

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES CRÍTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

Identification of the critical factors for the implementation of photovoltaic solar systems in Colombia

Línea de investigación: Energías alternativas.

Jhordan Camilo Estévez Acuña. Ingeniero Ambiental, Universidad Libre, jhordan1394@hotmail.com

Jerson Fernando Ortiz Villarreal. Ingeniero Ambiental, Universidad Libre, jefeorvi94@live.com

Fecha de recepción: enero de 2018. Fecha de aceptación: abril de 2018

ISSN: 2590-6704

RESUMEN

En este documento se hace una recopilación de estudios realizados en Colombia en cuanto a los factores críticos para implementar sistemas solares fotovoltaicos, determinando una relación de variables a partir de lo fundamentado por cerca de 25 autores estudiados. Colombia debido a su ubicación geográfica cuenta con una gran oferta de radiación, lo que permite que sea viable en varios puntos del territorio colombiano implementar estos sistemas fotovoltaicos. A partir de este estudio se permite al público en general obtener una orientación de los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta al momento de implementar este sistema ya que se obtuvieron los factores críticos con los que funcionan estos sistemas.

Palabras Clave

Factores críticos, sistema, fotovoltaico, electricidad, energía, alternativa

ABSTRACT

In this document, we compiled a series of studies carried out in Colombia related to the factors to implement photovoltaic solar systems, determining a relation of variables from 25 authors. Colombia receives a large amount of radiation due to its geographic location, which makes it possible to implement these systems at various points of the territory. From this study, it was possible to determine the potential beneficiary population and a set of different aspects that should be considered when implementing these systems.

Keywords

Critical Factors, System, Photovoltaic, Electricity, Energy, Alternative

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad enfrenta hoy en día uno de sus problemas ambientales de mayor magnitud, las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque natural y vital para la vida en el planeta, ha sido alterado y según Caballero, Lozano, & Ortega, 2007. existe una componente humana significativa que influye, dado que la tala de bosques y la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo han ocasionado un aumento en la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, incrementando el efecto invernadero y contribuyendo al Calentamiento Global. Así mismo la tasa de crecimiento poblacional ha aumentado en las últimas décadas ocasionando una sobrepoblación mundial generando una descompensación en el ciclo natural de regeneración de los recursos naturales renovables como el suelo, el agua y la calidad del aire.

De igual forma, según Valencia, Moreno, & Rodríguez, 2015. Es de conocimiento común, que la combustión de fuentes fósiles para generación de energía térmica y eléctrica produce gases de efecto invernadero (GEI), estos a su vez contribuyen al deterioro ambiental y al cambio climático.

Según Valencia et al., 2015, El desarrollo industrial es clave para fortalecer la economía pero también fundamental para mitigar el impacto ambiental, mientras los sectores industriales y el transporte sigan consumiendo hidrocarburos la descarbonización global será inalcanzable, en este sentido se deben promover procesos eficientes y tecnologías basadas en fuentes limpias para asegurar la energía ilimitada logrando independencia energética y mantener el incremento de la temperatura en 2°C.

El programa de la ONU para el desarrollo estableció los objetivos de desarrollo sostenible los cuales establecen lineamientos para la conservación de recursos y la producción de energía asequible y no contaminante, es así que gracias a dichos lineamientos por promover la energía limpia, han promovido la generación de un 20% de la energía mundial con fuentes renovables. («Objetivo 7», s.f.).

Es así, que en la conferencia realizada por las Naciones Unidas sobre el cambio climático en 2015 se ratifica un compromiso mundial de las naciones unidas, cuyo objetivo era el de ultimar un acuerdo mundial para reducir estas emisiones de gases de efecto invernadero generadas por cada uno de los países, quedando como resultado la creación del Acuerdo de París.

Según (Bayod Rújula, 2009). La transformación directa de la energía solar en electricidad mediante la conversión fotovoltaica presenta como ventajas claras su sencillez, fiabilidad y operatividad. La vida útil de las instalaciones fotovoltaicas es elevada. No hay partes móviles y el mantenimiento que se requiere para conservar la instalación en perfectas condiciones es reducido. En particular, la vida esperada de los módulos es de más de 40 años, igual que la de los elementos auxiliares que componen la instalación, cableado, canalizaciones, cajas e conexión, etc. La de la electrónica, puede cifrarse en más de treinta años. A estos sistemas se les puede resaltar sus buenas propiedades respecto a las consideraciones medioambientales en el punto de utilización ya que no hay combustión, no produce ruidos ni emisiones nocivas o gases polucionantes. Todo ello hace que los campos de aplicación de estos sistemas fotovoltaicos sean utilizados en productos de consumo, relojes, calculadoras, hasta las grandes instalaciones de generación eléctrica, pasada por la electrificación de viviendas aisladas o pequeñas comunidades. Por medio de los sistemas fotovoltaicos es más viable en términos económicos, operatividad y fiabilidad en su instalación en lugares alejados de la red eléctrica. El primordial inconveniente es su elevado coste, que hace que, de momento la participación actual de la energía fotovoltaica en el balance energético sea aun reducida. Su coste hoy en día es elevado al de alternativas convencionales, pero experimenta una rápida reducción y recuperación de la inversión realizada. Las energías alternativas renovables, fundamentalmente la energía fotovoltaica, permite la contribución a la mitigación de la generación de gases de efecto invernadero; aunque es cierto que el costo de inversión

es relativamente alto por falta de tecnología en el país, pero así mismo la recuperación de la inversión se ve reflejada rápidamente, por ello esta tecnología es una de las bases fundamentales para la conservación del medio ambiente.

2. MARCO REFERENCIAL

Bajo la denominación de energías renovables, alternativas o blandas, se engloban una serie de fuentes energéticas que a veces no son nuevas, como la leña o las centrales hidroeléctricas, ni renovables en sentido estricto (geotermia), y que no siempre se utilizan de forma blanda o descentralizada, y su impacto ambiental puede llegar a ser importante, como los embalses para uso hidroeléctrico o los monocultivos de biocombustibles. Actualmente suministran un 20% del consumo mundial (las estadísticas no suelen reflejar su peso real), siendo su potencial enorme, aunque dificultades de todo orden han retrasado su desarrollo. Con la excepción de la geotermia, la totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras. Las energías renovables, a lo largo de la historia y hasta bien entrado el siglo XIX, han cubierto la práctica totalidad de las necesidades energéticas del hombre. Sólo en los últimos cien años han sido superadas, primero por el empleo del carbón, y a partir de 1950 por el petróleo y en menor medida por el gas natural. La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual. El sol es la única fuente de materia orgánica y de energía vital de la Tierra, y aunque a veces nos pasa desapercibido, ya hoy estamos utilizando masivamente la energía solar, en forma de alimentos, leña o energía hidroeléctrica. Los mismos combustibles fósiles, cuya quema está en el origen del deterioro ambiental, no son otra cosa que energía solar almacenada a lo largo de millones de años. La fotosíntesis es hoy el empleo más importante de la energía solar, y la única fuente de materia

orgánica, es decir, de alimentos y biomasa (Santamarta, 2010, p. 15).

Por ende, el ser humano desde la antigüedad ha dependido y ha aprovechado la energía solar para realización de sus actividades diarias, como la producción, cocción de los alimentos; sin embargo, el desarrollo que ha tenido el hombre no ha sido el mejor pues de utilizar una energía renovable como lo es la solar, realizó la explotación de los recursos fósiles. Colombia es un país que depende económicamente de la explotación de sus recursos fósiles como carbón y petróleo sin embargo las aplicaciones térmicas en Colombia datan de mediados del siglo pasado, cuando en Santa Marta fueron instalados calentadores solares en las casas de los empleados de las bananeras, calentadores que aún existen, aunque no operan. Más tarde, hacia los años sesenta, en la Universidad Industrial de Santander se instalaron calentadores solares domésticos de origen israelí para estudiar su comportamiento. Posteriormente, hacia finales de los setenta y estimulados por la crisis del petróleo de 1973, diversas universidades (la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional en Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras) y fundaciones (como el Centro Las Gaviotas) sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de calentamiento de agua para uso en centros de servicios comunitarios (como hospitales y cafeterías). Algunos desarrollos resultaron bastante innovadores. Sin embargo, se adoptó finalmente el sistema convencional que consta de uno o varios colectores solares y de su respectivo tanque de almacenamiento. El colector empleaba una parrilla de tubería de cobre y, como absorbedor, láminas de cobre o de aluminio. Como película absorbente se empleaba pintura corriente o con aditivos, y otros absorbentes selectivos. La cubierta exterior era vidrio corriente o templado y el aislamiento fibra de vidrio, icopor o poliuretano. El tanque generalmente era metálico en sistemas presurizados o de asbesto cemento en sistemas abiertos. Estos desarrollos tuvieron su máxima expresión a mediados de los ochenta en la aplicación masiva de calentadores en urbanizaciones en Medellín (Villa Valle de Aburrá) y Bogotá (Ciudad Tunal, Ciudad Salitre) en donde fueron instalados miles de calentadores, desarrollados y fabricados por el Centro

Las Gaviotas; el Palacio de Nariño, en Bogotá, también tuvo uno de estos grandes calentadores. A mediados de los ochenta surgieron varias compañías nacionales en Bogotá, Manizales y Medellín que fabricaron e instalaron miles de calentadores solares de diversas capacidades en esas ciudades. Muchas instituciones religiosas montaron calentadores solares en sus conventos y también alguna cadena hotelera (Hoteles Dann). –(Rodríguez Murcia, 2008, p. 84).

La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Estas actividades surgieron con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales y ya en 1983 habían instalados 2 950 de tales sistemas. El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones. Estos sistemas son hoy esenciales para las telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48 499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp. De estos 21 238 módulos con una potencia de 843.6 kW en proyectos de telecomunicaciones y 20 829 módulos con 953.5 kWp en electrificación rural. El estudio anterior también indicó, sobre una muestra de 248 sistemas (con 419 módulos), que 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Como principal fuente de problemas se encontraron la falta de mínimo mantenimiento, suministro de partes de reemplazo (reguladores y lámparas) y sistemas sub-dimensionados. Estos problemas, que se suelen repetir aún hoy en día,

indican la importancia que tiene el asegurar la sostenibilidad del suministro del servicio de energía para estos usuarios. Estas dificultades se han mostrado como una de las debilidades más graves del servicio de energía con estos sistemas. Y más que tratarse de un problema meramente técnico, el problema es de calidad del servicio y de atención al usuario. En los últimos diez años tampoco se han realizado estudios sobre el comportamiento de estos sistemas. En los programas de electrificación rural, el sistema convencional para hogares aislados ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Estos pequeños sistemas suministran energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos. El costo actual de este sistema es del orden de US\$ 1 200 a 1 500, afectado principalmente por los elevados costos de instalación en las zonas remotas. Durante los últimos años, se han instalado muchos más sistemas en los programas de electrificación rural, con fuerte financiación del Estado, haciendo uso actualmente de recursos como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas). El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. Según esta institución hay en la actualidad más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones. Pero, además, el IPSE tiene en desarrollo soluciones innovadoras como sistemas híbridos, en donde se combinan por ejemplo la energía solar fotovoltaica y las plantas diésel, para reducir los costos de generación del diésel y emplear el generador diésel como respaldo. –(Rodríguez Murcia, 2008, p. 86).

Tabla 1 Potencial de la energía solar en Colombia, Por regiones

Región del país	Radiación solar (kWh/m ² /año)
Guajira	2000 – 2100
Costa Atlántica	1730 – 2000
Orinoquia – Amazonia	1550 – 1900
Región Andina	1550 – 1750
Costa Pacifico	1450 – 1550

Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia

3. METODOLOGÍA

Por medio de diferentes bases de datos se realizó una búsqueda acerca de los factores críticos para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en Colombia, obteniéndose información suministrada de artículos científicos, tesis y libros, con fechas de publicación posteriores al año 2007, con el fin de que la información a trabajar fuera reciente.

Posteriormente se realizó un almacenamiento de estos documentos por medio de Zotero y se procedió a revisar cada documento con respecto a variables planteadas, pues se esperaba que los diferentes autores hablaran acerca de ellas, como: Radiación solar, brillo solar, eficiencia, voltaje, temperatura, vida útil y potencia, obteniéndose 25 documentos con información adecuada.

En total se tomaron 7 variables escalares, las cuales fueron analizadas en Microsoft Excel con su extensión de Megastat y de esta forma se pudo realizar análisis estadístico descriptivo tal como sumas, máximos, mínimos, promedios, desviaciones, BoxPlot y DotPlot expresados en gráficas y tablas realizadas por este programa.

4. RESULTADOS

A continuación, se indican los resultados obtenidos al realizar el análisis de la información obtenida de los diferentes autores estudiados.

Definición de variables críticas para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos

Las variables críticas son aquellas que son de vital importancia al momento de identificar el tipo de sistema solar fotovoltaico que se desea instalar, la eficiencia que tendrá, así mismo permite identificar factores geográficos o topográficos que pueden afectar el sistema.

Tabla 2 Variables críticas para instalación de sistemas solares fotovoltaicos

Variable	Unidades
Radiación Solar	kWh/m ² /día
Brillo Solar	Horas/día
Eficiencia	%
Voltaje	V
Temperatura	°C
Vida Útil	Años
Potencia	W/hora

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

En la tabla 2 se pueden evidenciar 7 variables que los autores estudiados identifican como primordiales al momento de establecer cualquier tipo de sistema solar fotovoltaico

Radiación solar

Es el flujo de energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas, siendo estas ondas de diferentes tamaños, el sol emite estas radiaciones electromagnéticas a una temperatura de 325 °C aproximadamente. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. Solo parte de la radiación que emite el Sol llega a la Tierra, debido a la existencia de las capas atmosféricas especialmente la capa de ozono, el mismo que bloquea las ondas más cortas llamadas ultravioletas, la radiación solar que llega a la Tierra tiene su magnitud de medida llamada "irradiancia".(Bejarano & Ángel, 2011, p. 21).

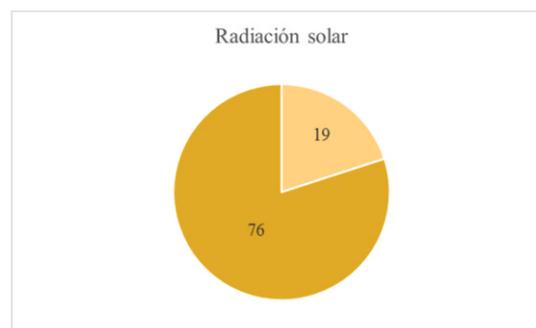


Figura 1. Porcentaje de autores que tienen en cuenta la variable radiación solar

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Se analizó un total de 25 documentos donde se estableció que el valor medio de radiación solar es de 4,95 kWh/m²/día, un valor mínimo y máximo de 3,8 y 6,08 kWh/m²/día respectivamente, según el («Atlas de Radiación Solar de Colombia», s.f.) las radiaciones mínimas que recibe el país son de 2,5 kWh/m²/día y la mayor radiación de 7,0 kWh/m²/día, es así que basado en dicha información recolectada con el paso de los años se establecen zonas aptas para la instalación de estos sistemas solares fotovoltaicos así como los puntos no aptos tales como la costa pacífica, el cual es uno de los lugares con menor radiación solar pues es una de las zonas más húmedas del país adicionalmente parte del norte de Santander presenta zonas con poca presencia de radiación solar.

Brillo Solar

El brillo solar hace referencia al número de horas en las que se puede aprovechar la radiación solar en un día. Colombia al ser un país ubicado en la zona de confluencia intertropical y contar con regiones en neotrópico lo que hace que durante los meses de enero a diciembre presente variaciones entre 2 a 10 horas de brillo solar dependiendo la variabilidad climática de épocas de invierno y verano; según el atlas de radiación solar de Colombia elaborado por la Unidad de planeación minero energética UPME y el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM.

Figura 2. Horas de brillo solar óptimas para elaboración de sistemas solares fotovoltaicos



Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel

Los autores plantean para un buen funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos un brillo solar medio de 5,4 horas/día, así como un valor máximo para generar la mayor potencia de 7 horas/día y un valor mínimo para funcionamiento de 3,5 horas/día de brillo solar. Por lo cual establece zonas con mayor índice de horas de brillo solar para el buen funcionamiento del mismo, tales como: Orinoquia – Región andina – Guajira, así mismo Cauca presenta el menor promedio de horas de sol con 1,7 horas/días.

Eficiencia

Como definición la eficiencia es la capacidad de lograr o cumplir adecuadamente una tarea o función para la cual un producto está diseñado. Las celdas o paneles fotovoltaicos son equipos que presentan eficiencias relativamente bajas entre el 10 y 20 %. Para los autores estudiados una celda fotovoltaica óptima es aquella que presenta una eficiencia del 16% sin embargo puede manejarse un rango de mínimo y máximo de 14,8 a 17,6% de eficiencia.

Voltaje

Es el potencial eléctrico que puede ser aprovechado en los sistemas comunes de las viviendas, electrodomésticos entre otros. Para el buen funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos se debe establecer el voltaje requerido en los sistemas más comunes; basado en los autores estudiados el valor mínimo y máximo del voltaje es 12 y 48 V respectivamente; de igual forma el valor medio estimado para la instalación de un sistema es de 28.3 voltios.

Temperatura

Permite determinar el grado o nivel térmico de un cuerpo de la atmosfera; los paneles solares fotovoltaicos tienden a funcionar en regiones donde no existan climas o temperaturas extremas, pues al presentar cambios drásticos pueden alterar o inclusive dañar el funcionamiento de los equipos, para los autores un sistema solar fotovoltaico óptimo es aquel que trabaja en condiciones mínimas y máxima

s de 15 a 32°C con una condición optima en los 24°C.

Según –Pabón-Caicedo, Eslava-Ramírez, & Gómez-Torres, 2007, en el informe de generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y la precipitación en Colombia la temperatura bajo un modelo de regresión entre la temperatura anual y la altitud se comporta de la siguiente forma:

Tabla 3 Temperatura media anual en Colombia, por regiones

Región	Temperatura °C
1. Caribe	28.1
2. Andina	29.3
2.1 Catatumbo	28.4
2.2 Magdalena	29.6
2.3 Cauca	29.4
3. Orinoquia	27.4
4. Amazonia	26.5
5. Pacifico	26.2

Fuente: Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y la precipitación en Colombia

Vida Útil

La vida útil es el tiempo estimado de duración del panel solar y los equipos que requiere el sistema, para los autores un buen sistema es aquel del cual se obtiene una duración de 25 años, un mínimo de 10 años y un valor óptimo de 20 años para el sistema.

Potencia

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo, los requerimientos de los sistemas son independientes basados en los equipos que el sistema va a alimentar, los autores plantean rangos de acción de potencia mínimo y máximo desde 60 a 300 Wh un valor óptimo de 157,63.

5. CONCLUSIONES

Colombia es un país que presenta ventajas geográficas excepcionales, al estar situado en la zona de confluencia intertropical cuenta con condiciones únicas, cuenta con una bimodalidad para época de lluvias y época seca, así mismo recibe la incidencia del sol forma perpendicular maximizando la radiación solar útil para los sistemas solares fotovoltaicos las radiaciones mínimas que recibe el país son de 2,5 kWh/m²/día y la mayor radiación de 7,0 kWh/m²/día, es por ende la aplicabilidad de los sistemas bajo el criterio de estaba variable son favorables.

El brillo solar requerido para el buen funcionamiento de los sistemas es de mínimo de 3,5 horas de luz al día, el país cuenta con zonas óptimas para la realización del proceso de conversión de energía como Orinoquia – Región andina – Guajira.

Los requerimientos de las personas son subjetivos y únicos, por ello los sistemas solares fotovoltaicos pueden cumplir y adaptarse a dichas necesidades otorgando fuentes de energía eléctrica continua, directa e incluso con almacenamiento en zonas geográficas que permitan la captación de mayor radiación solar.

Un sistema solar fotovoltaico puede funcionar y generar valores mínimos como: Voltaje 12, 60Wh, a temperatura de 15°C lo cual permite la implementación de sistemas a baja, media, y gran escala.

BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda, R., Andrés, J., Fagua, P., & Hernando, J. (2012). Planta de generación fotovoltaica. Recuperado a partir de <http://repository.uniminuto.edu:8080/xmlui/handle/10656/2588>
- Arias, T., & Alberto, C. (2013). Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia. Recuperado a partir de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/3780>
- Aristizábal, A., Botero, M., & Gordillo, G. (2010). Evaluación del desempeño energético de un sistema BIPVS de 3, 4kW y Dimensionamiento de un sistema BIPVS para un usuario doméstico típico en Bogotá, Colombia. En *Segunda Conferencia Iberoamericana de Ingeniería e Innovación Tecnológica, Orlando, U S A*. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/profile/Andres_Aristizabal8/publication/275024606_Evaluacion_del_Desempeno_Energetico_de_un_Sistema_BIPVSde_34_kW_y_Dimensionamiento_de_un_sistema_BIPVS_para_un_Usuario_domestico_Tipico_en_Bogota_Colombia/links/57e3171808aedde5f365a00d/Evaluacion-del-Desempeno-Energetico-de-un-Sistema-BIPVSde-34-kW-y-Dimensionamiento-de-un-sistema-BIPVS-para-un-Usuario-domestico-Tipico-en-Bogota-Colombia.pdf
- Aristizábal, A., Dyner, I., & Arturo Paez Chica, C. (2014). *Generación Distribuida de Energía Eléctrica Mediante Energía Solar Fotovoltaica en la Red de Baja Tensión de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*.
- Arreola Gómez, R., Quevedo Nolasco, A., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, Á., & Reyes Muñoz, D. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1715–1727.
- Atlas de Radiación Solar de Colombia. (s/f). Recuperado el 13 de diciembre de 2017, a partir de http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf
- Bejarano, B., & Ángel, N. (2011). Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Solar para la Iluminación Externa del Modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo. Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1884c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9.pdf>. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9>
- Cagua Castillo, D. M., & Ojeda Guerrero, L. (2013). Análisis de pre inversión de un sistema de energía solar para reducir consumo eléctrico en la compañía colombiana automotriz.
- Calvo Bohórquez, F. (2009). Análisis de viabilidad para la implementación de sistemas de generación eléctrica usando energía solar para uso residencial.
- Cantillo Guerrero, E., & Daza Escorcía, J. (2012). El sector solar fotovoltaico en el caribe colombiano: análisis técnico y de mercado. *Scientia Et Technica, XVII* (51). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=84923910013>
- Carrillo Medrano, L. M. (s/f). *Generación de energía con un sistema híbrido renovable para abastecimiento básico en vereda sin energización de Yopal-Casanare*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Escobar, D. I. (2013). *Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali* (B.S. thesis). Universidad Autónoma de Occidente.
- Figuroa, A., & Mejía, E. (2016). Sistemas híbridos: alternativa de energización en zonas no interconectadas. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales Tecnología e Innovación - RenovaT*, 0(1), 44–64.

- Forget, A. (2011). *Manual de diseño de sistemas fotovoltaicos aislados*. Lima: Microsol. Recuperado a partir de <http://www.astridforget.com/wp-content/uploads/2014/10/Manual-t%C3%A9cnico-AF-solar-FV-VF-110617.pdf>
- Galviz Garzón, J. S., & Gutiérrez Gallego, R. (2014). Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaico para la población Wayuu en Nazareth corregimiento del municipio de Uribía, departamento de la Guajira, Colombia.
- Guerrero, C., Fidel, E., & Conde Danies, F. (2011). Diagnóstico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en la región Caribe Colombiana. Recuperado a partir de <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/1272>
- Mora, C. R. P. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado a partir de <http://www.academia.edu/download/39552299/pb0831t.pdf>
- Ospina, J. F. C., & Acury, L. C. R. (2015). Diagnóstico técnico y social de los sistemas fotovoltaicos instalados por el CTDPE durante los años 2011 al 2015 en las provincias del Alto Magdalena y Tequendama, Cundinamarca. *Revista Tecnología y Productividad*, 1(1), 23–34.
- Pabón-Caicedo, J. D., Eslava-Ramírez, J. A., & Gómez-Torres, R. E. (2007). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología colombiana*, 4, 47–59.
- Pinzón Arévalo, L. V. (2017). *Alternativa en el aprovechamiento de energía solar ante crisis energética en Colombia* (B.S. thesis). Universidad Militar Nueva Granada.
- Rodríguez Manrique, A. K., Cadena Monroy, Á. I., & Aristizábal Cardona, A. J. (2015). Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca. *Design of photovoltaic solar energy systems for residential users in Chía, Cundinamarca*, 5(1), 55–65.
- Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería*, (28), 83–89.
- Rogeles, O., Alejandra, D., Castillo, A., & Tatiana, M. (2016). Estudio de la rentabilidad de una instalación fotovoltaica considerando pérdidas de potencia activa. Recuperado a partir de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7216>
- Sánchez, M., & Fernando, C. (2013). Cálculo de una Tarifa de Alimentación para Instalaciones Fotovoltaicas Residenciales en Colombia. *Semestre Económico*, 16(34). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=165036219001>
- Sánchez Pacheco, C. (2010). *Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano* (Thesis). Recuperado a partir de <http://dspace.unia.es/handle/10334/503>
- Santamarta, J. (2010). Las energías renovables son el futuro. *Científica dental: Revista científica de formación continuada*, 10(3).
- Segura, R., & Paulina, M. (2013). Diseño de sistemas fotovoltaicos asistido por computador. Recuperado a partir de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3869>
- Vallejo Lozano, K. A., & Parrales Vásquez, S. L. (2015). Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a red para autoconsumo en un edificio de la administración pública en la provincia del Guayas y análisis de viabilidad técnica y económica.