

EL SECTOR SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL CARIBE COLOMBIANO: ANÁLISIS TÉCNICO Y DE MERCADO

The solar photovoltaic sector in the Colombian Caribbean: technical and market analysis

Ernesto Cantillo Guerrero, Julio Daza Escorcía

Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia

ecantillo@uac.edu.co

jdaza@uac.edu.co

Resumen—El presente artículo es producto de la tesis de maestría plan de marketing de sistemas solares fotovoltaicos para electrificación urbana, y describe la situación actual de la demanda y oferta de energía solar fotovoltaica (ESF) en la región caribe colombiana, zona que reúne las mejores condiciones para el crecimiento de esta industria, utilizando las metodologías de revisión bibliográfica y técnica analítica. Se adiciona también, cual es el rendimiento eléctrico de los módulos solares fotovoltaicos más ofertados en la región, mediante el uso de los modelos matemáticos para cálculo de sistemas fotovoltaicos.

Palabras claves— fotovoltaico, batería, controlador solar, inversor, diagnóstico.

Abstract-- This paper is product of the marketing plan of photovoltaic systems for urban electrification master thesis, and describes the analysis of demand and supply of photovoltaic energy (SPE) in the Colombian Caribbean region, land that has the best conditions for growth of this industry, using the methods of literature review and analytical technique. Turn is added, which is the electrical performance of photovoltaic solar modules offered in the region over Colombia's Caribbean sector companies, using solar sizing formulas that handle the pioneers in the photovoltaic sector in Colombia

Keywords— Photovoltaic, batteries, PV regulator, power inverter, diagnosis

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología solar fotovoltaica tuvo su inicio en 1954, cuando investigadores de los laboratorios Bell de los Estados Unidos desarrollaron la primera celda solar de estado sólido usando silicio cristalino como material fotovoltaico [1]. La energía solar fue usada inicialmente en los programas espaciales, y a partir de la década de los 70 comenzaron los programas encaminados al desarrollo de nuevos materiales fotovoltaicos con el propósito de fabricar módulos solares fotovoltaicos para uso terrestre [2]. En la actualidad, el uso de la energía solar está experimentando un crecimiento inminente [3] donde se destaca el mercado

europeo como el generador de gran parte de los proyectos relacionados con la industria. Colombia, al igual que el resto de países latinoamericanos, aun camina a pasos lentos en la construcción de sistemas solares de mayor envergadura, tales como las centrales o huertos solares, siendo el mercado mas de proyectos para electrificación rural y aplicaciones puntuales en la industria. Debido a la inexistencia de los grandes proyectos, es que no existe tampoco la literatura suficiente que hable de la industria solar fotovoltaica en Colombia, y destacándose solo desde el año 1996 a la fecha, un documento técnico interesante que fue elaborado por el desaparecido Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, documento que resalta la oferta y demanda de productos durante las décadas de los 80 y 90. A la fecha, no existe un documento público mas completo que ese, en el cual se realice un estudio detallado de oferta y demanda del sector, siendo la mayoría de las publicaciones, enfocadas hacia aplicaciones de la tecnología. El sector en Colombia tiene entonces como principal cliente al estado, a través de la generación de proyectos de electrificación rural, así como compras varias para el área de defensa y cuidado de la seguridad nacional, y otras obras de desarrollo relacionadas con la ampliación tecnológica de entidades y empresas industriales y comerciales del estado. Cabe destacar, que en el sector privado, existen una serie de compradores relacionados con las telecomunicaciones, gasoductos y la red eléctrica nacional. El país posee la estructura legal que fomenta el uso de fuentes alternativas de energía (ley 697 del 2001), además de otras normativas para realizar deducciones por inversiones medio ambientales; sin embargo, no se dan en el territorio colombiano aun, los primeros megaproyectos, tal como ya se empiezan a dar en otras economías en proceso de emergentes o emergentes, según lo reflejado en los informes de la asociación de fabricantes de la industria solar fotovoltaica europea – EPIA. El objetivo general de este artículo es describir el estado actual de la oferta y demanda de sistemas solares fotovoltaicos en La región Caribe colombiana, derivándose los siguientes objetivos específicos: i) Describir los conceptos teóricos fundamentales sobre energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones, ii) Elaborar el estado actual de entorno socioeconómico y demanda de la energía solar fotovoltaica en la región Caribe Colombiana, y iii) Describir la oferta tecnológica solar fotovoltaica de las empresas

de la región Caribe Colombiana. La metodología utilizada es la revisión bibliográfica en libros, revistas científicas e informes técnicos de agencias especializadas..

II. ESF SUS APLICACIONES Y TENDENCIAS

La energía solar fotovoltaica permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares [4]. La generación de energía solar fotovoltaica se da gracias al conjunto de equipos conocido en el mercado colombiano como el sistema solar fotovoltaico o instalaciones fotovoltaicas, los cuales pueden agruparse en tres grandes tipologías según los componentes, la configuración y la forma de conexión a la red eléctrica: 1) sistemas fotovoltaicos autónomos, 2) sistemas híbridos o mixtos, y 3) sistemas conectados a la red [5]. El tipo de sistema característico de Colombia es el sistema fotovoltaico autónomo, las cuales no tienen ninguna conexión con redes eléctricas de la red general o red pública [6] y tiende a ser usada para electrificación rural, uso agrícola, ganadero o forestal, aplicaciones militares, o en la energización de equipos alejados de la red como comunicaciones, señalización y control. Los sistemas autónomos que en esencia están compuestos por el módulo solar fotovoltaico, acumulador o batería, y controlador de carga solar, requerirán de otros equipos según el tipo de instalación o necesidad energética a abastecer. En el mercado, los sistemas fotovoltaicos autónomos serán identificados según la potencia pico (Wp) del módulo solar fotovoltaico, y la capacidad energética a satisfacer dependerá de cuatro factores fundamentales: 1) El voltaje de operación del sistema, 2) la radiación solar de la zona de instalación, 3) La potencia de los equipos a energizar, y 4) las horas de trabajo de dichos equipos. La región Caribe colombiana posee una gran ventaja comparativa con respecto al resto del país en cuanto a la radiación solar global promedio diario (KWh/m²/día), tal como lo podemos apreciar en la figura:

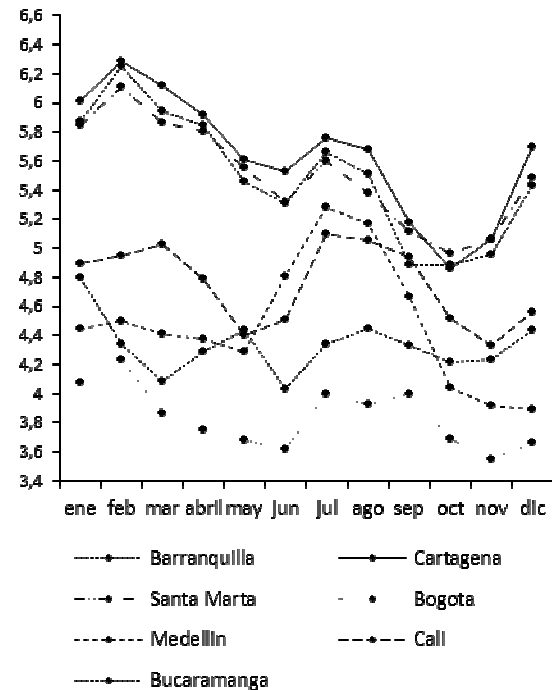


Figura 1. Radiación solar anual en algunas ciudades colombianas.

III. EL MERCADO DE LA ESF EN LA REGION CARIBE COLOMBIANA

Para el 2008, la industria solar fotovoltaica registró un crecimiento de un 11% con ventas aproximadas de 37,1 billones de dólares donde Alemania y España representaron más del 50% del mercado [9]. Se destaca también para el mismo año las ventas de 25 Megawatios en edificaciones que poseen sistemas solares fotovoltaicos integrados, conocidas como BIPV por sus siglas en inglés, y el incremento de las centrales solares de gran escala en España y Alemania, y en otros países donde aún no tenía presencia las centrales solares como son Republica Checa, Italia, Francia, China, India y Estados Unidos [10]. De todos los casos internacionales sobre el mercado fotovoltaico, el principal a destacar es el de Alemania, país que tiene claramente definido una política de promoción en energías renovables conocida como la ley de energías renovables [11], donde dichas políticas han logrado promover la expansión de la electrificación urbana, distribuida al 2008 así: 40% en edificios y viviendas particulares, 50% en empresas e industrias y 10% en centrales solares [12].

Analizando el caso de Colombia, se estima que el mercado consume 300 KW en sistemas solares fotovoltaicos al año [8]. Son 30 años aproximados los que tiene la industria solar fotovoltaica en Colombia, país con buenos niveles de radiación solar, ideales para la expansión del mercado fotovoltaico, pero sin políticas claras que lo estimulen. En el caso de la región Caribe colombiana, el establecimiento desde hace años de una estructurada industria gasífera, la ampliación de las

telecomunicaciones, el incremento en el uso de equipos de telemetría y automatización, y las expectativas de crecimiento empresarial debido a los distintos tratados comerciales que la nación tiene en proceso con otros países, conllevan a un mayor consumo de recursos que afectan al medio ambiente, comprometiendo a las empresas a mejorar sus programas de responsabilidad medio ambiental [7]. Por otra parte, el interés cada vez mayor de los consumidores por el uso de fuentes de energías alternativas, lo cual se pudo comprobar a través de las experiencias laborales vividas en el sector, la reducción de los precios internacionales de la energía solar fotovoltaica [10], muestra señales de que las tendencias mundiales, pronto empiecen a tener cabida en Colombia. En cuanto a la demanda tradicional de la industria solar fotovoltaica colombiana, la demanda para electrificación rural por parte del sector privado (agroindustriales y personas naturales con propiedades en el campo) ha decrecido, lo que no ha ocurrido con el estado, el otro comprador de electrificación rural, donde entidades como la gobernación del Atlántico llevó a cabo varios proyectos de electrificación rural en los entre el 2006 y el 2010 [7]. En general la demanda tanto en el Caribe colombiano como en todo el país, tiene en cuenta tres factores a la hora de adquirir, bien sea por importación o compra a una empresa local lo siguiente: prestigio y experiencia del país fabricante en generación en energías renovables, la calidad de los equipos ofrecidos, y el precio [13].

En cuanto a la oferta en [13], se destaca un listado de importadores para el 2003, que para el año 2010 se mantienen como empresas que hacen parte de la cadena de suministro de la industria solar fotovoltaica en Colombia y con presencia en la región Caribe colombiana. Ellas son: Coexito S.A., Energía Integral Andina S.A, Fulgor Energía S.A. existen otra serie de empresas que con un nivel de importaciones más modesto, tienen presencia en la oferta regional y nacional desde los años 80, como son Solar Center Ltda y Durespo S.A. [14]; todas estas como las empresas más representativas de un sector que por lo general a través de los años de presencia en Colombia ha contado con una serie de compañías que van desapareciendo bien sea por no seguir invirtiendo más en el sector o porque solo nacieron para abastecer una necesidad puntual de contratación en la cual unos inversionistas desearon participar, tal es el caso de los negocios de electrificación rural estatales que siempre cuentan con la participación de una serie de empresas cuyo objeto social primordial no gira en torno las energías limpias o a la energía solar fotovoltaica [7].

De la oferta hay que destacar que la empresa Coexito S.A. juega un papel de importador mayorista, quien representa en Colombia a una marca en especial, conocida como Kyocera Solar y la ofrece a las distintas empresas que ya cuentan con un posicionamiento en el sector. Energía Integral Andina S.A. – EIA, Fulgor Energía S.A. y Solar

Center Ltda, también presentes en la región Caribe colombiana, actúan como mayoristas y detallistas. Para el caso de Solar Center Ltda jugador local en la región, maneja distribuidores en el Caribe y venta directa a empresas de ingeniería, el estado y la gran industria ubicada en la región que demanda este tipo de productos como lo es la industria del gas, carbón y telecomunicaciones. En cuanto a EIA y Fulgor, tienen presencia directa en la región Caribe colombiana a través de representantes comerciales. Durespo S.A., se enfoca solo en el agroindustrial y habitante del campo, su presencia en la región es a través de distribuidores que comercializan suministros para el campo, aun no tiene presencia en la industria que demanda energía solar fotovoltaica [7].

IV. EQUIPOS QUE CONFORMAN LA ESF

Pasemos a describir cada uno de los componentes de un sistema solar fotovoltaico que se ofrecen en la región, entendiendo que se pueden ofrecer como un paquete integrado o por separado. La información es obtenida a través de inteligencia de mercados realizada a las empresas anteriormente mencionadas:

A. GENERADOR SOLAR

Los módulos demandados son según la aplicación. Para el caso de la señalización marítima y aplicaciones lumínicas de bajo consumo, se demandan módulos entre los 20 y 50 Wp; en aplicaciones como cercado eléctrico, soluciones de automatización para la industria del gas o carbón o telecomunicaciones, se demanda los módulos entre los 50 y 80 Wp; y para las soluciones de electrificación se demanda módulos con Wp superiores a los 80 Wp [15]. El consumidor regional, guarda apego por dos marcas en especial, Kyocera solar y BP Solar, sin embargo, suelen aceptar lo que las empresas del sector le ofrezca por disponibilidad del momento. A continuación encontramos una relación de las referencias y marcas más demandadas y sus rendimientos eléctricos en un sistema eléctrico autónomo, con base en el método de dimensionado más sencillo que parte de la estimación del consumo y el dimensionado de cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico [16]; donde, haciendo los correspondientes despejes de las fórmulas para el dimensionado sencillo se obtiene el rendimiento energético del módulo solar fotovoltaico, realizando el siguiente procedimiento:

- 1) Cálculo del consumo eléctrico total (ET) en base a los consumos en DC (EDC) y en AC (EAC)

$$EDC = \sum WDCi * tdi \text{ y } EAC = \sum WACi * tdi \quad (1) \text{ luego, } ET = EDC + (EAC / Fe) \quad (2)$$

Donde;

WDCi y WACi son las potencias en DC y en AC (en de los equipos a energizar, tdi es el tiempo diario de uso de dichos equipos, Fe es el factor de pérdida de eficiencia por el uso de los inversores de voltaje (AC/DC) que en la práctica se suele usar una pérdida máxima del 20%, dándole un valor a la variable Fe del 80%, y ET estará expresado en vatios-hora (Wh).

2) Cálculo del generador fotovoltaico (GF)

$$GF = ((ET/Vs) * Fs) / Rad \quad (3)$$

Donde;

Vs es el voltaje requerido del sistema solar fotovoltaico, suele oscilar ser 12, 24 o 48 VDC; Fs es el factor de seguridad por el desgaste en el tiempo de los módulos fotovoltaicos, donde la mayoría de los fabricantes consideran que se debe manejar un factor de seguridad 1,2 por el desgaste del 20% de la mayoría de los módulos después de 20 años de haber sido fabricados; y Rad que es la radiación solar expresada en KWh/m2, que en la práctica los instaladores fotovoltaicos suelen expresar como las horas de radiación diarias disponibles en la zona. El cálculo del GF, permite al instalador determinar la corriente (I) que se requiere generar con el sistema solar fotovoltaico para cubrir la necesidad energética. El número de módulos solares fotovoltaicos requerido se obtendrá de la relación entre GF y la corriente máxima generada (Imp) generada por el modulo:

3) Módulos requeridos = GF / Imp (4) donde el resultado se debe aproximar al entero mayor cercano.

Para los cálculos de la tabla 2, la columna rendimientos energéticos se referirá al cálculo de ET, calculo que para el cual GF es igual a Imp dado que es un (1) solo modulo el requerido, el factor de seguridad es 1,2; el voltaje del sistema – Vs es equivalente al voltaje nominal del módulo que para el caso de los que aparecen en la tabla es 12 VDC y la radiación solar se tomará la mínima anual para la ciudad de Barranquilla, obtenida de la tabla 1, equivalente a 4,89 horas (KWh/m2) de radiación diaria.

$$ET = (GF * Rad * Vs) / Fs = (4,89 \text{ horas} * 12 \text{ VDC} * GF) / 1,2 \quad (5) \text{ donde } GF = Imp$$

Este cálculo es bajo el supuesto que todo el consumo energético sea en corriente directa, dato que se colocará en la columna rendimientos energéticos.

Para el cálculo de la columna componentes requeridos, se utilizará las siguientes formulas siguiendo la secuencia de las anteriores:

4) Banco de acumuladores requeridos (BB)

$$BB = (Imp * Rad * Da) / (1 - \% \text{ Descarga}), \quad (6) \text{ donde:}$$

Da serán los días de autonomía que se desean tener en caso de fallas en el módulo solar fotovoltaico (se recomienda un mínimo de 3 días), de tal forma que durante esos días el banco de acumuladores puedan trabajar solos, y el % de descarga, es la descarga máxima permitida diaria que debe realizarse a la batería con el fin de alargar la vida útil del acumulador, dato que por lo general es suministrado en los catálogos técnicos del fabricante del acumulador y que muchas veces, los instaladores en la práctica

suelen utilizar un 20 y 30%, para nuestro ejercicio trabajaremos con el 20%. BB se expresa en Amperios-hora (Ah).

5) Controlador solar requerido (CS)

$$CS = \text{Max} (I_g, I_c), \text{ y } I_g = IR * NR \quad (7) \quad I_c = (\sum WDCi / Vbat) + (\sum WACi / Vac) \quad (8) \text{ donde:}$$

Ig es la corriente producida por el modulo solar fotovoltaico, que es el producto de la corriente producida por cada rama en paralelo del generador (IR) por el número de ramas en paralelo del generador (NR); y la variable Ic calculada por el cociente de las sumatorias de potencias por los respectivos voltajes según el tipo de voltaje, el voltaje de los acumuladores para la carga DC (Vbat), y el voltaje en AC (Vac) si es 110 o 220. La corriente mayor será tomada para seleccionar el tipo de controlador a utilizar. Para nuestro caso, dado que no tenemos establecida una carga, damos por sentado que la corriente producida por el modulo fotovoltaico debe ser la aceptada, y como es para el análisis de un (1) solo modulo, la variable NR es igual a 1.

MODULO	ESPECIFICACIONES ELECTRICAS	RENDIMIENTOS ENERGETICOS (Rad: 5 horas) en Wh _{DC}	COMPONENTES REQUERIDOS
KC65T de Kyocera solar	Wp: 65 W; I _{mp} : 3,75 A; V: 12 V	183,37	BB = 68,76 Ah CS = 3,75 A
SW75 de Sunwize	Wp: 75 W; I _{mp} : 4,5 A; V: 12 V	220,05	BB = 82,5 Ah CS = 4,5 A
KC85T de Kyocera solar	Wp: 85 W; I _{mp} : 5,02 A; V: 12 V	245,48	BB = 92,05 Ah CS = 5,02 A
KC130T de Kyocera solar	Wp: 130 W; I _{mp} : 7,39 A; V: 12 V	361,37	BB = 135,5 Ah CS = 7,39 A

Tabla 2. Rendimiento de los módulos solares fotovoltaicos de mayor demanda en la región caribe colombiana

B. BATERIA SOLAR

El acumulador o batería es un componente vital en los sistemas solares fotovoltaicos autónomos pues servirá de respaldo para esos momentos en que el modulo solar fotovoltaico no pueda generar electricidad (noche, nubosidad, etc.). El tipo de batería ideal a utilizar es la batería estacionaria, diseñadas para tener un emplazamiento fijo y para casos en que el consumo en que el consumo es más o menos irregular pero en los que no se necesita

producir una corriente elevada en breves periodos de tiempo, aunque si profundas descargas [17]. Las baterías pueden tener electrolito alcalino o ácido, siendo las primeras la de mayor fiabilidad y resistencia, pero las segundas son más demandadas por los precios más competitivos [17]. En el comercio, se consiguen estacionarias libres de mantenimiento (selladas) y las que requieren mantenimiento, el mercado ha aceptado y demanda más la libre de mantenimiento que posee una mayor vida útil y la diferencia en precios es cada vez menor con respecto a la que requiere mantenimiento.

Entre las baterías estacionarias ofrecidas en la región Caribe colombiana, se destaca la marca M-TEK, propiedad de la compañía Tronex Batteries S.A. de Medellín, y fabricadas en Taiwán, maneja referencias en 12 Vdc, desde los 7 Ah hasta los 255 Ah. Las baterías ofrecidas por la empresa Coexito S.A tienen un buen nivel de aceptación en el área industrial de la región y en el gremio ganadero. También se destacan marcas norteamericanas como son Concorde Batteries y Power sonic, y la marca Vison distribuida por la empresa Energía Integral Andina S.A. por lo general la oferta de baterías estacionarias en Colombia, al igual que los módulos, es de baterías importadas.

C. REGULADOR SOLAR

El controlador o regulador solar tiene como función principal proteger la batería evitando la descarga profunda o la sobrecarga de las mismas, alargando de esta forma la vida útil de la batería [7]. En el mercado de la región Caribe colombiana se demanda la marca Steca Solar, en sus distintas presentaciones, siendo un líder indiscutible del mercado, tendencia que conserva no solo en el mercado nacional sino también en la internacional. investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

IV. CONCLUSIONES

La región Caribe colombiana posee excelentes condiciones naturales para el desarrollo del sector solar fotovoltaico; sin embargo, al realizar un análisis del macro entorno nacional, no se han dado las políticas adecuadas y necesarias que le apunten a estimular la inversión, como si se han dado en otras regiones del mundo, a pesar que las tendencias sociales y tecnológicas están a favor del consumo de esta fuente energética. Al no existir las normas, el mercado en su totalidad, se encuentra representado por la construcción de sistemas solares fotovoltaicos autónomos, desconectados de la red eléctrica.

Se estima que este mercado tiene una demanda de 300 KW anuales, representado en gran parte por la electrificación de zonas apartadas de la red eléctrica nacional, lo que convierte al estado en el principal comprador de esta

energía, y en cierta medida por algunos sectores de la industria como el sector gas y telecomunicaciones. La oferta en la región Caribe colombiana está representada por un puñado de empresas que han logrado imponer las marcas que en el momento puedan ofrecer. Se destaca que entre la oferta de la región, está presente un distribuidor mayorista como la empresa Coexito S.A., que respeta la cadena de suministro, dejando la venta al cliente final de la marca que representa, en manos de las empresas expertas en la construcción de proyectos fotovoltaicos. En ese sentido, la marca Kyocera solar, es la más demandada por el consumidor de energía solar fotovoltaica en el Caribe colombiano, en especial las referencias KC65T, KC85T y KC130T. Vale la pena resaltar la buena aceptación que ha tenido la referencia SW75 de la compañía Sunwize. Aplicando las formulas de dimensionamiento solar fotovoltaico, se obtienen los datos sobre la capacidad energética en Wh que puede cubrir cada una de las anteriores referencias mencionadas, así como el banco de acumuladores, cuya marca bandera en la región es M-TEK y controladores solares requeridos, donde la marca Steca Solar es la de mayor aceptación.

REFERENCIAS

- [1]. Chapin D.M., Fuller C.S. and Pearson G.L. A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. *J. Appl. Phys.* 25, 676, 1954.
- [2]. Oyola J.S., Gordillo G. Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica. *Prospectiva*, 6(2), 11-15, 2007.
- [3]. Alcocer J. La energía solar y su importancia *Journal boliviano de ciencias.* 22, 14-17, 2011.
- [4]. Romero M., *Monografías de la construcción: Energía solar Fotovoltaica*, ceac, Barcelona, 2010.
- [5]. Roldan J., *Instalaciones solares fotovoltaicas*, paraninfo, Madrid, 2010.
- [6]. Rodríguez H. y González F., *Manual de radiación solar en Colombia*, H. Rodríguez y editores, Bogotá, 1994.
- [7]. Cantillo E. y Conde F. (2011), *Plan de marketing de sistemas solares fotovoltaicos para electrificación urbana*. Tesis de maestría, universidad Autónoma del Caribe, 2011.
- [8]. Rodríguez H. *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. *Ingeniería Universidad de los Andes.* 28, 83-89, 2008

- [9]. Solar Buzz (2009), Market buzz 2009: Annual World Solar PV Market Report, [online]. Disponible en: [http://energytoolbox.org/gcre/bibliography/65_PV MARKETSolarbuzz.pdf](http://energytoolbox.org/gcre/bibliography/65_PV_MARKETSolarbuzz.pdf) [acceso 12 de febrero de 2011]
- [10]. REN21 (2009). Renewables Global Status Report 2009 Update, [online], 32, disponible.
- [11]. German Renewable Energy Federation (2008). Bee Jahreszahlen 2008. [Online]. Disponible en: http://bee-ev.de/_downloads/publikationen/sonstiges/2009/090107_BEE_Jahreszahlen_2008.pdf [acceso 12 de febrero de 2011]
- [12]. ICEX (2010). El sector de la energía solar fotovoltaica en Alemania [Online], 62, disponible.
- [13]. ICEX. El mercado de equipos para generación de energías renovables en Colombia. [Online], 55, Disponible.
- [14]. INEA, Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia, Rucolor Ltda, Bogotá, 1996.
- [15]. Cantillo E., Conde F., Mercado J (2011). Plan de acción fundamentado en las oportunidades comerciales de Solar Center Ltda en tres sectores de la industria del departamento del Atlántico. Tesis de posgrado, Universidad Autónoma del Caribe, 2008.
- [16]. Prado C.R. (2011). Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada. Tesis de grado, Universidad de Costa Rica, 2008.
- [17]. Ingeniería sin fronteras. Energía solar fotovoltaica y cooperación y desarrollo. IEPALA, Madrid, 1999.