saturando las redes de transmisión; Las aplicaciones más comunes de estos sistemas son: el suministro de agua potable (sistema de bombeo), iluminación residencial, iluminación de establecimientos públicos (hospitales y planteles educativos) y los electrodomésticos.

Los beneficios de los sistemas solares fotovoltaicos pueden ser muchos ya que pueden contribuir a una vida saludable y da lugar a beneficios económicos a las personas, en razón que puede representar disminución en los pagos generados por conceptos como el certificado de gases, cargo por confiabilidad y generar numerosos empleos.

El país debe pensar en la generación distribuida, pues se reducirían las pérdidas en el transporte, se tendría un sistema eléctrico más confiable y fuerte dando pronta solución a un posible fallo de una fuente de generación.

Es importante destacar que la selección de las celdas o módulos fotovoltaico afectan directamente la generación y retorno de inversión del proyecto, Por consiguiente, se debe analizar la tecnología a utilizar en determinada posición geográfica y el costo de la misma según la exigencia de potencial a generar, pues puede resultar muy eficiente pero demasiada costosa o viceversa.

En definitiva, los incentivos y beneficios en el país se rigen por la Ley 1715 de 2014, promueven la implementación de estas tecnologías no convencionales. Sin embargo, se debería contar con más beneficios para las personas naturales o jurídicas que generen electricidad por medio de la energía solar FV, uno de estos sería que el precio por kWh generado por medio de este tipo de energía sea mayor que el de las demás fuentes de generación; Otro beneficio importante sería, recibir apoyos de financiación del estado del orden del 60 a 80 % en la inversión inicial como lo hacen algunos países (Alemania, Japón), Pues se está promoviendo una energía denominada limpia, la cual puede suplir deficiencias energéticas y ambientales.

Para finalizar, se debe implementar más Sistemas Solares Fotovoltaicos de generación eléctrica a pequeña, mediana y grande escala en los sectores económicos, se podría minimizar la saturación de las redes de transporte de energía, disminuir la dependencia de fuentes energéticas como la hidráulica y los combustibles fósiles, disminuir la contaminación ambiental y emisiones de gases de efecto invernadero causadas por el petróleo y carbón, como también generar mayor empleo. Todo esto encaminado a beneficiar más colombianos y lograr una industria energética ambiental, social, eficiente, eficaz y económicamente sostenible en determinado plazo.

REFERENCIAS

- [1] A. Martínez González, A. Orlandini, and S. Herrero López, "Crisis, Cambio Global y Energía," *Rev. Econ. Mund.*, vol. 29, no. 1576–162, pp. 263–284, 2011.
- [2] "XM - Compañía de Expertos en Mercados S.A. ESP - Demanda de Energía Nacional," 2015. [Online]. Available: <http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>. [Accessed: 15-Jan-2017].
- [3] N. E. Hernández Rueda and X. A. Ramírez Contreras, "Estudio Sobre la Sustitución por Energías Renovables (Solar Fotovoltaica) en las Instituciones Educativas de Básica Primaria y Secundaria en Colombia: Análisis y Posibilidades," Memoria del título, Economista, División Ciencias Económicas y Administrativas, Facultad de Economía, Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia, 2015.
- [4] F. Eraso Checa and O. Erazo de la Cruz, "Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia," *U mariana*, p. 52–59, (s.f).
- [5] M. Sevilla Jiménez, E. Golf Laville, and O. M. Driha, "Las energías renovables en España," *Estud. Econ. Apl.*, vol. 31, no. 1, 1697–5731 (online) – 1133–3197 (print), pp. 35–58, 2013.
- [6] REN21 Steering Committee, *Renewables 2016 global status report*. .
- [7] "Presentación Oficial IPSE," 2016. [Online]. Available: <http://www.ipse.gov.co/comunicaciones-ipse/presentacion-oficial>. [Accessed: 15-Oct-2016].
- [8] C. A. Toledo Arias and A. Urbina Yeregui, "Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia," p. 1–49, Septiembre, 2013.
- [9] R. E. Anglés Ortiz, A. A. González Deibe, G. A. Moscoso Mejía, C. A. Vega Aldana, and D. Encinas Oñate, "SER - Energia Renovable en Colombia," eoi - Escuela de Negocios, Plan de Negocios, Madrid, España, Junio, 2008.
- [10] D. Silva Zapata, N. Núñez Fuentes, and G. Valencia Ochoa, "2º Congreso de Energía Sostenible en Colombia: Retos y Beneficios de su Implementación - Aprovechamiento de las Fuentes No Convencionales de Energía en la Costa Norte Colombiana," pp. 92–98.
- [11] T. González Estrada and J. A. Valencia Marín, *MME y UPME - Integración Energías Renovables*. 2015.
- [12] H. Rodríguez and F. González, "Manual de Radiación Solar en Colombia," *Univ. Nac. Colomb.*, vol. 1, 1992.
- [13] MME, INEA, and HIMAT, "Atlas de Radiación Solar de Colombia." 1993.
- [14] UPME, IDEAM, and MME, "Atlas de radiación solar de Colombia," pp. 13–22, 2005.
- [15] IDEAM and UPME, "Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia - Presentación." [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Presentacion.pdf>. [Accessed: 25-Feb-2016].
- [16] N. Takeuchi, "II FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES: ENERGÍA SOLAR," in *Energía y medio ambiente: manual básico de innovaciones tecnológicas para su mejor aprovechamiento*, M. Á. Porrúa, Ed. México D.F., 2014, pp. 33–58.
- [17] J. Gimeno Sales, S. Orts Grau, and S. Seguí Chilet,

- “Módulos Fotovoltaicos - Curso ‘Energía Solar Fotovoltaica / Una Apuesta de Futuro Sostenible.” pp. 1–70, 2014.
- [18] R. A. Prado Alarcón, “Dimensionamiento de una Instalación Fotovoltaica de Generación Centralizada Conectada a Red para la Venta de Energía en la Provincia del Guayas y Análisis de Viabilidad Técnica y Económica,” Tesis de Especialización en Electrónica y Automatización Industrial, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [19] EKO INSTRUMENTS, “Conversión STC,” 2017. [Online]. Available: <https://eko-eu.com/es/faqs/radiacion-solar-y-fotometros/trazadores-i-v/que-significa-conversion-stc>. [Accessed: 06-Oct-2017].
- [20] Ingelibre, “Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica,” 2014. [Online]. Available: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>. [Accessed: 06-Oct-2017].
- [21] “Trinasolar.” [Online]. Available: <http://www.trinasolar.com/es/product>. [Accessed: 07-Oct-2017].
- [22] “Enerpoint.” [Online]. Available: http://www.enerpoint.es/photovoltaic_technology_2.php. [Accessed: 04-Aug-2017].
- [23] IDEAM, “Atlas de Radiación Global Horizontal Media Diaria,” 2014. [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Accessed: 17-Jan-2017].
- [24] “UPME - Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana,” 2005. [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf.
- [25] J. D. Mesa, A. Escobar Mejia, and R. A. Hincapié Isaza, “Descripción y Análisis del Efecto Fotovoltaico en la Región,” *Sci. Tech. Año XV*, vol. 42, no. 0122–1701, p. 327–332, Agosto, 2009.
- [26] IDEAM, “Distribución del Brillo Solar Medio Diario Anual (Horas de Sol al día),” 2014. [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. [Accessed: 17-Jan-2017].
- [27] IDEAM, “Promedios Mensuales de Irradiancia Global Media Recibida en Superficie para las Principales Ciudades del País.” [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Anexo-Promedios-mensuales-de-Irradiacion-Global-Media.pdf>. [Accessed: 17-Jan-2017].
- [28] SIEL, “Fondos de Apoyo Financiero para Los Sectores de Energía Eléctrica.” [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/siel/Inicio/Fondos/tabid/61/Default.aspx>. [Accessed: 20-Dec-2016].
- [29] E. F. Cantillo Guerrero and F. Conde Danies, “Diagnóstico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en la región Caribe colombiana,” *Prospectiva*, vol. 9, no. 2, p. 81–88, Diciembre, 2011.
- [30] “atersa - Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica,” 2015. [Online]. Available: <http://www.atersa.com/es/conocenos/aplicaciones-energia-solar-fotovoltaica/>. [Accessed: 08-Jul-2017].
- [31] A. K. Rodríguez Manrique, Á. I. Cadena Monroy, and A. J. Aristizábal Cardona, “Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca,” *Rev. Mutis*, vol. 5, no. 1, pp. 55–65, 2015.
- [32] J. F. Cardona Ospina, L. C. Rivera Achury, S. A. Martínez, and Ó. O. Ramírez, “Implementación de alternativas para la adecuada Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Aislados de la Provincia del Tequendama, y el Alto Magdalena en el municipio de Cundinamarca, Colombia,” *Rev. Tecnol. y Product. Girardot, Reg. Cundinamarca*, vol. 2, no. 2, pp. 73–82, 2016.
- [33] L. H. Berrio and C. Zuluaga, “Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial,” *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 32, no. 2, pp. 369–396, 2014.
- [34] A. Rogério Mossande, O. Brown Manrique, A. Mujica Cervantes, C. Mata Rodriguez, and I. Osorio León, “Riego por goteo con energía solar para el tomate en Cavaco, Benguela, Angola,” *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24, no. 2, pp. 11–17, 2015.
- [35] C. L. Gonzáles Pinzón, C. Ponce Corral, R. A. Valenzuela Nájera, and D. Atayde Campos, “Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico,” *CulcyT/Tecnología*, vol. 2, no. 50, pp. 11–26, 2013.
- [36] “CORPOEMA CONSORCIO ENERGÉTICO y UPME - Formulación de un Plan de Desarrollo para Las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia (PDFNCE),” vol. II. Diagnóstico de las FNCE en Colombia, p. 137–152, Bogotá, Diciembre, 2010.
- [37] PESENCA and INEA, “Evaluación de sistemas fotovoltaicos en Colombia.” 1995.
- [38] “Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia.” [Online]. Available: <http://www.mincit.gov.co/mincomercioexterior/>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [39] “INCOMEX.” [Online]. Available: <http://www.eco-finanzas.com/diccionario/I/INCOMEX.htm>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [40] “BACEX.” [Online]. Available: http://www.mincit.gov.co/publicaciones/10235/banco_de_datos_de_comercio_exterior_bacex_y_servicio_

de_procesamiento_de_informacion_de_importaciones_y_exportaciones. [Accessed: 18-Dec-2016].

- [41] E. Banguero, W. Murillo, and A. J. Aristizábal, “2º Congreso de Energía Sostenible en Colombia: Retos y Beneficios de su Implementación - Energía Solar en la Ciudad de Quibdó: Experiencia en Sistemas Fotovoltaicos Autónomos de la Universidad Tecnológica del Chocó.” pp. 105–112.
- [42] “SGI&C - FNCER - Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencional de Energía Renovable en Colombia.” [Online]. Available: http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=listado-de-proyectos&&field_ejecutor_value=&page=1. [Accessed: 20-Feb-2017].
- [43] H. R. Murcia, “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,” *Ing. Univ. los Andes*, no. 0121–4993, p. 83–89, Enero, 2009.
- [44] E. Godoy Ortiz, “DISEÑO DE SISTEMA DE REGADIO EN ZONA RURAL CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA,” Memoria del título, Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile, 2016.
- [45] J. Barbosa Urbano, F. H. Trujillo González, P. E. Velásquez Perilla, and J. U. Castellanos Contreras, “Estudio para el uso de la tecnología solar fotovoltaica,” *Ing. Solidaria*, vol. 6, no. 10, pp. 69–81, 2010.
- [46] H. Rodríguez, “Situación Energética de la Costa Atlántica,” vol. 12. Energía Solar, 2ª Edición corregida, Barranquilla: Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica, 1989.
- [47] R. E. Ladino Peralta and F. Vargas N, “La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia Caso: Vereda Carupana, Municipio de Tauramena, Departamento de Casanare,” Maestría en Desarrollo Rural, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
- [48] CNM and IPSE, “Contexto ZNI - Centro Nacional de Monitoreo,” 2015. [Online]. Available: <http://190.216.196.84/cnm/>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [49] L. Jarauta, *Las energías renovables [en línea]*, UOC. Barcelona, España, 2010.
- [50] A. J. Aristizábal, I. Dynner, and C. A. Páez, “2º Congreso de Energía Sostenible en Colombia: Retos y Beneficios de su Implementación - Generación Distribuida de Energía Eléctrica mediante Energía Solar Fotovoltaica en la Red de Baja Tensión de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.” pp. 127–133.
- [51] “TRANSMILENIO.” [Online]. Available: <http://www.transmilenio.gov.co/>. [Accessed: 10-Sep-2016].
- [52] Ba. Cinnamon and T. Beach, “The Economics of Solar Energy for California a White Paper,” *Akeena Solar, Crossborder Energy, & Coast Hills Partners*. California, p. 60–62, Noviembre, 2004.
- [53] C. F. Morales Sánchez, “Cálculo de una Tarifa de Alimentación para Instalaciones Fotovoltaicas Residenciales en Colombia *,” *Semest. Económico*, vol. 16, no. 34, 0120–6346, p. 13–40, Octubre, 2013.
- [54] C. Makridis, “A Multi-Criterion Model for Evaluating the Efficiency of Solar Energy Incentives,” *Michigan J. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 91–119, 2011.
- [55] “Greenpeace and EPIA - Solar Generation 6, Solar photovoltaic Electricity Empowering the World.” Bruselas, pp. 1–100, 2011.
- [56] UPME, “LEY N° 1715 - 12 MAY 2014.” [Online]. Available: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf. [Accessed: 10-Jan-2017].
- [57] “La guía Solar.” [Online]. Available: <http://www.laguiaSolar.com/energia-solar-en-colombia/>. [Accessed: 08-Nov-2016].
- [58] “UPME ‘Plan de Expansión de Referencia: Generación – Transmisión 2015 - 2029.’” .
- [59] SIEL, “Normatividad.” [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/siel/Inicio/Normatividad/tabid/65/Default.aspx>. [Accessed: 03-Mar-2017].
- [60] R. Bonell Colmenero, “El protocolo de Kioto y la tributación ambiental,” *Anu. Jurídico y Económico Escurialense*, XL, no. 1576–162, pp. 71–100, 2007.
- [61] N. Monroy and A. Aguirre, “EL PROTOCOLO DE KYOTO: UNA OPORTUNIDAD PARA LA INDUSTRIA COLMBIANA?”
- [62] G. Mejia, “Estudio comparativo entre la legislación de eficiencia energética de Colombia y España,” *Rev. Esc. Adm. Negocios*, no. 77, julio–diciembre, pp. 122–134, 2014.
- [63] “Congreso de Colombia - LEY 143 de 1994.” [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/Portals/0/Ley143.pdf>. [Accessed: 10-Jan-2017].
- [64] UPME, “PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050,” p. 184, 2015.
- [65] J. A. Hernandez, D. Velasco, and C. L. Trujillo, “Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia,” *Renew. Sustain. Energy Rev. - Elsevier*, vol. 15, no. 5, 2290–2298, pp. 2290–2298, 2011.
- [66] P. Morales Ledesma, “El Sector Energético Colombiano y Las Energías Renovables,” *Rev. Acad. e Institucional la UCPR*, p. 133–150, Septiembre, 2007.

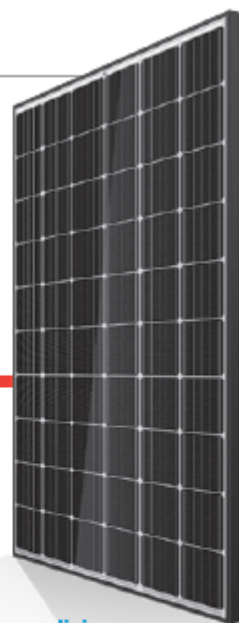
- [67] L. Chusin Cayo and B. Escobar Guanoluisa, "ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON PENETRACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA," Memoria del título, Ingeniero Eléctrico, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2015.
- [68] Á. Bazurto Cubillos, J. Zúñiga Balanta, D. Echeverry, and C. Lozano, "Perspectiva del transformador de distribución en redes eléctricas con alta penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos.," *Cienc. e Ing. Neogranadina*, no. 26 (2), pp. 35–48, 2016.
- [69] "Gramas - Generación de energía centralizada vs generación energía distribuida," 2012. [Online]. Available: <https://gramaconsultores.wordpress.com/2012/01/16/generacion-de-energia-centralizada-vs-generacion-energia-distribuida/>. [Accessed: 01-Oct-2017].
- [70] "endesa - Generación distribuida," 2014. [Online]. Available: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/generacion-distribuida. [Accessed: 01-Oct-2017].
- [71] "acolgen - Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica - Capacidad Instalada," 2013. [Online]. Available: <http://www.acolgen.org.co/index.php/2013-01-31-06-37-23/capacidad-instalada>. [Accessed: 16-Jan-2016].
- [72] XM, "Capacidad Efectiva Neta," 2015. [Online]. Available: <http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>. [Accessed: 16-Jan-2016].
- [73] XM and PARATEC, "Capacidad Efectiva Neta por Tipo de Generación." [Online]. Available: <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>. [Accessed: 16-Jan-2016].
- [74] CREG, "Zonas No Interconectadas." [Online]. Available: <http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/zni-energia>. [Accessed: 17-Nov-2016].
- [75] "América fotovoltaica." [Online]. Available: <http://www.americafotovoltaica.com/simulador-online/>. [Accessed: 01-Oct-2016].
- [76] "Energreencol." [Online]. Available: http://www.energreencol.com/energia_solar/. [Accessed: 10-Oct-2016].
- [77] F. González, "Mapa de Radiación Solar de la Sabana de Bogotá," Tesis de Magister en Física, Facultad de Física, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 1984.
- [78] "TECSOLAR Ltda. para Instituto de Asuntos Nucleares (IAN) - Mapa de Radiación Solar de Colombia." Bogotá, 1985.
- [79] F. González and H. Rodríguez, "Manual de Radiación Solar en Colombia," *Univ. Nac. Colomb.*, vol. II, 1994.
- [80] "Ciencia y Tecnología para Todos," 2017. [Online]. Available: http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/busquedaConteoGrupoXProgramaNacional.do?by=union&codPrograma=11&codRh=&codAreaConocimiento=&maxRows=15&grupos_tr=true&grupos_p=12&grupos_mr=15. [Accessed: 10-Aug-2017].

ANEXO 1

Mono Multi Soluciones

Honey^M PLUS⁺ MÓDULO

TSM-DD05A.08 (II)



60 CÉLULAS

MÓDULO MONOCRISTALINO

280-315W

RANGO DE POTENCIA

19,2%

MÁXIMA EFICIENCIA

0/+5W

TOLERANCIA POSITIVA
DE POTENCIA

Pays Fundada en 1997, Trina Solar es un proveedor líder de soluciones fotovoltaicas. Creemos que la cooperación con nuestros socios es crítica para alcanzar el éxito. Trina Solar distribuye hoy sus productos a más de 60 países del mundo. Trina Solar es capaz de suministrar un servicio excepcional a cada cliente en cada mercado, y la innovación y fiabilidad de sus productos viene respaldada por ser Trina Solar una compañía sólida y estable. Estamos comprometidos en construir colaboraciones estratégicas y mutuamente beneficiosas con instaladores, distribuidores y desarrolladores de proyectos de todo el mundo.

Productos detallados y certificados de sistema

IEC61215/IEC61730/VLL703/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Sistema de gestión de calidad
ISO 14001: Sistema de gestión medioambiental
ISO 14064: Verificación de gases efecto invernadero
OHSAS 18001: Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional



Trina solar



Excelente rendimiento en condiciones de poca luz en días nublados, mañanas y atardeceres

- Pasivación posterior de la célula
- Texturización avanzada de la superficie
- Emisor selectivo



Aprovecha el espacio con la máxima eficiencia

- Hasta 192 W/m² de densidad de potencia
- Coeficientes térmicos bajos para mayor producción energética a temperaturas de funcionamiento altas



Buena estética para aplicaciones residenciales

- Células monocristalinas oscuras
- Marco negro



Altamente fiable gracias a su riguroso control de calidad

- Más de 30 tests en fábrica (UV, TC, HF, y muchos más)
- Los tests en fábrica van más allá de los requisitos de certificación
- Todos los módulos han de pasar una inspección de electroluminiscencia
- Resistente a la degradación inducida por potenciales eléctricos
- Certificado UL 1000 V / IEC 1000 V

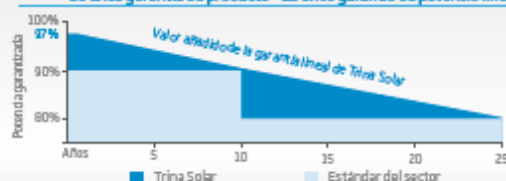


Certificados para condiciones medioambientales extremas

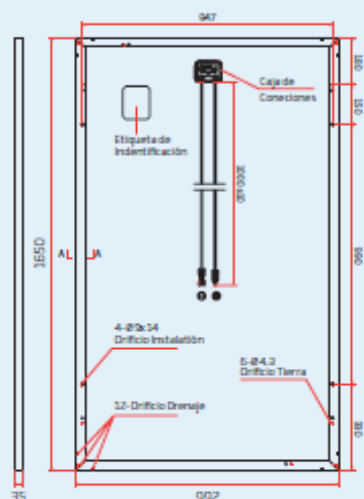
- Cargas de viento de 2400 Pa
- Cargas de nieve de 5400 Pa
- Piedras de granizo de 35 mm a 97 Km/h
- Resistencia al amonteco
- Resistencia a la niebla salina
- Resistencia a la abrasión por arena y polvo

GARANTÍA DE POTENCIA LINEAL

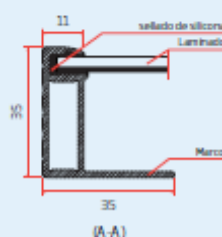
10 años garantía de producto - 25 años garantía de potencia lineal



DIMENSIONES DEL MÓDULO FV TSM-DD05A.08 (II) (Unidad: mm)

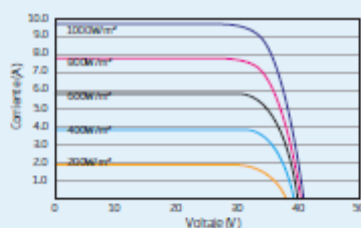


Vista trasera

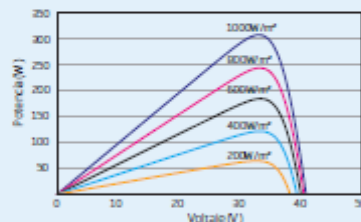


(A-A)

CURVAS I-V DEL MÓDULO FV (305W)



CURVAS P-V DEL MÓDULO FV (305W)



DATOS ELÉCTRICOS EN CONDICIONES STC	TSM-280	TSM-285	TSM-290	TSM-295	TSM-300	TSM-305	TSM-310	TSM-315
Potencia nominal-P _{max} (Wp)*	280	285	290	295	300	305	310	315
Tolerancia de potencia nominal (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Tensión en el punto P _{max} -V _{mp} (V)	31,7	31,8	32,2	32,5	32,6	32,9	33,2	33,3
Corriente en el punto P _{max} -I _{mp} (A)	8,84	8,97	9,01	9,08	9,19	9,28	9,37	9,46
Tensión en circuito abierto-V _{oc} (V)	38,4	38,5	38,9	39,6	39,8	40,0	40,2	40,5
Corriente de cortocircuito-I _{sc} (A)	9,42	9,51	9,66	9,68	9,77	9,85	9,94	10,0
Eficiencia del módulo η _m (%)	17,1	17,4	17,7	18,0	18,3	18,6	18,9	19,2

STC: Irradiancia 1000W/m², temperatura de célula 25°C, masa de aire AM1.5

*Tolerancia en la medida: ±3%

DATOS ELÉCTRICOS EN CONDICIONES TONC	TSM-280	TSM-285	TSM-290	TSM-295	TSM-300	TSM-305	TSM-310	TSM-315
Potencia máx.-P _{max} (Wp)	209	212	216	220	223	227	231	235
Tensión en el punto P _{max} -V _{mp} (V)	29,4	29,5	29,9	30,1	30,2	30,5	30,8	30,9
Corriente en el punto P _{max} -I _{mp} (A)	7,10	7,21	7,24	7,30	7,38	7,46	7,53	7,60
Tensión en circuito abierto-V _{oc} (V)	35,7	35,8	36,2	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
Corriente de cortocircuito-I _{sc} (A)	7,61	7,68	7,80	7,82	7,89	7,95	8,03	8,10

TONC: Irradiancia 800 W/m², Temperatura ambiente 20 °C, Velocidad de viento 1 m/s.

DATOS MECÁNICOS

Células solares	Monocristalinas 156,75 × 156,75 mm
Distribución de las células	60 células (6 x 10)
Dimensiones del módulo	1650 x 992 x 35 mm
Peso	18,6 kg
Vidrio	3,2 mm, alta transparencia, recubrimiento AR y vidrio solar templado
Capa trasera	Blanca
Marco	Aluminio anodizado color negro
Caja de conexiones	IP67 o IP68
Cables	Resistente a los rayos UV, sección de cables 4 mm², 1000 mm
Conector	Países de la UE: 2B MC4 / UTX / TS4, Países no miembros de la UE: 2B QC4 / TS4

LÍMITES DE TEMPERATURA

Temperatura de Operación Nominal de la Célula (TONC)	44°C (±2K)
Coefficiente de temperatura de P _{max}	-0,39%/K
Coefficiente de temperatura de V _{oc}	-0,29%/K
Coefficiente de temperatura de I _{sc}	0,05%/K

GARANTÍA

10 años de garantía de fabricación
25 años de garantía de potencia lineal
(Consulte la garantía de producto para más información)

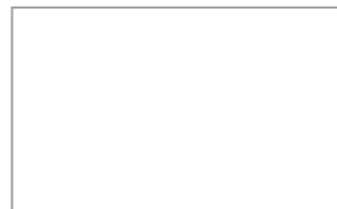
CONFIGURACIÓN DE EMBALAJE

Módulos por caja:	30 uds.
Módulos por contenedor de 40':	840 uds.

LÍMITES OPERATIVOS

Temperatura de operación	-40 a +85°C
Tensión máxima del sistema	1000V DC (IEC) 1000V DC (UL)
Capacidad máxima del fusible*	15A (Potencia: 285W) 20A (Potencia ≥ 290W)
Carga de nieve	5400 Pa
Carga de viento	2400 Pa

*NO conectar fusibles en la caja de conexiones con dos o más strings en conexión paralela



TSM-ES-2017-B