

**IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE VANGUARDIA
PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**RONALD OSPINO DURAN
DIEGO ARMANDO CARTAGENA CALDERÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

**IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE VANGUARDIA
PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**RONALD OSPINO DURAN
DIEGO ARMANDO CARTAGENA CALDERÓN**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el Título de
Ingeniero Electricista**

**Director:
GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO
Ingeniero Electricista, MSc.**

**Co-director:
GABRIEL ORDOÑEZ PLATA
Ingeniero Electricista, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A mis padres, Gilberto Ospino De la Cruz y Rosalba Durán García; todo su amor eterno, su ejemplo y educación han brindado las herramientas para lograr mis objetivos académicos.

A mi esposa Cleyzana y mis hermanos Samir, Romy, Freddy, Rosiris, Román y Carlos Julio. Con su apoyo incondicional y orientación me he fortalecido y permanecido perseverante en mis objetivos, muchas gracias a todos.

Ronald Ospino Duran

A mi madre hermosa, Olga Lucía Calderón (q.e.p.d.) que siempre estará a mi lado Apoyándome en todo. A mi padre Pedro Jesús Cartagena por creer en mis sueños y darme el soporte necesario para realizarlos.

A mi esposa Carmenza, por su orientación, compañía y apoyo incondicional en todos los proyectos y metas que me he trazado.

Diego Armando Cartagena Calderón

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso fuente de amor, sabiduría y materia; gracias por crear en mí la facultad de discernir y hallar solución a mis propias dudas. Brindo gratitud absoluta a mis padres por todo su apoyo durante mis estudios. Agradezco al director de tesis German Alfonso Osma Pinto y codirector Gabriel Ordoñez Plata, por orientar la ejecución del trabajo de grado y a los docentes de la E3T que brindaron sus conocimientos para mi formación profesional. Gracias a la Universidad Industrial de Santander por hacerme parte de su alma mater y ofrecerme una formación integral y humana.

Ronald Ospino Duran

Agradezco principalmente a Dios que es el dador de la vida, quien ha permitido que lleguemos hasta este punto de nuestras vidas. Agradezco a mi familia y a todas las personas que al compartir sus conocimientos y experiencias dieron un desinteresado aporte para el desarrollo de éste proyecto; un especial reconocimiento al Ingeniero Germán Alfonso Osma Pinto, Director del proyecto por su asesoría y colaboración para orientar el desarrollo de este trabajo de grado. A mi compañero de tesis de grado Ronald Ospino Duran, por su tenacidad y empeño en salir adelante y a todos los docentes de la E3T que me brindaron sus conocimientos para mi formación profesional.

Diego Armando Cartagena Calderón

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20
4. HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN LOS SFV	22
4.1 LIBROS DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LOS SFV	23
4.2 TESIS DE GRADO ENFOCADAS AL ESTUDIO DE LOS SFV	27
4.3 REVISTAS DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LOS SFV	33
4.4 INSTITUCIONES HISPANOAMERICANAS QUE OFRECEN ENSEÑANZA DE SFV	38
4.5 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA EL DISEÑO DE SFV	41
5. ESTADO ACTUAL DEL ARTE DE LOS COMPONENTES FOTOVOLTAICOS, CONFIGURACIONES Y APLICACIONES	48
5.1 TECNOLOGÍAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	48
5.1.1 Tecnologías de primera generación.	48
5.1.2 Tecnologías de segunda generación.	50
5.1.3 Tecnologías de tercera generación.	51
5.2 INVERSORES DE SEÑAL DC/AC	54
5.3 REGULADORES DE CARGA	57
5.4 SISTEMA ACUMULADOR DE ENERGÍA	60
5.5 CONFIGURACIONES Y APLICACIONES DE LOS SFV	65
6 SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE VANGUARDIA DE POTENCIAL UTILIDAD PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SFV EN COLOMBIA	71
6.1 ESTADO ACTUAL DEL MERCADO MUNDIAL DE LOS SFV	71

6.2 ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA	75
6.2.1 Análisis político de la tecnología fotovoltaica en Colombia	76
6.2.2 Análisis académico de la tecnología fotovoltaica en Colombia	81
6.2.3 Análisis empresarial de la tecnología fotovoltaica en Colombia	83
6.2.4 Análisis general del usuario la tecnología fotovoltaica en Colombia	92
6.2.5 Análisis de las soluciones tecnológicas de SFV aplicadas en Colombia	93
6.2.6 Análisis DOFA de los SFV en Colombia	98
7 CONCLUSIONES	99
BIBLIOGRAFIA	108
ANEXOS	110

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cronología de las eficiencias en células solares fotovoltaicas	53
Figura 2. Cuota de la capacidad instalada acumulada mundial de SFV.	73
Figura 3. Países con mayor capacidad instalada de SFV en 2013.	74
Figura 4. Evolución de las instalaciones de SFV según la región	75
Figura 5. Participación por tecnología de generación en la capacidad efectiva neta instalada en Colombia 2013.	77
Figura 6. Ofertas de servicios de las empresas fotovoltaicas en Colombia.	86
Figura 7. Equipos del SFV ofertados en Colombia	87
Figura 8. Tecnología de paneles fotovoltaicos ofertados en Colombia.	87
Figura 9. Tecnología de inversores DC/AC ofertados en Colombia.	88
Figura 10. Tecnología de reguladores de carga ofertados en Colombia.	88
Figura 11. Tecnología de baterías ofertadas en Colombia.	89
Figura 12. Países origen de las importaciones	89
Figura 13. Planta profesional encargado de realizar los diseños de los SFV	90

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Libros de información científica y/o tecnológica de los SFV	24
Tabla 2. Tesis de grado enfocadas al estudio de los SFV	31
Tabla 3. Revistas de información científica y/o tecnológica de los SFV	44
Tabla 4. Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV	46
Tabla 5. Base de datos herramientas computacionales para diseñar SFV	50
Tabla 6. Características nominales y comerciales de paneles fotovoltaico	57
Tabla 7. Generalidades importantes de los inversores	60
Tabla 8. Características generales de los Reguladores de carga	63
Tabla 9. Características importantes de las baterías	64
Tabla 10. Configuraciones y aplicaciones de los SFV	70
Tabla 11. Marco legal de los SFV en Colombia	72
Tabla 12. Marco reglamentario de los SFV en Colombia	76
Tabla 13. Marco normativo de los SFV en Colombia	80
Tabla 14. Grupos de investigación en Colombia relacionados a los SFV	84
Tabla 15. Empresas de servicios de sistemas fotovoltaicos en Colombia	88
Tabla 16. Soluciones tecnológicas aplicadas en Colombia 2010-2014	93
Tabla 17. SFV proyectados para ser ejecutados en el territorio nacional	94
Tabla 18. DOFA de los SFV en Colombia	96

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Empresas líderes en fabricación de paneles fotovoltaicos	109
Anexo B. Empresas líderes en fabricación de inversores	110
Anexo C. Empresas líderes en la fabricación de reguladores de carga	111
Anexo D. Empresas líderes en la fabricación de baterías	112
Anexo E. Datos técnicos nominales de los paneles fotovoltaicos comerciales	113
Anexo F. Datos técnicos nominales de los inversores comerciales	119
Anexo G. Datos técnicos nominales de los reguladores de carga comerciales	128
Anexo H. Proyectos fotovoltaicos construidos en Colombia 2010-2014	130
Anexo I. Encuestas para la caracterización de los SFV en Colombia	131

RESUMEN

TITULO: IDENTIFICACIÓN DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE VANGUARDIA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*

AUTORES:

RONALD OSPINO DURAN
DIEGO ARMANDO CARTAGENA CALDERON**

Palabras claves: Sistema fotovoltaico, tecnología fotovoltaica, paneles fotovoltaicos, regulador de carga, inversores DC/AC, baterías.

DESCRIPCION

La tecnología fotovoltaica ha aumentado su participación en los sistemas de generación de energía eléctrica a nivel mundial. Hoy en día es la tercera fuente de producción de electricidad con una capacidad instalada acumulada de 139 GW. Su éxito se debe en medida al desarrollo tecnológico que han presentado cada uno de sus componentes y las políticas energéticas que promueven algunos gobiernos para su implementación a través de subvenciones e incentivos. Sin embargo, generar un kW sigue siendo más costoso que otras tecnologías, esto se ha convertido en un factor que amenaza con su implantación en países como Colombia que cuentan con otros recursos naturales y con programas gubernamentales con recursos insuficientes para subsidiar e incentivar su ejecución.

Los datos resumidos en el capítulo 2 incentivan el aprendizaje de los SFV a través de información bibliográfica para acceder a la formación de manera directa, presencial o virtual así como la oferta de herramientas computacionales para el diseño y construcción de un SFV.

En el estado actual tecnológico de los componentes del SFV, se destaca la presencia de paneles fotovoltaicos de silicio de alta eficiencia y con menor participación en el mercado los módulos solares de capa fina; también están presentes los inversores cargadores, micro-inversores, inversores MPPT, inversores aislados y reguladores de carga PWM, reguladores de carga MPPT y baterías VRLA de plomo-ácido. Los anteriores son equipos que ayudan a mejorar la eficiencia del SFV según sea su aplicación.

En Colombia el 25% de las empresas ofertan dispositivos fotovoltaicos de última generación y las políticas energéticas de cara a los SFV son emergentes, además la tecnología fotovoltaica en el largo plazo no está incluida en el Plan de Expansión Referencia Generación de la UPME para la interconexión al SIN, estimándose un aumento en sus aplicaciones para abastecer demandas en las ZNI.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: German Alfonso Osma Pinto. Codirector: Gabriel Ordoñez Planta

ABSTRACT

TITULO: IDENTIFICATION OF CUTTING EDGE TECHNOLOGY SOLUTIONS FOR DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS.*

AUTORES:

RONALD OSPINO DURAN

DIEGO ARMANDO CARTAGENA CALDERON**

Key Words: Photovoltaic system, photovoltaic components, open circuit voltage, short-circuit electricity, photovoltaic panels, the charger controller, DC/AC inverters, batteries.

DESCRIPTION

The photovoltaic technology has increased its participation worldwide on generation systems of electric energy. Today it's the third production source of electricity with an accumulated installed capacity of 139 GW. Its success is due in no small part to the technologic development of every component and energetic policy that has been presented and that some governments promote their implementations through subsidies and incentives. Nevertheless, generating a kW keeps being more expensive than other technologies, this has become a decisive factor that threatens its implementation in countries such as Colombia that possess other natural resources and has government programs with insufficient money to support its execution.

The data presented in chapter 2 encourage learning of SFV's through a bibliographic information. In order to access this information you may go through a direct or a virtual way, which also has a provision of computer tools for designing and building an SFV. On the current technological state of the SFV's components, we focus on the presence of high efficiency silicon photovoltaic panels and the less popular thin layer solar panels modules; we can also find the charged inverters, micro-inverters, MPPT inverters, isolated inverters, PWM isolated inverters and charge regulators, MPPT charge regulators and VRL lead-acid VRL batteries. These are devices that help improving SFV's efficiency according to its application.

The 25% of marketing in Colombia offer last generation photovoltaic devices, and energetic policies facing SFVs are emerging, also the photovoltaic technology isn't included on the Generation Reference Expansion plan UPME in the long term for its SIN interconnection, but a rising on its applications is estimated to meet the demand on ZNI.

* Work Degree

** Faculty of Physical Mechanics Engineering. School of Electric and Electronics Engineering. Director: German Alfonso Osma Pinto. Codirector: Gabriel Ordoñez Planta

LISTA DE SIGLAS.

- SFV:** Sistema Fotovoltaico
- SFVA:** Sistema Fotovoltaico Conexión Aislada
- SFCR:** Sistema Fotovoltaico Conexión a Red
- SFCH:** Sistema Fotovoltaico Conexión Híbrida
- UPME:** Unidad de Planeación Minero-Energética
- MME:** Ministerio de Minas y Energías
- IPSE:** Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas
- CREG:** Comisión Reguladora de Energía y Gas
- EPIA:** European Photovoltaic Industry Association
- SIN:** Sistema de Interconexión Nacional
- ZNI:** Zona No Interconectada
- FNCE:** Fuentes No Convencionales de Energía
- CAFAZNI:**
- FAZNI:** Fondo de Apoyo Financiero para las ZNI
- FAER:** Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas
- SGR:** Sistema General de Regalías
- GEI:** Gases de Efecto Invernadero
- APAC:** Asia Pacífica
- MEA:** África y Medio Oriente
- DC/AC:** Corriente Directa/Corriente Alterna
- MPPT:** Seguimiento al Punto de Máxima Potencia
- PWM:** Modulación Anchura de Pulsos
- TeCd:** Telurio de Cadmio
- CIGS:** Diseleniuro de Cobre Indio y Galio
- Si-m:** Silicio Monocristalino
- Si-mc:** Silicio Policristalino
- a-Si:H:** Silicio Amorfo Hidrogenado

INTRODUCCIÓN

Un sistema fotovoltaico SFV, es el conjunto de dispositivos eléctricos que permiten la transformación de la radiación solar en energía eléctrica de manera segura y confiable. A la luz de lo anterior, el presente trabajo de grado tiene por objeto identificar las soluciones tecnológicas de vanguardia en el diseño e implementación de los SFV.

La generación de energía eléctrica a través de la tecnología fotovoltaica se fundamenta teóricamente en el efecto fotovoltaico. Sin embargo, la electricidad disponible en los terminales de la matriz de paneles fotovoltaicos no representa aplicación industrial útil por sí misma. En ese orden de ideas se necesitan componentes eléctricos que ayuden a cuantificar la energía producida. La adecuada coordinación de la interfaz del conjunto generador y los elementos que ayudan a mejorar la calidad energética define el funcionamiento óptimo de un SFV y permite su utilidad como solución tecnológica para cargas y/o sistemas que funcionan con C.C o C.A. La generación se puede configurar de tres formas diferentes: conexión directa al sistema de distribución **SFCR**, conexión aislada **SFA** y conexión híbrida **SFCH**. En todos los casos, cada uno de sus componentes juega un papel transcendental para buen desempeño del SFV.

La unidad básica de la tecnología fotovoltaica está constituida por las celdas solares, dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad de modo directo. El proceso de conversión fotovoltaica se realiza a través del uso de materiales semiconductores fabricados a partir del silicio, telurio de cadmio CdTe y diseleniuro de cobre-indio-galio Cu (InGa) Se₂o (CIGS). El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a eficiencia. Se perfila una tendencia hacia el desarrollo de células de lámina delgada de gran superficie, con rendimiento

superior al 20%, basada en materiales con mayor eficiencia de conversión. Se confía en estos innovadores componentes como solución a los problemas de costo y rendimiento de los actuales SFV¹.

El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías fotovoltaicas las cuales son un componente muy importante de todo el sistema, pues realizan funciones tales como almacenar energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo, proveer un suministro de energético estable y adecuado para la utilización de equipos eléctricos². El regulador de carga, es un dispositivo electrónico, que controla el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería e igualmente el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia los aparatos eléctricos³. El inversor es un equipo de potencia cuya función es convertir la señal de C.C de la instalación fotovoltaica en una señal sinusoidal variante en el tiempo para la alimentar los receptores que trabajan con C.A.

El desarrollo de los componentes fotovoltaicos, permitirá a los SFV, expandir sus horizontes en el mercado energético mundial. En la actualidad, muchos sistemas de generación son sub-dimensionados por lo que no presentan un buen desempeño, agotando recursos financieros y tecnológicos.

¹ Teske, Sven & Masson, Gaetan. Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. European Photovoltaic Industry Association, (EPIA) and Greenpeace, pp.17-27, 2011.

² Manuales sobre energías renovables: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). -1ed.San José, C.R., 2002.

³ Ibid.

DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN PROPUESTA.

La ley 697 de 2001 declara que es un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional la promoción del uso de energías no convencionales⁴. Sin embargo “no establece metas ni estímulos específicos sino que los deja a nivel de enunciación”⁵, esto ha producido desinterés en los empresarios del sector energético colombiano en querer ejecutar proyectos con FNCE. En efecto, lo anterior ha repercutido en el desarrollo de los SFV en Colombia porque, los medios de difusión no han resultado ser efectivos y actualmente frente al tema hay desconocimiento en aspectos de la tecnología fotovoltaica, la tendencias del mercado y la selección de los componentes eléctricos asociados al conjunto generador, convirtiéndose en una limitante para el diseño e implementación de SFV de mayor calidad.

De esta manera, aflora la necesidad de ofrecer las soluciones tecnológicas de vanguardia que permitirán tomar decisiones acertadas en la implementación y diseño de dichos sistemas; mitigando gastos en la adquisición de componentes no necesarios en sus aplicaciones. Para ello, es imprescindible brindar una herramienta bibliográfica que de manera metodológica ayude a entender ésta tecnología, comenzando con su fundamento científico, pasando por su estado actual y sus horizontes. Desde esta perspectiva, el presente trabajo de grado explicita las herramientas de información para el estudio y ejecución de los SFV, las tecnologías de los componentes fotovoltaicos y sus principales usos y aplicaciones en Colombia.

⁴ COLOMBIA. Congreso de la República de Colombia, Ley 697 de 2001. Bogotá D.C, octubre 3 de 2001.

⁵ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia V-1. Bogotá D.C, diciembre 30 de 2010.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La actual situación mundial de deterioro del medio ambiente ha generado un mayor interés por la optimización de los recursos energéticos, además ha acelerado considerablemente la implantación de nuevas fuentes energéticas; la mayoría de ellas renovables. Una de estas energías renovables es la energía solar fotovoltaica. Los SFV han aumentado su participación de forma significativa en la generación de energía eléctrica en países desarrollados; y en menor grado en países en vía de desarrollo, como Colombia⁶. Unas de las causas principales por las que los SFV no se han podido desplegar eficazmente son las siguientes: a) Políticas estatales mal difundidas⁷ b) Orientación académica muy general y básica (sólo a nivel de postgrado se profundiza el estudio en los SFV)⁸. Por lo anterior, a nivel nacional se tiende a desconocer la vanguardia de las soluciones tecnológicas ofertada por los SFV, las nuevas herramientas de diseño y los últimos avances de los dispositivos de un SFV de acuerdo a su configuración.

En la actualidad, quienes muestran interés en implementar sistemas de generación fotovoltaica no encuentran soluciones viables y eficientes en términos económicos; principalmente, porque los diseñadores no tienen en cuenta las aplicaciones tecnológicas de vanguardia que posibiliten una mejor gestión en el diseño para reducir costos. En general, el análisis tecnológico de los SFV se centra sólo en el tipo de tecnología de los paneles fotovoltaicos y en las baterías utilizadas para el almacenamiento de energía, restando importancia a elementos como los inversores de señal DC/AC, reguladores de carga y elementos de protección y control. La formación básica y la falta de incentivos en este campo, ha conllevado a que los

⁶ G. Masson, Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. EPIA pp.16-46.

⁷ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia V-1. Bogotá D.C, diciembre 30 de 2010, pp. 3-4.

⁸ Ibid. pp. 3-21.

SFV no sean aplicados en el contexto colombiano, porque no resulta fácil obtener dispositivos de última tecnología que presenten mejores prestaciones que los típicamente utilizados.

2. JUSTIFICACIÓN

La tecnología fotovoltaica ha mostrado ser una herramienta tecnológicamente viable para la generación de energía eléctrica, su participación en el mercado es cada vez más significativa y se perfila como una importante fuente de generación de electricidad para el mundo⁹. Durante los últimos años, se ha venido estudiando la manera de mejorar la calidad de la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos, es así como se han desarrollado dispositivos de alta tecnología que hacen más eficientes los sistemas de generación y logran aprovechar mejor la energía solar. Hoy en día, se destaca la fabricación de inversores de señal DC/AC y controladores de carga, elementos que intervienen en la eficiente gestión de la conversión de energía solar en electricidad, cuya producción y comercialización se ha concentrado en los países industrializados¹⁰. El presente trabajo de grado busca ofrecer información de soluciones de innovación tecnológica, para la adecuada selección de los componentes que intervienen en la producción de energía eléctrica y sus aplicaciones en Colombia.

⁹ G. Masson, Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. EPIA pp.16-46.

¹⁰ Wolfsegger, C. Fraile, D & Teske, Sven. Solar Generation V. European Photovoltaic Industry Association (EPIA) and Greenpeace, pp.13-20. 2008

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general.

Evaluar los adelantos tecnológicos y la tendencia del mercado de los componentes de sistemas fotovoltaicos.

3.2 Objetivos específicos.

- Identificar las herramientas de información para el adecuado diseño e implementación de los sistemas fotovoltaicos.
- Establecer la evolución tecnológica de componentes y configuraciones de sistemas fotovoltaicos.
- Identificar soluciones tecnológicas de vanguardia, de potencial utilidad para el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia.

4. HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Este capítulo tiene como objeto, identificar instrumentos de información de utilidad para el adecuado aprendizaje, diseño e implementación de los SFV. Es así que se analizan las fuentes de información que ayudan a establecer, aclarar y enseñar sus conceptos fundamentales y avanzados. En ese orden de ideas se definen las áreas de conocimiento que incentiven el entendimiento y aplicación de la tecnología fotovoltaica. Estas áreas, están definidas para que se pueda tener la información para gestar la formación desde lo más básico hasta el nivel de doctorado; esto con la visión de que sea una guía para quien esté interesado pueda llegar al nivel de conocimiento deseado.

En bases de datos se consigna la información necesaria para acceder a las diferentes áreas de conocimiento del sector fotovoltaico. En la Tabla 2 se muestran los libros de información técnica, tecnológica y científica de los SFV, en la Tabla 3 las tesis de grado orientadas al estudio de los SFV. Por otra parte, en la Tabla 4 se presenta las revistas de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos, en la Tabla 5 se establecen entidades que ofrecen formación básica y especializada en SFV y finalmente en la Tabla 6 enseñan las herramientas computacionales para el diseño y construcción de SFV.

Tabla 1. Libros de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Título	Autor (es)	Publicación	ISBN	Descripción Física
1	Análisis y simulación de un convertidor eficiente: para un sistema fotovoltaico	Eudaldo Evelio Tzab Olan, Pedro Bañuelos Sánchez	Saarbrücken: editorial académica española, 2011	9783846574256	70 pág.
2	Energía solar fotovoltaica	Miguel Ángel Sánchez Maza	Colombia: Grupo Noriega Editores de Colombia, 2008, 2011	9789681871987	314 p. ; il. ; rústica
3	Cuaderno de campo de electrificación rural fotovoltaica	Eduardo Lorenzo Pigueiras, Robert Ziller, Estefanía Caamaño Martín	España: Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2001	9788486505912	82 p. ; il. ; rústica
4	Edificios fotovoltaicos: técnicas y programas de simulación.	Argul, F. J.	Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2004	9788495693129	169 p. ; il. ; pasta dura + 1 CD-ROM
5	La energía solar: aplicaciones prácticas	Centro de Estudios de la Energía Solar: CENSOLAR (Autor Corporativo)	Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2009	9788495693501	149 p. ; il. ; rústica
6	Energía solar fotovoltaica	Sánchez Maza, Miguel Ángel	Grupo Noriega Editores de Colombia, 2008, 2011	9789681871987	314 p. ; il. ; rústica
7	Energía solar fotovoltaica (v7).	Castro Gil Manuel, Carpio Ibáñez José, Guirado Torres Rafael, Colmenar Santos Antonio, Dávila Gómez L.	España: Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2008	9788495693471	68 p. ; il. ; rústica
8	Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada	Pareja Aparicio, Miguel	España : Marcombo, 2010	9788426715968	199 p. ; il. ; rústica
9	Fotovoltaica para profesionales: diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas	Antony Falk, Dürschner Christian, Remmers Karl-Heinz	Alemania : Solarpraxis, 2006 ; España : Promotora General de Estudios S.A. – Progensa	9788495693358	334 p. ; il. ; pasta dura

Tabla 1. (Continuación). Libros de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Título	Autor (es)	Publicación	ISBN	Descripción Física
10	Instalaciones eléctricas domésticas convencionales y solares fotovoltaicas	Enríquez Harper, Gilberto	México : Limusa / Noriega, 2010	9786070502040	470 p. : il.; rústica
11	Manual del usuario de instalaciones fotovoltaicas	Serrasolses i Domènech, Jaume	España : Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2002	9788495693037	161 p. ; il. ; rústica
12	Photovoltaic systems engineering. - 3 ed.	Messenger, Roger A, Ventre, Jerry.	Estados Unidos : CRC Press, 2010	9781439802922	xxiii, 503 p. ; il. ; pasta dura
13	Prácticas de energía solar fotovoltaica	Fuentes Brieva, Ángel, Álvarez Redondo, Mariano	España : Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2005	9788495693082	228 p. ; il. ; 30 cm. ; rústica
14	Sistemas de bombeo eólicos y fotovoltaicos (v8)	Castro Gil Manuel Alonso, Colmenar Santos, Antonio, Perulero Castaño, J.M, Pérez García, M, Fiffe Verdecia, R.P.	España : Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2003	9788495693044	89 p. ; il. ; rústica
15	Sistemas de energía fotovoltaica: manual del instalador	Asociación de la Industria Fotovoltaica ASIF (Autor Corporativo)	España : Promotora General de Estudios S.A. - Progensa, 2008	9788495693440	Paginación varía; rústica
16	Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica	Fernández Salgado, José M.	Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones: Ediciones Mundi-Prensa, 2010	9788496709515	542P. : IL., tablas
17	Energía Solar Fotovoltaica	Javier María Méndez Muñiz, Rafael Cuervo García	Madrid: Fundación Confemetal, 2007	96743-29-8	248P. : IL., tablas + 1 CD-ROM
18	Energía Solar Fotovoltaica: Calculo de una Instalación Aislada	Miguel Pareja Aparicio	Barcelona: Marcombo, C 2010	9788426715968	199P. : IL., Diagr., tablas
19	Diseño de Sistemas Fotovoltaicos	O. Perpiñán, A. Colmenar y M. Castro	España: Censolar 2012.	978-84-95693-72-3	152P; Rústico

Tabla 1. (Continuación). Libros de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Título	Autor (es)	Publicación	ISBN	Descripción Física
20	Integración de la Energía Fotovoltaica en Edificios	N. Martín	España: Censolar 2011	978-84-95693-68-6	66 P. Rústico
21	Curso de Experto Profesional en Energía Fotovoltaica	VV.AA	España: Censolar 2009	978-84-95693-49-5	329 P; Rústico
22	Diseño, Instalación y Comercialización de Plantas Solares Fotovoltaicas	F. Antony, C. Dürschner, K.-H. Remmers	España: Censolar 2006.	978-84-95693-35-8	338P; Cartoné
23	Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos	E. Lorenzo	España: Censolar, 2006	978-84-95693-31-0	252 P; Rústicas.
24	Ingeniería Fotovoltaica	E. Lorenzo	España: Censolar, 2013	978-84-95693-32-7	300 P; Rústica
25	Sistemas de Energía Fotovoltaica; Manual del Instalador	VV.AA	España: Censolar, 2010	978-84-95693-66-2	184 P; Rústicas
26	Cuaderno de Campo de Electrificación Rural Fotovoltaica	E. Lorenzo, E. Caamaño-Martín, R. Zilles	España: Censolar, 2001	978-84-86505-91-2	88 P; Rústicas
27	Manual de Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Red	M. García	España: Censolar 2010	978-84-95693-65-5	120 P; Rústicas
28	Energía Solar Fotovoltaica	M. Castro, J. Carpio, R. Guirado, A. Colmenar, L. Dávila	España: Censolar, 2011	978-84-95693-70-9	76 P; rústicas
29	Instalaciones Solares Fotovoltaicas	E. Alcor	España: Censolar; 2008	978-84-95693-45-7	340 P; rústicas
30	Photovoltaic Rural Electrification; A Fieldwork Picture Book	E. Lorenzo, R. Zilles, E. Caamaño-Martín	España: Censolar; 2001	978-84-86505-92-9	88 P; libro de bolsillo
31	Prácticas de Energía Solar Fotovoltaica	A. Fuentes, M. Álvarez	España: Censolar; 2010	978-84-95693-08-2	228 P: rústicas
32	Edificios Fotovoltaicos, Técnicas y Programas de Simulación	VV.AA	España: Censolar; 2004	978-84-95693-12-9	172 P; cartoné

Tabla 1. (Continuación). Libros de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Título	Autor (es)	Publicación	ISBN	Descripción Física
33	Tejados Fotovoltaicos; Energía Solar Conectada a la Red Eléctrica	VV.AA	España: Censolar; 2009	978-84-95693-57-0	148 P; rústica
34	Generación de Energía Eléctrica con Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red	María de los Ángeles Medina Quesada, Jesús de la Casa Hernández, Francisco Jurado Melguizo.	Colombia: Editorial abecedario S.L	9788499789057	260 P
35	La Envolvente Fotovoltaica en la Arquitectura	Nuria Martín Chivelet	Editorial Reverté, 2012	9788429192285	198 P
36	Sistemas fotovoltaicos	Ángel Antonio Bayod Rújula	Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2009	9788415031253	338 P
37	Convertidores Electrónicos: Energía Solar Fotovoltaica, Aplicaciones y Diseño	Salvador Seguí Chilet	Universidad Politécnica Valencia, 2011	9788483637500	327 P
38	Prácticas de Energía Solar Fotovoltaica	Tomás Perales Benito	Publindústria- Produção de Comunicação, Lda, 2010	9789728953751	128 P
39	Instalaciones Solares Fotovoltaicas	Germán Santamaría Herranz	Editex, 2010	9788497717496	231 P
40	Instalaciones solares fotovoltaicas Baterías y acumuladores	Germán Santamaría Herranz	Editex, 2011	9788490030134	48 P
41	Instalaciones solares fotovoltaicas, Reguladores e inversores	Germán Santamaría Herranz	Editex, 2011	9788490030134	36 P

Tabla 2. Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
1	Universidad Industrial de Santander	Factibilidad para la creación de una empresa distribuidora de paneles solares en el municipio de San Alberto	Se analiza la situación actual de generación y consumo de energía eléctrica y se compara con la implementación de la tecnología fotovoltaica en Colombia.	Esmeralda Parra Jaramillo	Bucaramanga	2013
2	Universidad Industrial de Santander	Diseño de una herramienta computacional en Matlab para el análisis energético de sistemas fotovoltaicos	La herramienta consiste en una librería en SIMULINK, que permite simular el comportamiento eléctrico de equipos y dispositivos más relevantes en SFV, sirve como material de apoyo en estudios de generación fotovoltaica.	William Martínez Ortiz, Nelson Reinaldo Santamaría Forero	Bucaramanga	2012
3	Universidad Industrial de Santander	Estudio técnico y financiero de implementación de paneles solares enfocados a centros comerciales	El objetivo principal es el estudio y análisis del proceso de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos y las implicaciones técnicas y financieras que tendría esta implementación en un centro comercial.	Oscar Antonio Arenas Santamaría, Gerardo Latorre Bayona	Bucaramanga	2012
4	Universidad Industrial de Santander	Modelo para la instalación y mantenimiento de sistemas de alimentación basados en energía solar utilizados en territorios nacionales para comunicaciones satelitales	El trabajo se centró en la creación de un modelo que permite realizar una correcta instalación de los sistemas fotovoltaicos utilizados para comunicaciones satelitales en el área rural.	Leonardo Camilo Sandoval Rodríguez	Bucaramanga	2012
5	Universidad del Valle	Simulación de sistemas híbridos fotovoltaico/biogás/propano para generación de energía eléctrica de una vivienda empleando la herramienta computacional HOMER.	El propósito es generar mayor conocimiento de los sistemas híbridos de generación de manera que los actuales esquemas incluyan alternativas basadas en recursos energéticos alternativos.	Carlos Andrés Sarria	Santiago de Cali	2012

Tabla 2. (Continuación). Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
6	Universidad del Valle	Sistema fotovoltaico de 8kW interconectado a la red	Este trabajo, permite analizar mediante estrategias de control, una simulación del comportamiento de un sistema fotovoltaico de 8kW interconectado a la red eléctrica.	Jonathan Escamilla Chito, Diego Armando Tovar Capote	Santiago de Cali	2012
7	Universidad Industrial de Santander	Evaluación del potencial de desinfección de agua cruda mediante el aprovechamiento de la energía solar a través de un colector cilindro parabólico.	Los resultados permiten concluir que aunque la luz solar por sí sola tiene un efecto bactericida, el TiO ₂ en su presencia inactiva los coliformes más rápidamente. Una desinfección con TiO ₂ es más efectiva aún a menores temperaturas.	Edgar Fernando Castillo Monroy, Julio Andrés Pedraza Avella	Bucaramanga	2012
8	Universidad Industrial de Santander	Modelado de un Convertidor de potencia con variables de estado aplicado a un sistema fotovoltaico con carga LED para iluminación de exteriores.	Para obtener una simulación de los diferentes elementos del sistema es necesario conocer los parámetros asociadas a los mismos, para ello es importante considerar la información brindada por los fabricantes e incluirla en modelos matemáticos.	John Edison Archila Valderrama, Carlos Fernando López Toledo	Bucaramanga	2012
9	Universidad Industrial de Santander	Diseño y construcción de un seguidor mecánico para un potabilizador solar parabólico.	El sistema diseñado y construido es un seguidor solar mecánico de un eje, el cual utiliza la acumulación de energía potencial para lograr que el colector cilindro parabólico siga el sol en su movimiento diario.	Oscar Eduardo Higuera M, Efraín Augusto Ruiz Sánchez.	Bucaramanga	2012
10	Universidad Industrial de Santander	Evaluación del potencial de generación de energía por medio de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y zonas endurecidas de la sede central de la UIS.	Este trabajo de grado se presenta la evaluación del potencial de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos en las edificaciones y zonas endurecidas de la sede central de la UIS.	Jesús Enrique Camargo Carvajal, Álvaro Andrés Dallos Castellanos	Bucaramanga	2011

Tabla 2. (Continuación). Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
11	Universidad nacional de Colombia	Síntesis y caracterización de las películas delgadas de $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ e In_2Se_3 para ser usadas en la fabricación de celdas solares tipo tándem	Se sintetizaron, caracterizaron y estudiaron los compuestos de $CuGaSe_2$, $Cu(In,Ga)Se_2$ y $-In_2Se_3$, optimizando sus propiedades como capas absorbentes y buffer para ser usadas en celdas solares tipo tándem.	Josué Itsman Clavijo Penagos.	Bogotá	2011
12	Universidad Nacional de Colombia	Control de un convertidor estático en sistemas fotovoltaicos interconectados.	Se presenta el diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red monofásica utilizando convertidores estáticos.	Nelson Leonardo Díaz Aldana	Bogotá	2011
13	Universidad Nacional de Colombia	Estudio de la corriente térmicamente estimulada (TSC) y propiedades eléctricas en películas delgadas de Cu_3BiS_3 , para ser usadas como capa absorbente en la fabricación de celdas solares	Se sintetizaron películas delgadas de Cu_3BiS_3 por métodos fisicoquímicos; se realizó un estudio de contactos eléctricos con comportamiento óhmico con este tipo de material y se le realizaron medidas de conductividad y corriente térmicamente estimulada (TSC).	Johan Manuel Murillo Munar	Bogotá	2011
14	Universidad Nacional de Colombia	Propiedades mecánicas e influencia de la temperatura de deposición sobre la morfología en monocristales de Cu_3BiS_3 usados como capa absorbente en celdas solares.	Caracterización estructural, morfológica y mecánica de películas delgadas de Cu_3BiS_3 , a través de las técnicas de microscopía de fuerza atómica (AFM), microscopía de barrido electrónico (SEM), perfilometría y difracción de rayos X en haz rasante (XRD).	Arturo Edison Aparicio Guzmán	Bogotá	2011
15	Universidad Nacional de Colombia	Desarrollo de materiales fotovoltaicos usados como ventana óptica en celdas solares.	La elaboración de esta tesis doctoral presenta resultados relacionados con los primeros materiales fotovoltaicos libres de cadmio sintetizados por el método CBD en el grupo GMS&ES.	William Andrés Vallejo Lozada	Bogotá	2011
16	Universidad Nacional de Colombia	Modelado de un convertidor CA/CC trifásico para el análisis de la distorsión armónica	En este trabajo se presenta el diseño, simulación e implementación del rectificador trifásico controlado, realizando un análisis de la distorsión armónica generada por éste bajo una carga resistiva.	Diego Fernando Devia Narváez	Manizales	2011

Tabla 2. (Continuación). Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
17	Universidad Industrial de Santander	Diseño, construcción y evaluación de un sistema de colector fotovoltaico con seguidor solar de dos grados de libertad.	Se diseñó y construyó un sistema de captación de energía solar con seguimiento de máxima radiación y se evaluó comparando la variación de los grados de libertad respecto a otro sistema de igual naturaleza.	Sebastián Miranda Fernández, Ricardo Andrés Gómez Galvis	Bucaramanga	2011
18	Universidad Nacional de Colombia	Preparación y caracterización de películas delgadas de SnS y SnS:Bi depositadas por sulfurización.	Las películas delgadas de SnS y SnS:Bi se depositaron por el método de sulfurización. Se caracterizaron a través de medidas de transmitancia espectral, difracción de rayos x, microscopía de fuerza atómica y efecto Hall.	Edison Banguero Palacios	Bogotá	2010
19	Universidad Nacional de Colombia	Síntesis de películas delgadas ZnS por el método del CBD y uso como capa buffer en celdas solares basadas en $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$	Tiene como objetivo general sintetizar películas delgadas de ZnS por el método CBD (Chemical Bath Deposition) sobre películas absorbentes de CIGS.	Mikel Fernando Hurtado Morales	Bogotá	2010
20	Universidad Industrial de Santander	Diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica.	En este trabajo se presenta el potencial solar en la ciudad de Bucaramanga y el aforo de carga del edificio de ingeniería Eléctrica. A partir de esta información se propone un diseño de ingeniería básica de generación fotovoltaica; diseño basado en normas criterios y parámetros explicados a lo largo del documento	Fabián Camilo Cala González, Carlos Aníbal Rodríguez Sañudo.	Bucaramanga	2010
21	Universidad Nacional de Colombia	Producción y caracterización de películas semiconductoras de ZnO sobre sustratos de vidrio por la técnica de baño químico (CBD).	Caracterización de películas semiconductoras de ZnO crecidas sobre sustratos de vidrio, utilizando la técnica de CBD a través del método particular denominado SILAR (<i>successive ionic layer adsorption and reaction</i>).	Verónica Henao Granada	Manizales	2010

Tabla 2. (Continuación). Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
22	Universidad Industrial de Santander	Diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica y de una red eléctrica en corriente continua de baja tensión para el posible nuevo edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander.	Propuesta de metodología para el diseño de un SFV y una micro red en C.C. Esta metodología es una herramienta que puede ser usada para futuros diseños relacionados con SFV y micro redes.	Yury Bibiana Lizarazu Basto, Leydi Andrea Torres Salazar	Bucaramanga	2010
23	Universidad Industrial de Santander.	Metodología para la formulación de proyectos de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos	Metodología para realizar el diseño, análisis de conveniencia y evaluación de componentes técnicos de los proyectos de generación de energía eléctrica empleando paneles fotovoltaicos.	Susana Carolina Romero Aparicio	Bucaramanga	2010
24	Universidad Nacional de Colombia	Sistema de electrificación rural con energía solar fotovoltaica.	Cerca de 1.800.000 personas se encuentran en las ZNI. En este contexto la ESF posee gran potencial, pues su sistema se compone de equipos que no requieren suministro de combustible y mantenimiento.	Camilo Andrés Mayorga Sánchez	Bogotá	2008
25	Universidad Nacional de Colombia	Desarrollo de prototipo para el monitoreo del desempeño de sistemas de generación fotovoltaica embebida usando instrumentación virtual.	Se diseñó e implementó un prototipo de equipo que permite monitorear el desempeño técnico y la calidad de energía generada por sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución local.	Andrés Julián Aristizábal Cardona	Bogotá	2008
26	Universidad Industrial de Santander.	Factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la comercialización y montaje de paneles solares productores de energía fotovoltaica, para unidades residenciales de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, pertenecientes a los estratos 4,5 y 6.	Se estudió la factibilidad de implementar una empresa enfocada a la utilización de la generación fotovoltaica para unidades residenciales de estratos 4,5 y 6 de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.	Anselmo Castellano Silva, Nubia Rivero Carrillo.	Bucaramanga	2008

Tabla 2. (Continuación). Tesis de grado enfocadas al estudio de los sistemas fotovoltaicos.

#	Entidad	Título	Resumen	Autor (es)	Ciudad	Año
27	Universidad Nacional de Colombia	Síntesis y Caracterización de Nuevos Materiales No Tóxicos Empleados como Capa Buffer y Capa Absorbente en la Fabricación de Celdas Solares	La elaboración de esta tesis doctoral presenta resultados relacionados con la síntesis y Caracterización de Nuevos Materiales No Tóxicos Empleados como Capa Buffer y Capa Absorbente en la Fabricación de Celdas Solares	Monica Andrea Botero Londoño	Bogotá	2008
28	Universidad Nacional de Colombia	Diseño e instalación del primer sistema fotovoltaico interconectado en Colombia y desarrollo de equipo para su monitoreo	El presente trabajo se realizó una contribución importante al fomento de la energía solar fotovoltaica en el país mediante la instalación del primer sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.	Johann Alexander Hernández Mora	Bogotá	2006
29	Universidad Nacional de Colombia	Descripción y análisis del desarrollo de la energía solar en algunos países latinoamericanos y en Colombia, como opción viable y sostenible.	Estudio de algunos proyectos en ESF implementados para Latinoamérica. Se resaltan las buenas prácticas, y se presentan una serie de recomendaciones en áreas con oportunidades de mejoramiento.	Luis Alberto Baracaldo Piñeros	Bogotá	2006
30	Universidad Industrial de Santander	Entrenador de celdas fotovoltaicas	Módulo de energía solar para la asignatura Transferencia de Calor Aplicada, es un banco de pruebas para realizar análisis componentes de un SFV, bajo diferentes condiciones de radiación.	Álvaro Villabona, Edison Páez Beltrán.	Bucaramanga	2004

Tabla 3. Revistas de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	Características	Idioma	Formato	Página Web
1	ERA SOLAR	Revista técnica de energía solar. Tecnología térmica y fotovoltaica	Español	Físico	http://www.erasolar.es/
2	SOLAR NEWS	Revista especializada en energía solar térmica y fotovoltaica	Español	Digital	http://www.solarnews.es
3	SOLAR INDUSTRY	Especializada en la industria de la energía solar	Ingles	Digital	http://www.solarindustryimg.com
4	ENERGÍAS RENOVABLES	Periódico digital enfocado a ofrecer información de vanguardia en energías renovables incluyendo la tecnología fotovoltaica	Español e ingles	Digital	http://www.energias-renovables.com/
5	SAWSANA ENERGY	Ofrece información y asesorías a empresas para la inversión en proyectos fotovoltaicos, termo-solares y eólicos.	Español e ingles	Digital	http://www.sawsanaenergy.com/
6	ENERGÍA SOLAR ESPAÑA	Revista de información científica y tecnológica de la energía solar	Español	Digital	http://www.energiasolaresp.com
7	EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION , EPIA	EPIA (Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea) es la voz de la energía fotovoltaica en Europa, con miembros activos a lo largo de toda la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica.	Ingles	Digital	http://www.epia.org
8	ENF SOLAR	Presenta el más completo directorio de empresas fabricantes y vendedores de componentes fotovoltaicos, así como instaladores de sistemas fotovoltaicos.	Español e ingles	Digital	http://es.enfsolar.com/
9	ENERGÉTICA XXI	Revista experta en sistemas de generación de energía eléctrica, sus publicaciones son mensuales, emite informes de avances tecnológicos de los sistemas fotovoltaicos.	Español e ingles	Físico y Digital	http://www.energetica21.com/
10	LATINOAMÉRICA SOLAR	Ofrece el <i>apoyo, la formación y la transmisión de conocimientos</i> de forma personalizada, que muchas entidades o empresas necesitan para impulsar su expansión en el mundo de las energías renovables.	Español	Digital	http://www.latinosolar.com/

Tabla 3. (Continuación) Revistas de información científica y/o tecnológica de los sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	Características	Idioma	Formato	Página Web
9	ENERGÉTICA XXI	Revista experta en sistemas de generación de energía eléctrica, sus publicaciones son mensuales, emite informes de avances tecnológicos de los sistemas fotovoltaicos.	Español e inglés	Físico y Digital	http://www.energetica21.com/
10	LATINOAMÉRICA SOLAR	Ofrece el <i>apoyo, la formación y la transmisión de conocimientos</i> de forma personalizada, que muchas entidades o empresas necesitan para impulsar su expansión en el mundo de las energías renovables.	Español	Digital	http://www.latinoamericasolar.com/
11	SUN & WIND ENERGY	Revista especializada en la energía solar y la eólica.	Inglés	Digital	http://www.sunwindenergy.com/
12	ENERGÍAS RENOVABLES	Presenta resúmenes de artículos científicos y tecnológicos	Español	Digital	http://www.gstriatum.com
13	PHOTON	Revista dedicada únicamente a la tecnología fotovoltaica	Español e Inglés	Digital	http://www.photon.info/phot on_home_es.photon
14	IEEE REVISTAS DEL IEEE AMÉRICA LATINA	Es una revista con publicaciones de carácter científico-tecnológico.	Español Inglés Portugues	Digital	http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/esp/publicaciones.php
15	TECNURA	Es una revista con publicaciones de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral	Español e Inglés	Digital	http://tecnura.udistrital.edu.co/

Tabla 4. Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
1	Universidad Industrial de Santander	Colombia		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería, doctorado en ingeniería.	www.uis.edu.co
2	Universidad Nacional de Colombia	Colombia		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería, doctorado en ingeniería	www.unal.edu.co
3	Universidad del Valle	Colombia		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería, doctorado en ingeniería	www.univalle.edu.co
4	Universidad del Norte	Colombia		X			X		Ingeniería eléctrica	www.uninorte.edu.co
5	Universidad de los Andes	Colombia		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería, doctorado en ingeniería	www.uniandes.edu.co
6	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Colombia		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, doctorado en ingeniería	www.udistrital.edu.co
7	Universidad Pontificia Bolivariana	Colombia			X		X		Maestría en Ingeniería electrónica	www.upb.edu.co

Tabla 4. (Continuación) . Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
8	Universidad Autónoma de Occidente	Colombia		X	X		X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería	www.uao.edu.co
9	Universidad de la Salle	Colombia		X			X		Ingeniería eléctrica	www.lasalle.edu.co/
10	Universidad de Antioquia	Colombia		X	X		X		Ingeniería eléctrica	www.udea.edu.co
11	Universidad Autónoma de Bucaramanga	Colombia	X	X			X		Ingeniería en energía, especialización en gerencia de recursos energéticos.	www.unab.edu.co
12	Universidad Manuela Beltrán	Colombia	X				X		Curso de Aplicaciones en Energía Solar Fotovoltaica	www.umb.edu.co
13	Universidad Tecnológica de Bolívar	Colombia	X				X		Curso Energía solar fotovoltaica – escuela de verano	www.unitecnologica.edu.co
14	Universidad Pontificia Comillas Madrid	España		X	X	X	X		Ingeniería industrial, master universitario en sistemas de energía eléctrica, doctorado en energía eléctrica,	www.upcomillas.es

Tabla 4. (Continuación) . Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
15	Universidad de Málaga	España		X	X	X	X	X	Ingeniería eléctrica, Máster en tecnología de los sistemas de energía solar fotovoltaica, doctorado en Sistemas de Energía Eléctrica	director.eps@uma.es www.uma.es
16	INNOTEC	España						X	Diplomado superior instalaciones solares fotovoltaicas	formacion@innotecenergia.es
17	Universidad de Jaén	España			X	X	X		Master universitario en energías renovables, doctorado en energías renovables	http://grados.ujaen.es http://viceees.ujaen.es
18	Universidad de Vigo	España		X			X		Ingeniería de la energía.	www.uvigo.es
19	Universidad de Valencia	España		X			X		Ingeniería electrónica industrial,	www.uv.es
20	Universidad Internacional de Andalucía	España			X	X	X	X	Master en tecnología de los sistemas de energía solar y fotovoltaica	www.unia.es /fotovoltaica

Tabla 4. (Continuación) . Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
21	Universidad de San Pablo	Brasil		X					Ingeniería eléctrica	www5.usp.br
22	Universidad Rio Grande do Sul	Brasil		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería eléctrica, doctorado en ingeniería eléctrica.	www.ufrgs.br
23	Universidad Federal de Pernambuco	Brasil		X	X	X	X		Ingeniería de energía, ingeniería eléctrica, maestría y doctorado en tecnologías energéticas y nucleares, maestría y doctorado en ingeniería eléctrica	www.ufpe.br
24	Universidad Federal do ABC	Brasil		X	X	X	X		Ingeniería de energía, maestría en energía y doctorado en energía	http://www.ufabc.edu.br/
25	Universidad de Buenos aires	Argentina		X			X		Ingeniería electricista,	www.fi.uba.a

Tabla 4. (Continuación) . Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
26	Escuela Europea en Energía Solar Térmica y Fotovoltaica	España	X					X	Curso técnico en energía solar térmica y fotovoltaica	http://www.escuelademedioambiente.com/curso-tecnico-en-energia-solar-termica-y-fotovoltaica/
27	Universidad de San Martín	Argentina		X			X		Ingeniería en Energía	http://www.unsam.edu.ar
28	Universidad Tecnológica Nacional	Argentina	X					X	Diplomado de tecnología y gestión de la energía, energía solar y eólica de baja potencia	www.sceu.frba.utn.edu.ar
29	Instituto Tecnológico de Buenos Aires	Argentina		X			X		Ingeniería eléctrica	http://www.itba.edu.ar
30	Centro de Formación Superior presencial y a Distancia IUSC	España			X			X	Maestría en Gestión de Energía Renovables	http://www.iusc.es
31	Centro de Formación Superior presencial y a Distancia IUSC	España			X		X		Máster en medio ambiente y energía renovable.	http://www.iusc.es

Tabla 4. (Continuación). Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
32	Centro de Formación Superior presencial y a Distancia IUSC	España	X		X	X	X		Postgrado en energías renovables	http://www.iusc.es
33	Centro de Formación Superior presencial y a Distancia IUSC	España	X					X	Experto universitario en gestión y desarrollo de las energías renovables	http://www.iusc.es
34	Centro de Formación Superior presencial y a Distancia IUSC	España	X					X	Especialización en energía solar fotovoltaica	http://www.iusc.es
35	Universidad de Chile	Chile		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, magister en ciencias de la ingeniería, doctorado en ingeniería eléctrica	http://www.die.uchile.cl
36	DUOCUC Universidad Católica	Chile	X				X		Técnico en energía renovables y eficiencia energética	http://www.duoc.cl

Tabla 4. (Continuación). Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
37	Pontificia Universidad Católica de Chile	Chile		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, magister y doctorado de la ingeniería área ingeniería eléctrica.	http://www.uc.cl
38	Universidad Santo Tomas	Chile		X					Ingeniería en electricidad y electrónica industrial	http://www.santotomas.cl
39	Universidad Autónoma del Estado de México	México		X					Ingeniería en Sistemas Energéticos Sustentables	www.uaemex.mx
40	Universidad Nacional autónoma de México	México		X	X	X	X		Ingeniería eléctrica, maestría en ingeniería, doctorado en ingeniería	http://www.unam.mx/
41	Universidad del Valle de México	México		X			X		Ingeniería en Energía y Desarrollo Sustentable	http://www.uvmnet.edu
42	Asociación Nacional de Energía Solar	México	X				X	X	Especialización en energías renovables	http://www.anes.org/anes/
43	Instituto de Investigaciones Eléctricas	México	X				X	X	Diplomado en sistemas fotovoltaicos conectados a la red	http://www.iie.org.mx:8080/SitioGENC/welcome.html

Tabla 4. (Continuación). Instituciones hispanoamericanas que ofrecen enseñanza de SFV.

#	Entidad	País	Nivel de estudio				Modalidad		Programa académico	Página web
			Cursos	Pregrado	Maestría	Doctorado	Presencial	Virtual		
44	EMAGISTER	México	X					X	Curso energía solar fotovoltaica, curso módulos y paneles solares,	http://www.emagister.com.mx
45	SAECSA Energía Solar	México	X					X	Curso Online Básico de Sistemas Fotovoltaicos.	http://saecasolar.com
46	Fundación AUCAL	España			X			X	Máster en energías renovables	http://www.aucal.edu/
47	SUNPOWER	Colombia	X				X		Curso en montajes e instalación de sistemas de energía renovables	http://spwr.redhdigital.com/
48	SOLEN TECHNOLOGY	Colombia	X				X		Cursos de energía solar y eólica.	http://solentechnology.com/
49	MY GREEN-TEC LTDA	Colombia	X				X		Curso de energía solar fotovoltaica I	http://www.mygreentec.com/
50	SOLARMAX INTERNATIONAL S.A	Colombia	X				X		Curso de energía solar	http://www.solarmax.co/
51	ENERGÍA Y MOVILIDAD	Colombia	X				X		Curso de energía solar	http://www.eneryaymovilidad.com/
52	COLTÉCNICA	Colombia	X				X	X	Curso de Diseño e Instalación de SFV	http://www.coltecnica.com/
53	SOLEN TECHNOLOGY	Colombia	X				X		Cursos de energía solar y eólica	http://www.solentechnology.com/

Tabla 5. Base de datos de herramientas computacionales para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	País	Características	Costo	Versión	Año	Observaciones	Página web
1	DELTA VOLT SAC	Perú	Calculadora para determinar la capacidad necesaria de los paneles fotovoltaicos, las baterías, el inversor y el controlador, ayudando a dimensionar adecuadamente el SFV.	Gratis	On-line	2014	Sus aplicaciones son generalmente para instalaciones simples y aisladas.	www.deltavolt.pe/calcsolar
2	KERYCHIP	Dinamarca	Herramienta didáctica diseñada para calcular la potencia mínima requerida por los paneles fotovoltaicos y la capacidad de almacenamiento del banco de baterías para dos días de reservas sin sol.	Gratis	On-line	2014	Diseñada para módulos de 12 V y condiciones ambientales danés.	http://www.kerychip.dk/dimensi-onsolcelle.html
3	CENSOL5	España	Software que se usa para empezar el estudio de los sistemas de energía solar. Se fundamenta en analizar el comportamiento del sistema generador y realizar el dimensionado básico de instalaciones eléctricas	Gratis	On-line	2014	Diseñado para condiciones ambientales de España.	http://www.censolar.es/_%20%20.htm
4	PROGRAMA DE CÁLCULO PARA ESF.	España	Programa de cálculo de energía solar fotovoltaica ESF. Este software es especialmente desarrollado para facilitar el aprendizaje en SFV.	Gratis	Off-line	2014	Es útil para todos los países hispanoparlantes	www.solar-instruments.es
5	CALCULATION SOLAR	No registra	Programa que permite calcular los elementos que necesarios para la implementación de una instalación solar fotovoltaica aislada.	Gratis	On-line	2014	Se puede calcular para cualquier lugar del planeta	www.calculation-solar.com
6	VALOR DE VENTA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO	España	Simulador del precio neto de venta de una instalación fotovoltaica, muestra el valor esperado en una fecha determinada, también la tasa estimada de retorno para el comprador.	Gratis	On-line	2014	Valores en euros.	www.milkthesun.com/esp
7	CÁLCULO ONLINE DE UN SFV	Alemania	Aplicación online para el sistema fotovoltaico de una casa con conexión a la red de distribución.	Gratis	On-line	2014	Se puede calcular para cualquier lugar del planeta	valentin.de/calculation/pvonline/pv_system/en
8	DIAFEM	España	Dimensionamiento de Instalaciones Fotovoltaicas, Eólicas y Mixtas, es una aplicación para el diseño y cálculo de instalaciones que posibiliten una electrificación aislada.	Gratis	On-line	2013	Diseñado para condiciones ambientales de España.	www.agenciaan-daluzadelaenergia.es/Diafem/
9	DIMENSIONADO SISTEMAS FV AISLADOS	España	Es una aplicación online que dimensiona SFA, teniendo en cuenta lo especificado en el pliego de Condiciones Técnicas del IDAE.	Gratis	On-line	2013	Diseñado para condiciones ambientales de España.	www.censolar.edu/idae_fva.htm

Tabla 5. (Continuación) Base de datos de herramientas computacionales para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	País	Características	Costo	Versión	Año	Observaciones	Página web
10	DIMSOLWEB	España	Dimensionamiento de SFA.	Gratis	On-line	2014	Diseñado para condiciones ambientales de España.	diegoonate.co.nf/sim/dimsolweb.html
11	INTERCALENSOFT	España	Aplicación para la simulación de SFCR.	Gratis	On-line	2013	Necesita tener Java instalado	www.ujaen.es/investiga/solar/06software/inter/Intercalensof.html
12	MOFINET	No registra	Modelos Financieros por la Red, es una herramienta de simulación en formato Excel-97 para analizar la viabilidad financiera de proyectos de inversión en energías renovables y eficiencia energética.	Gratis	PC	2002	Compatible para versiones de Microsoft Excel 97 en adelante	www.mofinet.com/renovables/
13	RETScreen INTERNATIONAL	Canadá	RETSscreen 4 es un software de análisis de proyectos de energía limpia fundamentada en Excel que ayuda a determinar la viabilidad técnica y financiera de proyectos de energía renovable, eficiencia energética y cogeneración.	Gratis	PC	2014	No es compatible con Windows 7	www.retscreen.net/es/home.php
14		Canadá	RETSscreen Plus es un software de gestión energética fundamentada en Windows que permite comprobar el desempeño energético de las instalaciones.					
15	PVWATTSTM	Estados Unidos	Calculadora que determina la producción de energía y el ahorro de costos de los SFCR. Funciona libremente cualquier ubicación del planeta y elegir los parámetros de diseño que mejor se ajuste al sistema generador.	Gratis	On-line	2013	Se puede utilizar para lugares de USA y algunos países de todos los continentes.	www.nrel.gov/rredc/pvwatts/
16	CALENSOF 4.0	España	Herramientas de diseño para aplicaciones fotovoltaicas en edificios	Gratis	PC	2013	Es útil para cualquier lugar del planeta.	http://www.ujaen.es/investiga/solar/06software/software.htm
17	NORA	Estados Unidos	Calculadora solar diaria y anual de algún lugar específico.	Gratis	PC	2010	Está hecho en formato de Microsoft Excel	www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=7176&idp=&idoma=es&prov=

Tabla 5. (Continuación) Base de datos de herramientas computacionales para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	País	Características	Costo	Versión	Año	Observaciones	Página web
18	IALSOL-ENERGÍA SOLAR	España	Herramienta para ver la rentabilidad y la configuración de instalaciones solares fotovoltaicas para autoconsumo.	Gratis	PC	2012	Está hecho en formato de Microsoft Excel	www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=7033&idp=&idioma=es&prov=
19	BASE DE DATOS INTERNACIONAL H-WORLD	España	Programa gráfico multifuncional, que permite calcular y visualizar diversas variables directamente relacionadas con la energía solar y el diseño de edificaciones.	80 USD	PC	2013	Valores de la energía solar incidente en cada mes en países de todo el mundo	www.censolar.org/menu4.htm
20	SOLAR DESIGN STUDIO (V6)	Estados Unidos	Software para simular el funcionamiento anual, en base horaria, de un sistema de SFV, teniendo en cuenta el diseño y los datos climáticos seleccionados por el usuario.	250 USD	PC	2006	Requiere Windows XP. Idioma Ingles. Es útil para cualquier lugar del planeta.	www.censolar.org/menu4.htm
21	CALCULO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS Y EÓLICAS	España	Permite diferentes cálculos para las distintas tipologías de abastecimiento eléctrico: doméstico e industrial, para venta a red y alumbrado. Cuenta además con menú para planificación en el abastecimiento solar y/o eólico de energía eléctrica para bombeo.	Gratis	PC	2011	Es útil para cualquier lugar del planeta	http://www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=6440
22	SUNNY EXPLORER	Alemania	Software para el control inalámbrico de la instalación fotovoltaica a través de <i>Bluetooth</i>	Gratis	PC	2014	Es útil para cualquier lugar del planeta	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sunny-explorer.html
23	SUNNY EXPLORER	Alemania	Software para el control inalámbrico de la instalación fotovoltaica a través de <i>Bluetooth</i>	Gratis	PC	2014	Es útil para cualquier lugar del planeta	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sunny-explorer.html
24	SUNNY EXPLORER	Alemania	Software para el control inalámbrico de la instalación fotovoltaica a través de <i>Bluetooth</i>	Gratis	PC	2014	Es útil para cualquier lugar del planeta	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sunny-explorer.html

Tabla 5. (Continuación) Base de datos de herramientas computacionales para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

#	Nombre	País	Características	Costo	Versión	Año	Observaciones	Página web
25	SUNNY EXPLORER	Alemania	Software para el control inalámbrico de la instalación fotovoltaica a través de <i>Bluetooth</i>	Gratis	PC	2014	Es útil para cualquier lugar del planeta	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sunny-explorer.html
26	SUNNY DESING	Alemania	- Diseño óptimo de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. - Indicaciones específicas para la optimización de la instalación	Gratis	PC	2014	También suministra datos para la evaluación económica de la instalación	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sunny-design.html
27	SMA OPC SERVER	Alemania	Software para el control y monitorización de grandes instalaciones fotovoltaicas.	Gratis	PC	2010	Permite el intercambio de datos entre los productos y aplicaciones de distintos fabricantes	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sma-opc-server.html
28	SMA SOLARCHECKER	Alemania	Aplicación de iPhone para la estimación de beneficios de instalaciones fotovoltaicas	Gratis	IPHONE	2014	Datos meteorológicos por internet para determinar los valores de irradiación	http://www.sma-iberica.com/es/productos/software/sma-solarchecker.html

A través de la búsqueda en herramientas de información para el diseño e implementación de los SFV consignada en las anteriores cinco tablas, se observa que actualmente existen los medios de formación e información adecuados para la apropiación del conocimiento respecto a la tecnología fotovoltaica. Estos instrumentos de información, coadyuvan a un electricista profesional a aprender a calcular, diseñar e instalar SFV. También resulta útil para acceder a sectores de interés del sector fotovoltaico como por ejemplo orientar a investigaciones que posibiliten las innovaciones, los desarrollos tecnológicos e implementaciones de vanguardia.

5. ESTADO ACTUAL DEL ARTE DE LOS COMPONENTES FOTVOLTAICOS, CONFIGURACIONES Y APLICACIONES.

Los SFV consisten en la interconexión de una matriz de módulos fotovoltaicos y un conjunto de elementos eléctricos que ayudan a transportar, convertir, regular, almacenar y mejorar la calidad de la energía generada por las células fotovoltaicas. Los equipos adicionales al conjunto generador son llamados sistema de equilibrio (Inversor, regulador de carga y baterías) y sus avances tecnológicos se deben esencialmente a la evolución presentada por la electrónica de potencia en las últimas tres décadas. En los paneles solares el desarrollo es consecuencia de los estudios realizados en semiconductores capaces de producir electricidad cuando son expuestos a la radiación solar¹¹.

5.1 TECNOLOGÍAS DE LOS PANELES FOTVOLTAICOS.

Existen diferentes tecnologías para producir electricidad a partir de la energía solar, éstas se clasifican en generaciones según su avance cronológico. Entonces la primera generación hace referencia a la tecnología del silicio, la segunda generación responde a los paneles de lámina delgada o capa fina y la tercera generación son las células de concentración fotovoltaica PCV, orgánicas y foto-electroquímicas. La diferencia principal entre las tecnologías mencionadas radica en la técnica de preparación del material semiconductor, razón por la que algunas son más costosas y/o eficientes que otras.

5.1.1 Tecnologías de primera generación. En los paneles fotovoltaicos de primera generación existen dos tipos: uno es llamado multicristalino (mc-Si) y sus células están compuestas por múltiples cristales de silicio, el otro es el

¹¹ Manuales sobre energías renovables: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). -1ed.San José, C.R., pp. 6. 2002.

monocristalino (m-Si) y su unidad básica es un único cristal de silicio. El proceso productivo de los paneles m-Si requiere de una etapa adicional para lograr células de ultra pureza, por esto son más costosos que los mc-Si. Sin embargo una vez obtenida la célula fotovoltaica, los pasos para llegar hasta el panel final son los mismos. En el mercado, los paneles típicos tienen potencias nominales entre 120-300 [Wp] y un área de 1,4 a 2,5 [m²], conformados por cerca de 60 a 72 células respectivamente ¹². El precio actual de los paneles de silicio oscila en 0,6 [USD\$/Wp]¹³.

La tendencia mundial en la fabricación de paneles fotovoltaicos de silicio está siendo orientada en obtener eficiencias cercanas a su límite teórico de 31%¹⁴. En ese orden de ideas, los fabricantes han diseñado técnicas que intervienen en la estructura celular para mejorar su eficiencia y confiabilidad. La pasivación superficial, la intervención con emisores selectivos, la pasivación con silicio amorfo hidrogenado y los contactos posteriores son algunas de las técnicas que soportan los avances tecnológicos de vanguardia. En consecuencia tecnologías emergentes con capacidad de generar más energía por unidad de área empiezan a ganar demanda en el mercado fotovoltaico.

En el presente, *MAXEON* es la tecnología de paneles fotovoltaicos con mayor eficiencia disponible en el mercado. Se caracterizan por tener los contactos en la cara posterior eliminándose las pérdidas por efecto sombra causadas por los contactos frontales. Alternamente existe otra tecnología celular que mejora el

¹² Teske, Sven & Masson, Gaetan. Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. European Photovoltaic Industry Association, (EPIA) and Greenpeace, pp.17-27, 2011.

¹³ SOLAR SERVER. Índice de precio del mercado mundial de módulos fotovoltaicos tomado de <http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html> Visitado 26 de Julio de 2014

¹⁴ A. Morales - Acevedo. Diseño óptimo y realización de celdas solares de silicio para producción industrial. estado del arte de la investigación en México. Revista mexicana de física. México D.F. Octubre 2004. p, 2.

rendimiento de módulos fotovoltaicos, ésta es llamada *Heterojunction with Intrinsic Thin Layer HIT*. Estos tienen en su estructura capas pasivadoras de silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) que ayudan a suavizar la permeabilización de los fotones en la estructura cristalina aumentando el flujo energético por unidad de área.

5.1.2 Tecnologías de segunda generación. Los módulos fotovoltaicos de capa fina o lámina delgada se construyen a través del crecimiento epitaxial, depositando directamente material semiconductor sobre un sustrato rígido o flexible. El proceso de deposición de las diferentes capas requiere de una síntesis continua porque su almacenamiento se lleva a cabo sobre algunas de las caras del panel. En términos generales su elaboración se divide en tres grandes etapas como lo son: depósito de contacto frontal, depósito de las capas semiconductoras y depósito del contacto posterior. Gracias a esta característica, son más sencillos de fabricar que los módulos de Silicio porque no necesitan de una fase previa para la obtención de la célula.

Actualmente existen cuatro tipos de módulos fotovoltaicos de capa fina disponible en el mercado: Silicio Amorfo (a-Si), Teluro de Cadmio (CdTe), Diseleniuro de Cobre-Indio-Galio, Cu (In-Ga) Se₂ o (CIGS) y multiunión de película delgada de Silicio micro-cristalino, a-Si/ μ c-Si. Son de alto nivel de absorción, de tal manera que necesita menos cantidad de semiconductor para generar un Watt de potencia por unidad de área. Líneas de investigación están en la búsqueda de nuevos materiales que ayuden a aumentar la transmisividad y transmitancia, también en mejorar las técnicas para crear efecto fotovoltaico al interior de la célula y en facilitar la permeabilidad de los fotones en el material semiconductor.

Elementos como el Te, In y Cd, utilizados en la fabricación de paneles fotovoltaicos de lámina delgada son tóxicos y escasos en estado puro. En ese orden, estos módulos tienen inconvenientes para ser reciclados y se comercializan a un alto costo. Nuevos materiales como las kesteritas y perovskitas están siendo utilizados

para crear prototipos de células fotovoltaicas de bajo costo y sin toxicidad. En términos generales su composición química es $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) y $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, (CZTSe) cuya estructura cristalina es similar a la de tipo CIGS y se caracterizan por tener eficiencias de 12,6% para las kesteritas y 17,9% para las perovskitas^{15 16 17}.

5.1.3 Tecnologías de tercera generación. Los paneles fotovoltaicos de tercera generación son los que permiten conversiones de alta eficiencia en comparación con las de la primera y segunda generación donde experimentalmente se han alcanzado eficiencias hasta del 40,7% promedio¹⁸, con los comúnmente llamados de multijuntura, tándem y de concentración fotovoltaica (PCV). Estos paneles aunque son fabricados no son comercializados porque solo tienen aplicación a nivel espacial. Sin embargo, existen nuevos materiales que están en etapa de investigación, estos son los llamados materiales emergentes; entre los que se destacan las células de tipo electroquímicas o sensibilizadas por colorantes (DSSC) y las orgánicas basadas en polímeros conductores; estas últimas presentan eficiencias bajas, no mayor al 10%¹⁹ pero tiene un futuro prometedor porque su costo de producción es bajo. Actualmente se está investigando las propiedades eléctricas del grafeno químicamente reducido (GQR) como una solución tecnológica para la fabricación de células fotovoltaicas de tipo DSSC y orgánicas. Su aplicación

¹⁵ S, Abermann, Non-vacuum processed next generation thin film photovoltaics: Towards marketable efficiency and production of CZTS based solar cells. Austrian Institute of Technology. Australia. 2013

¹⁶ VV.AA, Device Characteristics of CZTSSe Thin-Film Solar Cells with 12.6% Efficiency. IBM T.J. Watson Research Center. USA 2013.

¹⁷ Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas. *National Renewable Energy Laboratory, NREL*. EE.UU.2014

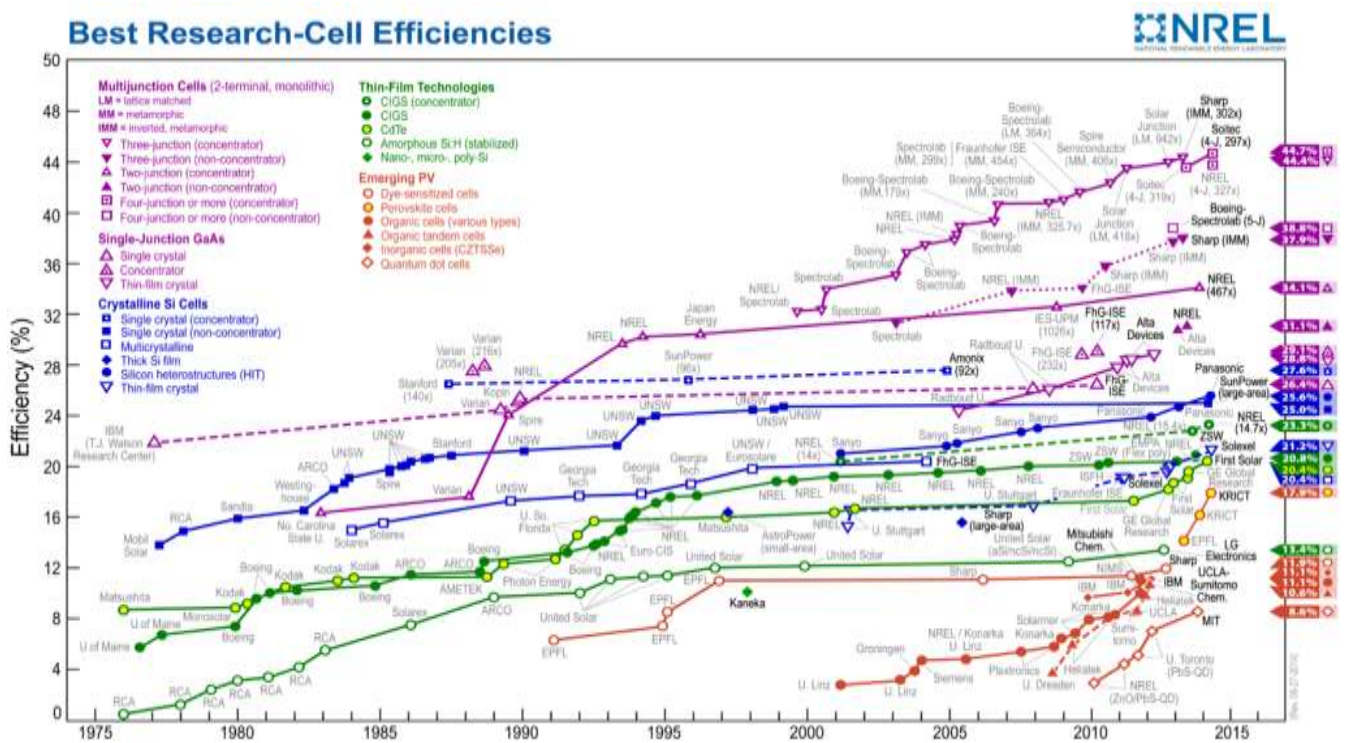
¹⁸ J.I, CLAVIJO. Síntesis y caracterización de las películas delgadas de $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ e In_2Se_3 para ser usadas en la fabricación de celdas solares tipo tándem. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Pág. 6. 2011

¹⁹ *Ibíd.*

está orientada en la utilización como capa buffer para elevar la eficiencia y la estabilidad celular²⁰.

En la Tabla 6 se especifican las cualidades nominales y comerciales relevantes de cada tipo panel y en la figura 1 se presenta el reporte del NREL sobre la evolución de eficiencias de las células fotovoltaicas. En el anexo A se muestra la base de datos de las empresas líderes del mercado de paneles solares y en el anexo E el informe técnico de los módulos fotovoltaicos de última tecnología existentes en el mercado.

Figura 1. Cronología de las eficiencias en células solares fotovoltaicas.²¹



Fuente. NREL. EE.UU.2014

²⁰ L.F ANAYA ROJAS & F.E ACOSTA CORTES, Caracterización eléctrica de grafeno químicamente reducido (GQR) y evaluación de su potencial aplicación en celdas solares. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.

²¹ Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas. National Renewable Energy Laboratory, NREL. EE.UU.2014

Tabla 6. Características nominales y comerciales de paneles fotovoltaicos.

Tecnología		$\eta_{\text{célula}}$ [%] *	η_{panel} [%] **	η_{Exp} [%] ²²	Marca Líder	Costo USD/Wp ²³	Área para crear un kW ²⁴ [m ²]	Dividendo del mercado Mundial ²⁵ [%]	
Silicio	m-Si	MAXEON	25 ^a	21,5	27,6	SUNPOWER	0,7	7	42,2
		HIT	22 ^b	18	25,6	SANYO			
	mc-Si	PLUTO	20,3 ^c	16	20,4	SUNTECH	0,65	8	44,2
		Q-ANTUM	18,1 ^d	16,2	19,5	HANWHA-QCELL			
Lámina fina	a-Si	9,6		13,4	SHARP	0,45	15	2,2	
	CdTe	13,5-14,5		19,6	FIRST SOLAR	0,75	10	4,7	
	CIGS	15,7		22,8	TSMC SOLAR	0,7	10	0,5	
	a-Si/ μ c-Si	9,3		13,2	SHARP	0,75	12	5,2	
PCV		25		44,4	SHARP	-	-	0-1	
Foto-electroquímica		4		11,9	N.A	-	-	-	
Orgánica		6		11,1	N.A	-	-	-	

$\eta_{\text{célula}}$: Es la eficiencia de la célula fotovoltaica según su tecnología específica.

η_{panel} : Es la eficiencia de los paneles que están en el mercado.

η_{Exp} : Es la máxima eficiencia experimental obtenida en una célula fotovoltaica.

- La tecnología de Si es la única que tiene células y módulos en el mercado.

- Los valores correspondientes al costo de los paneles fotovoltaicos son promedio.

- *Los valores de $\eta_{\text{célula}}$ son datos obtenidos de: a²⁶, b²⁷, c²⁸, d²⁹, respectivamente.

- ** Los datos de eficiencia de los paneles fueron obtenidos de los catálogos de cada marca líder. Ver anexo C

²² Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas. *National Renewable Energy Laboratory, NREL*. EE.UU.2014

²³ PVXCHANGE. Spot module price. Tomado de: <http://pvxchange.com/>. Consulta: agosto 14 de 2014.

²⁴ Teske, Sven & Masson, Gaetan. Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. European Photovoltaic Industry Association, (EPIA) and Greenpeace, pp.17-27, 2011

²⁵ Wolfsegger, C. Fraile, D & Teske, Sven. Solar Generation V. European Photovoltaic Industry Association (EPIA) and Greenpeace, pp.13-20. 2008

²⁶ Martin A. Green. University of New South Wales. Sydney. Australia. 2014.

²⁷ A. KANEVCE & W.K. METZGER. Device Physics of heterojunction with intrinsic thin layer (HIT) Solar Cells. National Renewable Energy Laboratory. Golden. Colorado EE.UU. Mayo 2009.

²⁸ SUNTECH sets world record 20.3% efficiency for PLUTO cell technology. Wuxi. China. Marzo 2012

²⁹Wawer, P. preprint to be published in the proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Hamburg, Germany. 2011

5.2 INVERSORES DE SEÑAL DC/AC

El inversor es un dispositivo electrónico de potencia que convierte la energía de corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna, adicionalmente sirve para elevar la tensión de suministro del conjunto de los paneles de 12, 24 o 48 V_{DC} a 208/120 o 220/127 [V_{AC}], 60 Hz³⁰. En la conversión de señales DC/AC, los inversores presentan dos etapas muy importantes: una sintetizadora y otra filtradora. En la etapa sintetizadora se obtiene una señal de impulsos a partir de una tensión DC, utilizando transistores de potencia como los MOSFET e IGBT que tienen alta velocidad de conmutación y ondas de tensión muy cercanas a una sinusoidal. Luego se entra en la etapa de filtrado llevado a cabo en un transformador que suaviza la señal conmutada y eleva el nivel de tensión. Por último se aplica la técnica de modulación PWM, que se encarga de eliminar armónicos y adecuar una sinusoidal pura con amplitud y frecuencia requerida para alimentar equipos en AC³¹.

Los inversores para SFCR se caracterizan porque operan interconectados directamente entre el generador fotovoltaico y el sistema de potencia. También porque cuentan con un sistema electrónico que hace seguimiento al punto de máxima potencia (MPPT) ayudando a aprovechar más la cantidad de energía generada. Adicionalmente, deben operar al máximo rendimiento manteniendo estables los estándares de calidad de la energía, por ejemplo: baja distorsión armónica y elevado factor de potencia. Estos equipos se clasifican en tres configuraciones especiales: Inversores centrales, inversores modulares o en cadena (*string inverters*) y micro-inversores.

Los inversores para SFA trabajan conectados a dispositivos acumuladores de energía y su funcionamiento óptimo es repercutido por los efectos de carga y

³⁰ M. Pareja Aparicio, Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada, pp. 117-119. 2009.

³¹ A. SÁNCHEZ. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012.

descarga que sufren las baterías, afectando la señal de tensión en DC; es así que tiene incorporado un regulador de carga interno que detecta el estado de carga de las baterías midiendo su nivel tensión y así efectuar la desconexión de las mismas. Los inversores actuales pueden realizar la transformación DC/AC a señales sinusoidales puras, dejando en la obsolescencia a los de tipo de onda cuadrada y onda sinusoidal modificada que son ineficientes y presentan alto *THD*.

Un nuevo concepto de inversores hace presencia en el mercado. El inversor/cargador es un equipo que adicionalmente de hacer la conversión DC/AC tiene la función de generar carga al banco de baterías. Cuando las baterías se descargan su tensión disminuye, entonces el inversor detecta el estado de descarga y permite el flujo energético desde un grupo electrógeno o la red de distribución. Las tecnologías de los inversores han evolucionado en materia de calidad de la energía. En el mercado actual se encuentran equipos con eficiencias hasta de 98%³², señales sinusoidales con *THD* de 3%³³. También incorporan aplicaciones digitales a través de software especializados para la óptima gestión del SFV. La integración de las TIC en los sistemas de eléctricos controlados y accionados por equipos electrónicos, han desarrollado eficazmente la implementación de los inversores DC/AC como solución tecnológica para suplir de electricidad a un sistema de potencia o para alimentar una carga de corriente alterna.

A continuación en la Tabla 7, se describen las generalidades más importantes de los inversores. Asimismo, en el Anexo C se presenta la base de datos de las empresas líderes del mercado de inversores y en el Anexo F, se incluye el informe técnico de los inversores de última tecnología existentes en el mercado.

³² Catálogo de productos SMA. sunny family 2012, p. 16

³³ Ibid. p.169

Tabla 7. Generalidades importantes de los inversores.

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones	Marcas Líderes
Inversores Centrales	<ul style="list-style-type: none"> - Único inversor que sirve de interfaz entre el SFV y la red eléctrica. - Son óptimos para centrales fotovoltaicas de estructura homogénea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia. - Interfaces para supervisar y evaluar datos. - Contribuye a la estabilidad de red en tiempo real 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdidas en los diodos de bloqueo - Pérdidas en el cableado DC. - Solo son útiles para generación a gran escala 	<ul style="list-style-type: none"> - Central fotovoltaica en el rango de MW - Rango de potencia de equipos: de 250 hasta 1600 kW 	<ul style="list-style-type: none"> - SMA - ABB - KACO - KOSTAL SOLAR - SCHNEIDER ELECTRIC - POWER ELECTRONICS - POWER ONE - SOLAR MAX - VICTRON - INGTEAM - OUTBACK - ZEVEER SOLAR - FRONIUS - STUDER - FRONIUS
Inversores Modulares	<ul style="list-style-type: none"> - Único inversor conectado a la salida de la interconexión en cascada de paneles en paralelo (string). - Usa algoritmos inteligentes para detectar fallas 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de cableado en DC. - Aumenta la modularidad del SFV. - Compensa reactivos de red. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere más inversores para un SFV. - Reducción de la eficiencia global del SFV. - Alto precio en relación kW generado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación industrial desde 10 kW hasta los MW. - Rango de potencia de equipos: de 10 hasta 20 [kW] 	
Micro-inversores	<ul style="list-style-type: none"> - El inversor está incorporado en el panel fotovoltaico. - Sistema de MPPT individual para cada panel. - Tamaño pequeño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Carece del cableado DC de alta tensión - Da flexibilidad al SFV. - Identifican la tensión de red 	<ul style="list-style-type: none"> - Útil solo para bajas potencias. - Elevado costo. - Vida útil menor a la del panel. - Útil para un solo panel 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación sobre un tejado hasta de 20 kW. - Rango de potencia de equipos: de 1,6 hasta 5 [kW] 	
Inversores Onda Sinusoidal Pura	<ul style="list-style-type: none"> - Obtienen señales sinusoidales puras. - Tienen microprocesadores para telecontrol, selección baterías y medición de energía - Gestión integral de SFA 	<ul style="list-style-type: none"> - THD bajo. - Eficiencia 98% - Gestión avanzada de baterías - Calculo nivel carga - Autonomía 	<ul style="list-style-type: none"> - Costosos. - Solo se usan en SFA. - Funcionamiento óptimo depende del nivel de carga de las baterías 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación aislada hasta de 300 kW - Rango de potencia de equipos: de 2 hasta 8 kW 	
Inversor-Cargador	<ul style="list-style-type: none"> - Gestiona el flujo energético en los SFV híbridos. - Tecnología que detecta el estado de carga de la batería. - Seguro y confiable 	<ul style="list-style-type: none"> - Abastece de energía sin interrupciones - Actuar como cargadores - Alta eficacia - Autonomía 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología emergente - Vida útil media. - Alto costo por kW 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones híbridas hasta de 100 kW. - Rango de potencia de equipos: de 2 hasta 8 kW 	

5.3 REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga es un dispositivo electrónico que controla el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos fotovoltaicos hacia el banco de baterías y así mismo el flujo de la corriente de descarga que va desde las baterías hacia los aparatos eléctricos³⁴. En el ejercicio de recargar las baterías, el regulador de carga es determinante para evitar la emisión excesiva de la corriente de carga que cuando fluye incontrolablemente hacia las baterías produce sobre-tensión en sus extremos, entonces la impedancia del electrolito decrece drásticamente y la corriente entre los terminales crece exponencialmente produciendo la gasificación del mismo. Éste equipo en la descarga también es importante porque previene el agotamiento total de las baterías abriendo el circuito a determinado nivel de tensión³⁵.

Los reguladores de carga típicos para controlar el exceso de carga y descarga de las baterías ejercen un sistema de control de tipo lineal serie y lineal paralelo. Los de control serie su principio de funcionamiento se basa en un interruptor conectado en serie entre el SFV y el banco de batería y en el mismo orden entre el acumulador y la carga. Cuando las baterías alcanzan la tensión de corte de sobrecarga o la tensión de corte de sobre-descarga el regulador interrumpe el flujo de intensidad desde los módulos fotovoltaicos hacia las baterías o desde las baterías hacia la carga. El regulador control paralelo actúa disipando la plétora de energía por medio de un MOSFET interconectado en paralelo con el conjunto de paneles y el banco de baterías; entonces cuando éstas han alcanzado su valor de voltaje de corte de sobrecarga el transistor impide el flujo de corriente hacia el acumulador manteniendo estable los bornes del banco acumulador³⁶.

³⁴ M. Pareja Aparicio, Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada, pp. 34-37. 2009.

³⁵ Ll. Jutglar Banyeres, Generación de energía solar fotovoltaica, pp. 53-56. 2012.

³⁶ M. Pareja Aparicio, Radiación solar y su aprovechamiento energético, pp. 114-117. 2010.

Actualmente los reguladores de carga de última generación incluyen una etapa adicional de control PWM que mejora la regulación de tensión del banco de baterías logrando aumentar la eficiencia energética de éstas gracias a que las mantiene a plena carga. Lo anterior se lleva a cabo porque antes de llegar a la tensión de sobrecarga el control PWM realiza ciclos de conexión y desconexión entre el conjunto de módulos fotovoltaicos y el acumulador manteniendo estable un nivel de tensión, controlando la intensidad de la corriente de carga pero sin llegar a sobrecargar las baterías³⁷.

Los reguladores de última generación introducen microprocesadores que ayudan a que se pueda realizar funciones de monitorización y control de tal manera que son capaces de adaptarse a distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Estos poseen soluciones tecnológicas que ayudan a maximizar el potencial de generación en un 30%³⁸ promoviendo la óptima gestión de la energía producida en los paneles. Se caracterizan por cumplir funciones como: MPPT, regulación térmica, monitorización y operación digital-remota; todo esto soportado en redes inteligentes que garantizan confiabilidad y seguridad al sistema generador³⁹.

En la Tabla 8 se describen las características de los reguladores de carga. En el Anexo C, se presenta la base de datos de las empresas líderes del mercado de reguladores de carga y en el Anexo G, se incluye el cuadro de datos técnicos de los reguladores de carga de última tecnología disponibles en el mercado.

³⁷ A. SÁNCHEZ. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012.

³⁸ Catálogo de productos Out Back. Reguladores de carga con seguimiento MPPT FLEXMAX. Wellington, USA 2014.

³⁹ LI. Jutglar Banyeres, Generación de energía solar fotovoltaica, pp. 53-56. 2012.

Tabla 9. Características generales de los Reguladores de carga.

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones	Marcas Líderes
Control Serie	<ul style="list-style-type: none"> - Corta el suministro de energía a las baterías antes de que la tensión llegue al nivel de sobrecarga. - Corta el suministro de energía a la carga antes de que la tensión llegue al nivel de sobre-descarga. - Equipos versátiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo cero de potencia cuando se interrumpe la corriente de carga. - Bajo costo. - alta durabilidad - Adaptabilidad a diversas aplicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje nominal igual al del banco de baterías. - Adaptabilidad limitada al crecimiento del SFV. - Los periodos de conexión y desconexión afectan la vida útil de las baterías. 	<ul style="list-style-type: none"> - SFV de gran capacidad de generación de energía eléctrica. <p>P≥10kW</p>	<ul style="list-style-type: none"> - MORNINGSTAR - STECA - ATERSA - MIDNITE - PHOCOS - VICTRON - XANTREX - OUTBACK - BLUE SOLAR
Control Paralelo	<ul style="list-style-type: none"> - Disipa la potencia para eliminar el exceso de energía generada. - Un transistor en paralelo con las baterías es el disipador de la energía excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de interconexión con otros reguladores. - Alta confiabilidad. - Refrigeración pasiva. - Bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere circuito externo para controlar el estado de conducción del transistor. - Voltaje nominal igual al del banco de baterías. 	<ul style="list-style-type: none"> - SFV de pequeña capacidad de generación de energía eléctrica. <p>P≤10 kW</p>	
Control MPPT	<ul style="list-style-type: none"> - Buscan el balance entre voltaje y corriente para que el SFV opere a su máxima potencia. - Gestión eficiente de la energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la producción de energía en un 30%. - Alta precisión - Aumenta la confiabilidad del SFV 	<ul style="list-style-type: none"> - Son más costosos. - Nueva tecnología poco difundida. - Son de mayor tamaño. 	<ul style="list-style-type: none"> - SFV que necesitan alta seguridad y confiabilidad y de alta capacidad de generación. <p>P≥10kW</p>	

5.4 SISTEMA ACUMULADOR DE ENERGÍA

El sistema acumulador de energía es el conjunto de baterías que interconectadas entre sí forman un banco energético. Este sistema supe de energía a los equipos eléctricos cuando el SFV es incapaz de aportar flujo de electrones debido a la deficiencia o ausencia de radiación solar. En el mercado actual de baterías se pueden encontrar varias tecnologías de fabricación pero no todas son de utilidad en los SFV, como es el caso de las de lón-Litio, Níquel-Hierro, Níquel-Zinc y Zinc-Cloro. En ese orden de ideas, se precisa indicar que las baterías de tipo plomo-ácido y Níquel-Cadmio son las que han mostrado tener una adecuada gestión y desempeño en la recepción y emisión de la carga almacenada.

Las baterías de plomo-ácido se componen de pequeñas celdas de 2[V] que son interconectadas en serie para elevar la tensión a 6, 12 o 24[V] ^[40] o en paralelo para aumentar su capacidad amperimétrica. Estas celdas, constan de dos placas paralelas de polaridad opuesta separadas por un dieléctrico y sumergidas en un electrolito de ácido sulfúrico. El electrolito es el medio conductor de la corriente entre las placas y su régimen de conducción es afectado por la temperatura. Entonces si la temperatura de operación es baja, el electrolito tiende a coagularse o quizás a congelarse y su impedancia aumenta, en consecuencia se disminuye la capacidad de conducción y almacenamiento de energía, y si la temperatura de operación es alta, por cada 10°C en aumento hay un 30% de reducción en la vida útil de la batería⁴¹; por tal razón se recomienda tener las baterías en un ambiente entre 20 y 25°C que es la temperatura óptima para acumuladores en uso.

⁴⁰ A. SÁNCHEZ. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012, p. 10.

⁴¹ Ibid., p. 25

Las placas de los electrodos están conformadas por una rejilla recubierta de material activo. La rejilla es una estructura sólida hecha en Plomo aleado generalmente con Antimonio o Calcio los cuales pueden definir el ciclado de la batería. De esta forma, se tiene ciclo profundo alto para aleaciones con Antimonio y ciclo bajo para las aleaciones con Calcio. Sin embargo, las placas son las que determinan el ciclo de la batería. Si las placas son gruesas se tiene ciclos con descargas profundas durante extensos intervalos de tiempo. Por el contrario cuando las placas son láminas finas apiladas sucede lo opuesto. De la recombinación de las baterías de calcio y antimonio resulta las baterías híbridas, en las cuales los electrodos son aleados con los elementos mencionados.

Las baterías de electrolito inmobilizado o VRLA (*Valve Regulated Lead Acid battery*) son otra clase de los acumuladores de plomo-ácido, en donde se destacan las de gel y las de fibra de vidrio adsorbida o AGM (*Absorber Glass Mat*). En las baterías de gel el electrolito es gelificado cuando se le agrega dióxido de silicio permitiendo elevar su vida útil porque previene el gaseo, garantizando más ciclos de carga y descarga. Los acumuladores AGM son caracterizados porque la fibra de vidrio microporosa inmobiliza el electrolito ayudando a que se adhiera más a las placas y en efecto su resistencia interna es baja, permitiendo recibir y entregar mayores flujos de corrientes durante el proceso de carga y descarga.

Las baterías de Ni-Cd estructuralmente son similares a las de tipo Pb-ácido, con la diferencia que los electrodos positivos están hechos de hidróxido de níquel (NiO(OH)) y los negativos de cadmio, el electrolito es una sustancia de hidróxido potásico más agua y la tensión de una celda es de 1,2 [V] ^[42]. En estas baterías las variaciones de temperatura no tienen incidencia en su comportamiento, pueden descargarse por completo y presentar sobrecargas sin sufrir daños estructurales y no sufren de sulfatación en los electrodos.

⁴² Á. A BAYOD RÚJULA. Sistemas fotovoltaicos. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España 2009, p. 133

En el proceso de descarga el NiO(OH) se transforma en NiO(OH)_2 y el cadmio cambia a hidróxido de cadmio y cuando se carga nuevamente el efecto es reversible volviéndose los compuestos químicos a su estado inicial. Sin embargo, si la batería es descargada repetidamente a un valor por encima de su descarga total, surgirá el efecto memoria en el cual el ciclo del acumulador queda memorizado a ese nivel de carga y después no podrá almacenar energía al valor inicial perdiendo capacidad de almacenamiento. Este tipo de baterías son llamadas de placas “sintered” y aquellas que no presentan el efecto de memoria son las llamadas de placas “pocked” las cuales requieren periódicamente adición de agua.

En la Tabla 9, se presentan las características más importantes de las distintas baterías existentes para SFV y finalmente en el Anexo D se muestra la base de datos de las empresas líderes del mercado de baterías.

Tabla 10. Características importantes de las baterías.

TIPO		CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES	MARCAS
Pb-ácido	Pb-Sb	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza Sb aleado con Pb para la formar la rejilla. - Son abiertas con tapones recombinantes que recolectan el O₂ y H₂ para combinarlos en H₂O retornarla al electrolito. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto régimen de descarga. - Buen ciclo profundo. - Operan a alta temperatura - El Sb da fortaleza al Pb - Alta tasa de Ah 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada autodescarga. - Alto mantenimiento - El gaseo aumenta con el tiempo de uso. 	- Aplica a todos los SFA	<ul style="list-style-type: none"> - TROJAN - AKÜSAN - U.S BATTERY - SILICON CPV - POWER SONIC - VOTRONIC - ENERSYS
	Pd-Ca	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza Ca aleado con Pb para la formar la rejilla. - Son de tipo abiertas y selladas. - Debe regularse constantemente la tensión de carga y la temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo mantenimiento. - Baja tasa de autodescarga. - Reduce gaseo y pérdida de agua. - El Ca da fortaleza al Pb. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intolerancia a altas temperaturas. - Ciclo poco profundo - Vida corta por varias descargas profundas 	- Útil para SFA con carga motor.	<ul style="list-style-type: none"> - POWERSAFE - DATASAFE - HAWKER - GÉNESIS - LA ODISEA - VARTA - CYCLON
	Híbridas	<ul style="list-style-type: none"> - Placas positivas tubulares de Ca y placas negativas planas de Sb. - Son abiertas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo mantenimiento - Baja autodescarga. - Buen ciclo profundo. - Alta tasa de Ah 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas de sulfatación. - Alto costo. 	- SFA con carga motor.	<ul style="list-style-type: none"> - UPG - OUTBACK POWER
VRLA	GEL	- Usa la recombinación interna para minimizar el escape de gases	- Soportan descargas profundas en ambientes extremos	- Alto costo.	- Aplica a todos los SFA	<ul style="list-style-type: none"> - NED ENERGY - WIOSUN - UNION BATTERY
	AGM	- Electrolito cristalino dispuesto entre las placas que minimiza perdida de agua en sobrecarga	- Emiten y absorben más corriente que otras baterías selladas en su carga y descarga	- Alto costo	- Ideales para SFA con conexión a carga AC	<ul style="list-style-type: none"> - WEBEST - HBL POWER

Tabla 10. (Continuación)

TIPO		CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES	MARCAS
Ni-Cd	Sintered	- Electrolito inmovilizado - Tensión de carga y descarga no es un parámetro crítico	- Baja tasa de autodescarga - Buen ciclo profundo - Larga vida	- Presenta efecto memoria - Alto costo por Ah	- SFCR con acumulador de carga -	- SAFT - VARTA - SBS
	Pocket	- Electrolito líquido - Tensión de carga y descarga no es un parámetro crítico	- Baja tasa de autodescarga - Buen ciclo profundo - Larga vida	- Cambio de agua - Alto costo por Ah	- SFV con alta confiabilidad - SFA a intemperie	- CHANGHONG - EMEISA

Fuente: ABELLA⁴³ y DELTAVOLT⁴⁴

⁴³ M.A ABELLA. Energía solar fotovoltaica. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Madrid, 2014

⁴⁴ DELTA VOLT SAC. Baterías para sistemas solares y eólicos. Lima Perú.
Dato de internet: <http://deltavolt.pe/baterias>. Última visita: Julio 21 de 2014.

5.5 CONFIGURACIONES Y APLICACIONES DE LOS SFV.

La energía generada a través de un SFV, se puede configurar de tres formas: conexión directa al sistema de distribución **SFCR**, conexión aislada **SFA** y conexión híbrida **SFCH**. En todos los casos, cada uno de sus componentes juega un papel importante para el óptimo desempeño del sistema generador. El SFCR requiere equipos especiales para su interconexión porque en un principio su generación es en CC. Los SFA son diseñados para alimentar cargas puntuales y son de fácil movilidad, aunque el precio por kWh es más costoso que el generado convencionalmente (hidráulica y térmica). Los SFCH son SFV interconectados con otras fuentes de energía de distintas tecnologías de producción de energía eléctrica.

En la Tabla 10 se presentan los resultados de las consultas en libros especializados en los SFV, en donde se realizó una síntesis y se identificó las configuraciones de las distintas conexiones y sus respectivas aplicaciones como soluciones tecnológicas en los sistemas eléctricos. En los ítems uno y dos se muestran las configuraciones básicas para cargas DC y AC y en los ítems tres, cuatro y cinco se presentan SFA con almacenamiento de energía⁴⁵, para los ítems seis, siete y ocho se exhiben los SFCR⁴⁶, por otra parte en los ítems nueve y diez se presentan los SFCR con cargas aisladas DC, AC y banco de baterías⁴⁷ y finalmente se expone el esquema de un SFCRH⁴⁸.

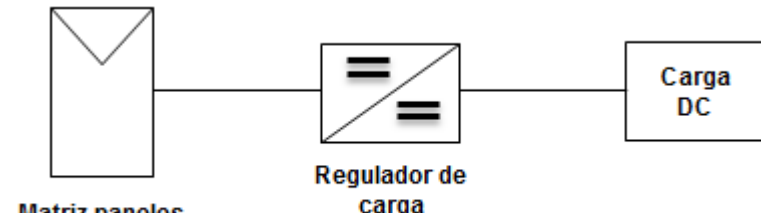
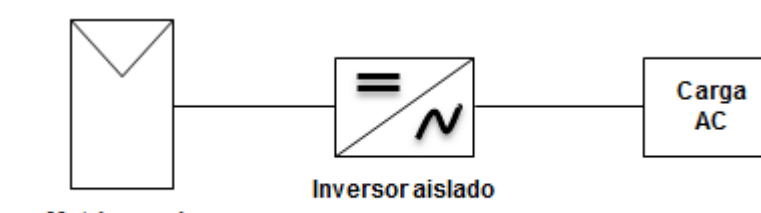
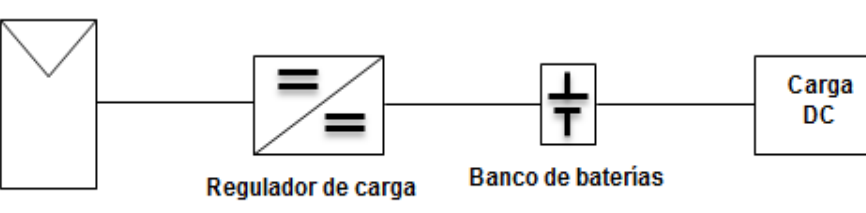
⁴⁵ J.M MENDEZ MUÑIZ, R. CUERVO GARCÍA, Energía solar fotovoltaica. Instituto de tecnología y formación ECA. Madrid 2007, pp. 98-101.

⁴⁶ A. CASTEJÓN, G. SANTAMARÍA, Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid 2010, pp. 111-112.

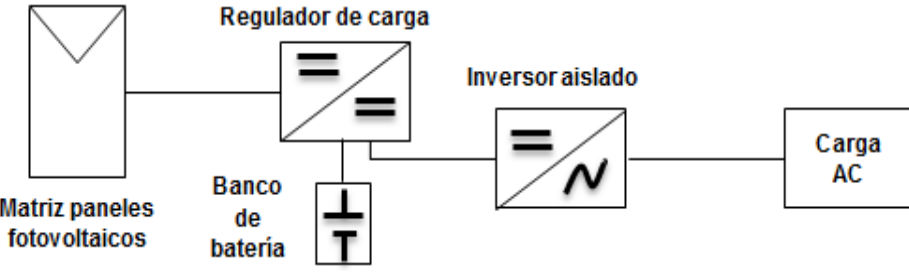
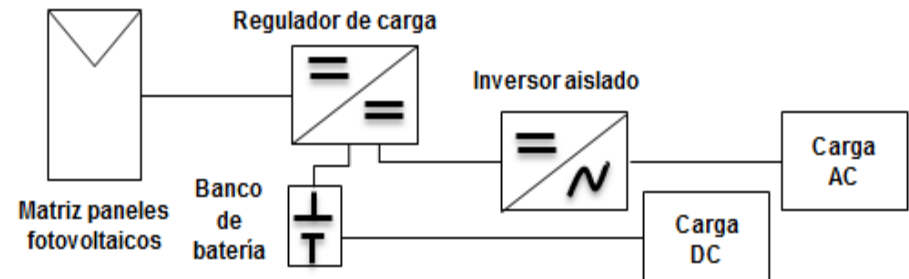
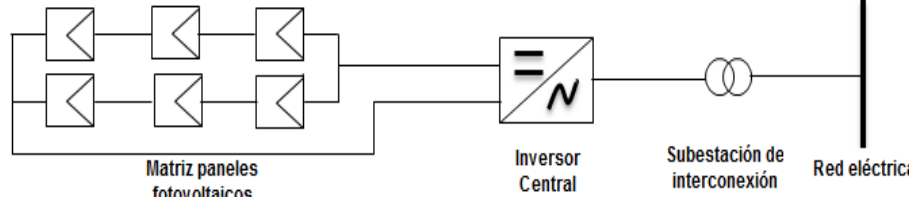
⁴⁷ Catálogo de productos SMA. sunny family 2012, pp. 77-85.

⁴⁸ Ibid. p. 189.

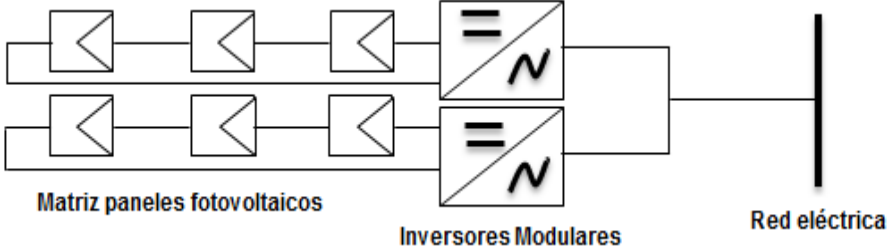
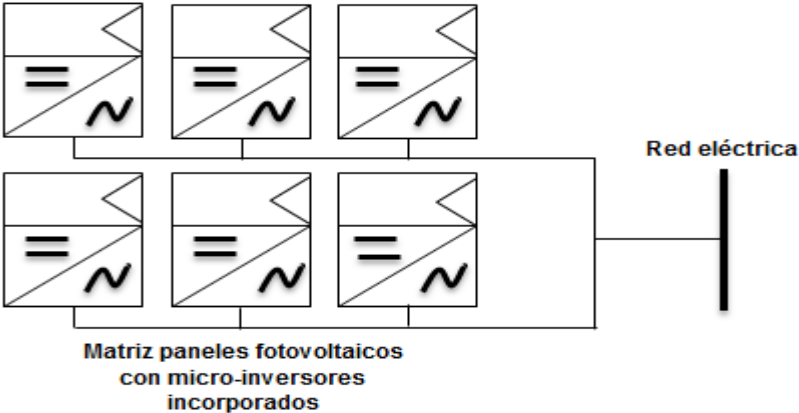
Tabla 10. Configuraciones y aplicaciones de los SFV

Ítem	Configuración	Solución Tecnológica	Aplicaciones
1	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía.	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Regulador de carga</p> <p>Carga DC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pequeños motores DC. - Cargar batería - Aparatos de bajo consumo <p>0,1 W ≤ P ≤ 10 W</p>
2	SFA con cargas AC sin almacenamiento de energía.	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Inversor aislado</p> <p>Carga AC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo H₂O - Señalización - Iluminación - Pequeños motores AC. <p>10 W ≤ P ≤ 10 kW</p>
3	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía.	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Regulador de carga</p> <p>Banco de baterías</p> <p>Carga DC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bombeo H₂O - Motores DC. - Auto eléctrico - Protección catódica - Iluminación - Telecomunicaciones. <p>10 W ≤ P ≤ 10 kW</p>

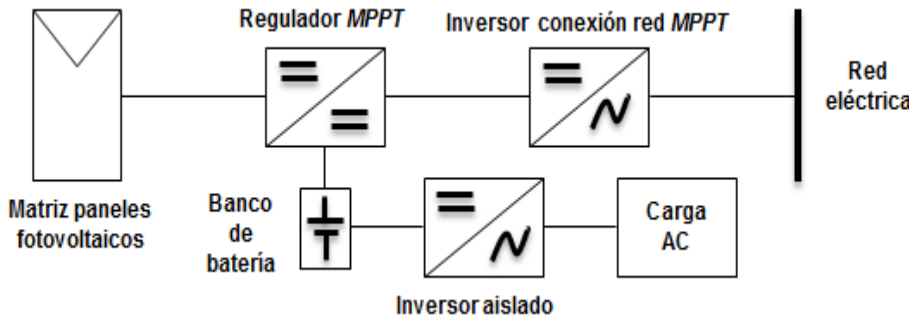
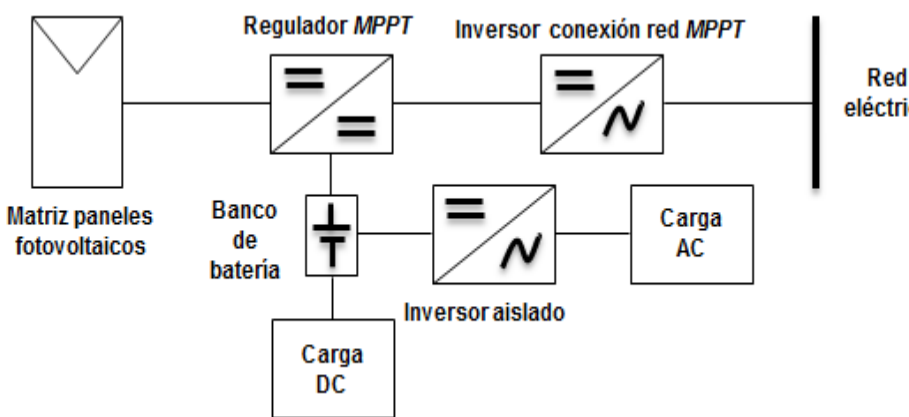
Continuación Tabla 10. Configuraciones y aplicaciones de los SFV

Ítem	Configuración	Solución Tecnológica	Aplicaciones
4	SFA con cargas AC y almacenamiento de energía	 <p>Regulador de carga</p> <p>Inversor aislado</p> <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Banco de batería</p> <p>Carga AC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Electrificación rural y urbana. - Motores AC. - Plataformas marinas. - Refrigeración <p>2 kW ≤ P ≤ 300 kW</p>
5	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía	 <p>Regulador de carga</p> <p>Inversor aislado</p> <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Banco de batería</p> <p>Carga AC</p> <p>Carga DC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios auxiliares en subestaciones. - Electrificación rural y urbana. - Plataformas marinas. <p>2 kW ≤ P ≤ 300 kW</p>
6	SFVCR inversor centralizado	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Inversor Central</p> <p>Subestación de interconexión</p> <p>Red eléctrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de alta potencia. <p>P ≥ 250 kW</p>

Continuación Tabla 10. Configuraciones y aplicaciones de los SFV

Ítem	Configuración	Solución Tecnológica	Aplicaciones
7	SFVCR con inversión descentralizada en cascada	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Inversores Modulares</p> <p>Red eléctrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de generación de alta y media potencia. - Electrificación urbana. <p>P ≥ 10kW</p>
8	SFVCR con inversión descentralizada individual	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos con micro-inversores incorporados</p> <p>Red eléctrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de generación de baja potencia. - Sistemas de generación híbridos. - Electrificación urbana. <p>P ≤ 20kW</p>

Continuación Tabla 10. Configuraciones y aplicaciones de los SFV

Ítem	Configuración	Solución Tecnológica	Aplicaciones
9	SFVCR con derivación a cargas en AC	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Regulador MPPT</p> <p>Banco de batería</p> <p>Inversor conexión red MPPT</p> <p>Inversor aislado</p> <p>Carga AC</p> <p>Red eléctrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Electrificación urbana - Instalaciones industriales - Servicios auxiliares de subestaciones <p>P ≥ 10kW</p>
10	SFVCR con derivación a cargas en AC y DC.	 <p>Matriz paneles fotovoltaicos</p> <p>Regulador MPPT</p> <p>Banco de batería</p> <p>Inversor conexión red MPPT</p> <p>Inversor aislado</p> <p>Carga AC</p> <p>Carga DC</p> <p>Red eléctrica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Electrificación urbana - Instalaciones industriales - Servicios auxiliares de subestaciones <p>P ≥ 10kW</p>

6. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE VANGUARDIA DE POTENCIAL UTILIDAD PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA.

En este capítulo se presentan los resultados de la identificación y evaluación de las soluciones tecnológicas de vanguardia de potencial utilidad para el diseño e implementación de los SFV en Colombia. Inicialmente se analizó el mercado mundial a través de información secundaria obtenida de revistas fotovoltaicas y publicaciones institucionales del gobierno nacional. Se aplicaron encuestas al sector académico, institucional, empresarial del sector energético colombiano y a profesionales en general, con el objetivo de caracterizar el estado actual del arte de los SFV en el país. Los datos recopilados se analizaron y se graficaron en diagramas de barras. Posteriormente se realizó un paralelo entre la información secundaria correspondiente al estado del arte global y los resultados de las encuestas. Finalmente se realizó una síntesis del marco legal regulatorio colombiano y de las empresas dedicadas al diseño, implementación y comercialización de los componentes de los SFV.

6.1 ESTADO ACTUAL DEL MERCADO MUNDIAL DE LOS SFV.

La tecnología fotovoltaica siembra sus principios en aplicaciones espaciales⁴⁹ donde las células fotovoltaicas presentaban mayor eficiencia por la condición de masa de aire en AM0⁵⁰. Sin embargo en el transcurrir del tiempo las investigaciones

⁴⁹ H. Rudnick, Tendencias actuales de precios y tecnologías en plantas de generación fotovoltaica. Pontificia Universidad Católica. Chile. Tomado de http://web.ing.puc.cl/~power/alumno13/fotovolt/Informe%20Final.htm#_Toc358318337

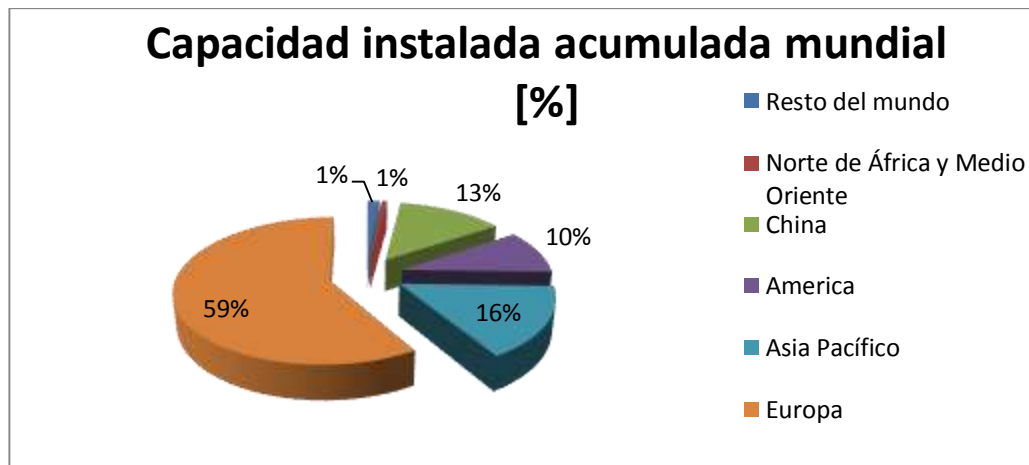
Consultada: 12 de noviembre de 2014.

⁵⁰ A. Castejón & G. Santamaría, Instalaciones solares fotovoltaicas. EDITEX, pp. 14. 2014

en el efecto fotovoltaico han trascendido y los resultados han arrojado un mejoramiento en las eficiencias celulares en condiciones terrestres AM1.5; es así que su desarrollo tecnológico ha permitido la implementación en la generación de energía eléctrica a gran escala.

La producción energética a través de SFV viene experimentando un aumento en su capacidad instalada acumulada mundial. En la primera década del siglo XXI se instalaron 40,33 GW en todo el mundo y para el periodo 2010-2013 se registran 98,52 GW instalados, lo que se traduce en un incremento del 71% con base al total instalado. Actualmente, Europa es la región más influyente del mundo con 81,5 GW instalados hasta el 2013 que representa alrededor del 59% de la capacidad fotovoltaica acumulada. En orden descendente le sigue Asia con 40,6 GW seguido por América con 13,7 GW instalados. La zona asiática está dividida entre China con 18,6 GW y la zona de Asia Pacífica (APAC) con 22 GW instalados aproximadamente. En la Figura 2 se muestra la cuota porcentual de cada región respecto a la energía total instalada de SFV a nivel mundial, tomando como base los 138,86 GW emplazado hasta el 2013⁵¹.

Figura 2. Cuota de la capacidad instalada acumulada mundial de SFV.

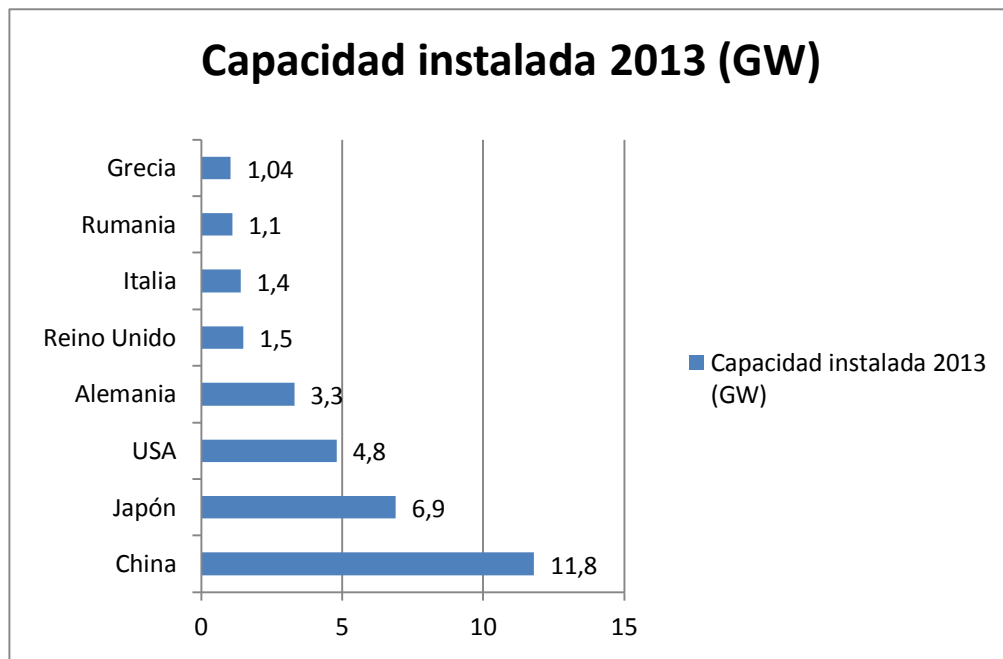


Datos tomados de EPIA 2014.

⁵¹ G. Masson, Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. EPIA pp.17

En términos generales, el panorama mundial del mercado de la tecnología fotovoltaica presenta un auge en sus diversas aplicaciones. En el 2013 las instalaciones de los SFV superaron los 38 GW. China registró el mayor potencial ejecutando 11,8 GW, seguido por Europa con 10,98 GW implementados, en la zona APAC se instalaron 9,8 GW con Japón a la cabeza (6,9 GW) y en América 5,36 GW liderada por USA con 4,8 GW. Los países europeos más destacados son: Alemania con una capacidad instalada de 3,3 GW continuado por Reino Unido e Italia con 1,5 GW y 1,4 GW respectivamente, también figuran Rumania con 1,1GW y Grecia 1,04 GW aproximadamente⁵². En la Figura 3 se resume gráficamente la implementación de SFV en el 2013.

Figura 3. Países con mayor capacidad instalada de SFV en 2013.



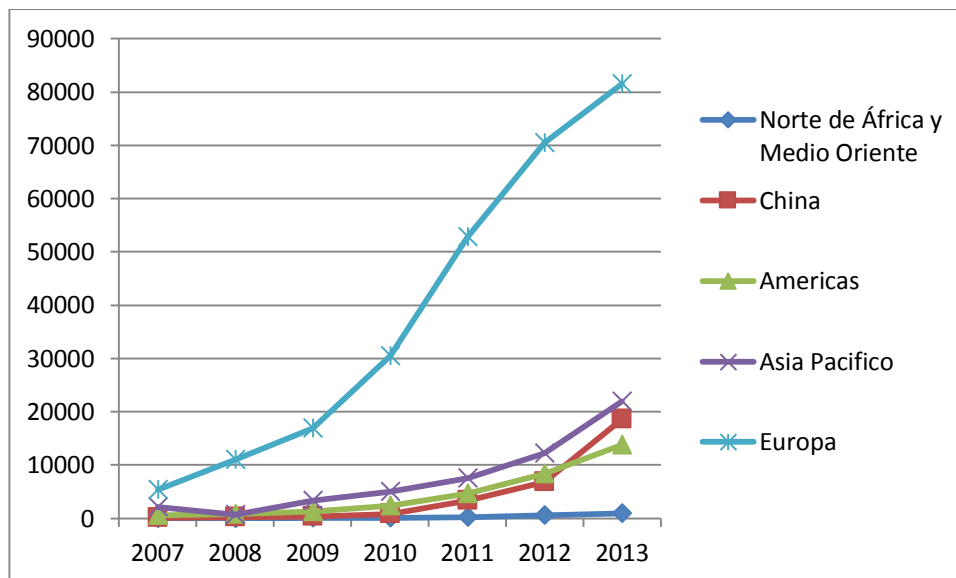
Datos tomados de EPIA 2014.

⁵² Ibid, pp. 18.

Durante el periodo 2004-2012 la región europea fue líder en la ejecución de proyectos fotovoltaicos, sin embargo en ese último año muestra una inflexión respecto al 2011, registrando una disminución en la capacidad instalada y a partir de 2013 la zona asiática viene incursionando fuertemente en el mercado de SFV, mostrando tener acaparado el 56% del mercado mundial fotovoltaico, superando a Europa que presentó el 29%, seguido por América con un 14% de las instalaciones totales a nivel global⁵³.

Existe la tendencia de explotación del recurso solar en otras regiones de gran potencial de instalación de SFV, como por ejemplo: América del Sur, Norte de África y Medio Oriente (MEA). Debido al crecimiento social e industrial que vienen experimentando estas regiones, las políticas energéticas se están orientando a la implementación de proyectos fotovoltaicos en aras de suplir la demanda de energía eléctrica proyectada. En la Figura 4 se muestra la Evolución de las instalaciones de SFV según la región.

Figura 4. Evolución de las instalaciones de SFV según la región.



Datos obtenidos de EPIA 2014-2014.

⁵³ Ibid. pp 15-19.

6.2 ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA.

La tecnología fotovoltaica viene presentando avances en su implementación, entre los cuales se destaca el hecho de brindar soluciones tecnológicas efectivas para suplir la demanda de energía eléctrica residencial, comercial e industrial en diferentes lugares del mundo. Colombia cuenta con un potencial energético solar promedio diario multianual aproximado de 4,5 [kWh/m²] [⁵⁴], que es un valor representativo para el aprovechamiento del recurso solar y abre un abanico de posibilidades para los SFV como una alternativa para suplir la demanda energética en las ZNI y/o para la producción de electricidad en centrales de alta potencia.

El estado actual de la tecnología fotovoltaica en Colombia, se analizó a través de la documentación publicada por las instituciones gubernamentales y de la recopilación de información obtenida por medio de encuestas aplicadas a los segmentos demográficos siguientes: empresas de servicios de SFV, empresas del sector energético eléctrico colombiano, académicos e investigadores en el área de la energía eléctrica y profesionales en general. Con la ayuda de los directorios empresariales se obtuvo el listado de las empresas de servicios en energía eléctrica convencional y de SFV. Se consultaron las páginas web de las universidades que tienen programas de ingeniería eléctrica y grupos de investigación con estudios orientados a los sistemas de generación de energía por medio de fuentes renovables y se encuestaron a cien profesiones a nivel nacional. Posteriormente se hizo el estudio de los resultados obtenidos.

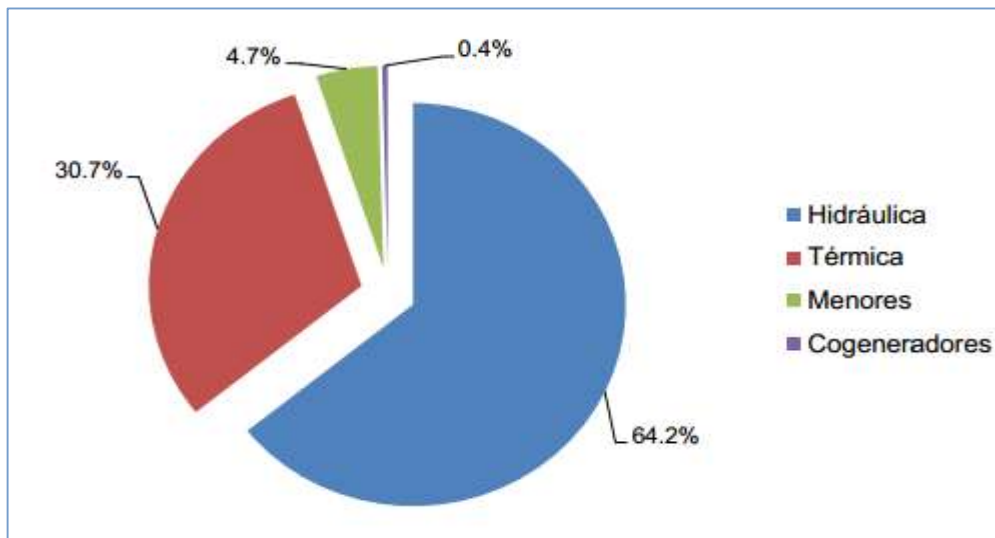
⁵⁴ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Atlas de Radiación Solar de Colombia. Bogotá: UPME - IDEAM.2005.

6.2.1 Análisis político de la tecnología fotovoltaica en Colombia.

En

Colombia en el 2013 se registró una capacidad efectiva neta instalada de 14 426.5 MW. Las principales fuentes de generación son: hidroeléctricas con 9265 MW instalados, seguida por las termoeléctricas (carbón y gas) 4426 MW, grupo de plantas menores 674.2 MW y sistemas de cogeneración 61.3 MW⁵⁵. En el conjunto de plantas menores se encuentran las tecnologías siguientes: fotovoltaica, biomasa, PCH, eólica y plantas diésel y en total representan el 0,4% de la capacidad efectiva instalada en Colombia⁵⁶. En la Figura 5 se muestra el aporte porcentual de cada tecnología de generación en el total producido.

Figura 5. Participación por tecnología de generación en la capacidad efectiva neta instalada en Colombia 2013.



Fuente. Plan de expansión UPME 2013-2027.

⁵⁵ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2013-2027. Bogotá 2013.

⁵⁶ Ibid.

Según la UPME, hasta el 2009 la instalación neta de los SFV era de 9 MW ^[57] con una implantación promedio anual de 300 kW/año. Asumiendo que este valor se ha mantenido constante en los últimos años, se puede decir que actualmente la ejecución de proyectos fotovoltaicos en Colombia representa el 0.19% de la capacidad total instalada en América y el 0,03% de los SFV implementados en el mundo⁵⁸. La razón fundamental es porque aunque el país tiene un alto valor en el recurso solar, las políticas energéticas están orientadas a la generación hídrica y térmica. Para el año 2022 la proyección de implementar nuevas plantas generadoras está direccionada a ejecutar la instalación de diecinueve hidroeléctricas y cinco termoeléctricas que suman 13494.8 MW y 863.9 MW respectivamente⁵⁹. Demostrando que en el mediano plazo que la tecnología fotovoltaica no hace parte de las opciones para solventar la demanda eléctrica nacional del SIN.

Se realizó una encuesta a empresas de generación y distribución de la energía eléctrica en Colombia para saber si existe la intención de masificar e implementar los SFV como fuente alternativa de energía, así como la voluntad del gobierno nacional para tal fin. Se halló que el 75% de estas entidades consideran que la tecnología fotovoltaica puede aportar soluciones energéticas a la demanda actual de electricidad en el país y el 100% coincide en que teniendo en cuenta la tendencia global de implementar fuentes de energías renovables la empresa invertiría en SFV para generar a gran escala, con el objetivo de interconectarse al SIN. Empero, argumentan no asumir el riesgo de invertir en una tecnología que aún no está regulada y opinan que es importante que el gobierno nacional debe crear políticas para regular la implementación de los SFV en Colombia.

⁵⁷ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Cartagena, 26 de junio de 2014.

⁵⁸ G. Masson, Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. EPIA pp.17

⁵⁹ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2013-2027. Bogotá 2013.

Analizando el entorno político de la energía eléctrica en Colombia, se encontró que el gobierno nacional a través de sus instituciones competentes está promoviendo el desarrollo y utilización de los SFV como una fuente alternativa para abastecer la necesidad de electricidad, e incentiva su integración al mercado eléctrico, su participación en las ZNI y en otras aplicaciones tecnológicas que garanticen el abastecimiento eléctrico de manera confiable y segura⁶⁰. Fuentes de financiamiento como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para las ZNI), FAER (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas) y el SGR (Sistema General de Regalías) han sido creadas por el gobierno colombiano con el objetivo promocionar la ejecución de SFV.

La interlocución para el despliegue de la legislación energética en materia de energías renovables entre las entidades gubernamentales y las empresas de servicio eléctrico es deficiente y no ayuda a desarrollar la ejecución de SFV en Colombia. La tecnología fotovoltaica promete tener un incremento en sus aplicaciones gracias a que a nivel legislativo la implantación de SFV en el país tiene como finalidad “establecer líneas de acción para el acatamiento de compromisos asumidos por Colombia en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de GEI”⁶¹. Esto compromete a las empresas a aunar esfuerzos para invertir en la implantación de SFV en el largo plazo. En la Tabla 11 se resume el marco legal, en la Tabla 12 el marco reglamentario y en la Tabla 13 el marco normativo colombiano para la tecnología fotovoltaica.

⁶⁰ COLOMBIA. Congreso de la Republica de Colombia. Ley 1715, Mayo 13 de 2014. Bogotá, 2014.

⁶¹ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Cartagena, 26 de junio de 2014.

Tabla 13. Marco legal de los sistemas fotovoltaicos en Colombia.

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
Ley 1715, Mayo 13 de 2014	Tiene como objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico y participación en las ZNI.
Ley 697 de octubre 3 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Artículos 9 y 10.
Decreto 3450 de 2008	Por el cual se dictan medidas tendientes al uso racional y eficiente de la energía eléctrica
Ley 143 de 1994	Crea el régimen para la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional.

Tabla 14. Marco reglamentario de los sistemas fotovoltaicos en Colombia.

REGLAMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Resolución CREG 004 de 2013	Complementación de la resolución CREG 091 de 2007. Establece la remuneración de inversiones, gastos de administración, operación y mantenimiento para SFCR.
Resolución CREG 057 de 2009	Actualización de la resolución CREG 091 de 2007. Actualiza los costos de inversión utilizados para remunerar las actividades de generación y distribución en ZNI.
Resolución CREG 072 de 2013	Actualización de la resolución CREG 091 de 2007. Establece el cargo máximo para la remuneración de los gastos de administración operación y mantenimiento para los SFV.
Estatuto tributario Artículo 428.	La importación de equipos destinados al desarrollo de proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyan a reducir la emisión de los GEI y por lo tanto al desarrollo sostenible.
NTC 2050 sección 690.	Las disposiciones de esta sección se aplican a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica.
Resolución 90708, RETIE 30/08/2013.	Los paneles solares fotovoltaicos para proveer energía eléctrica a instalaciones domiciliarias o similares y establecimientos públicos, deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional y demostrarlo mediante <i>Certificado de Conformidad de Producto</i> expedido por un organismo de certificación acreditado.

Tabla 14. Marco normativo de los sistemas fotovoltaicos en Colombia.

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
NTC 2959, 18/09/1991	Tiene como objeto mostrar una metodología para la presentación de la información técnica relacionada con la selección de baterías para el almacenamiento de energía en SFV.
NTC 5627, 29/10/2008	Establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de SFV. También presenta la calificación de los sistemas fotovoltaicos, basado en lo especificado por la norma NTC 2883 y NTC 5464.
NTC 4405, 24/06/1998	Hace referencia a la metodología para la evaluación de la eficiencia de los SFV, distribuyéndose en tres etapas: etapa de paneles o módulos, etapa de regulación y etapa de acumulación.
GTC 114, 01/12/2004	Establece pautas sobre las especificaciones y características técnicas que se deberían tener en cuenta en el proceso de selección, instalación, operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean para suministrar energía a las zonas rurales presentes en Colombia.
NTC 5710, 30/09/2009	Establece algunos métodos para proteger los SFV de sobretensiones, independiente si son SFA, SFCR.
NTC 2775, 24/08/2005	Energía solar fotovoltaica. Terminología y definiciones.
NTC 5513, 29/08/2007	Describe los procedimientos de medida de la característica corriente-voltaje (I-V) para celdas solares de silicio cristalino, empleando luz natural o simulada. Establece requisitos generales para efectuar las medidas.
NTC 5678, 24/6/2006	Describe los procedimientos de medida en sitio de las características de campos fotovoltaicos de silicio cristalino y la extrapolación de estos datos a condiciones estándar de medida o a otros valores de irradiancia y temperatura.
NTC 5512, 29/8/2012	Describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina.
NTC 5509, 29/10/2008	Define un ensayo que permite determinar la resistencia de un módulo fotovoltaico cuando es expuesto a radiación ultravioleta (UV).
NTC 2883, 26/07/2006	Referencia a los requisitos establecidos para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre y para la operación en largos periodos de tiempo en climas moderados.
NTC 5710, 30/09/2009	Establece algunos métodos para proteger los SFV de sobretensiones, independiente si son SFA, SFCR.
NTC 5549, 16/11/2007	Brinda una visión general de los SFV terrestres generadores de potencia y de los elementos funcionales que los constituye.

Tabla 14. (Continuación)

REGLAMENTACIÓN	DESCRIPCIÓN
NTC 5287, 15/07/2009	Suministra la información necesaria referente a los requisitos de las baterías que se utilizan en los SFV y de los métodos de ensayo típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías.
NTC 5433, 30/08/2006	Contiene información sobre la configuración de sistemas con módulos fotovoltaicos para garantizar que estén constituidos de una manera óptima y segura.
NTC 2959, 18/09/1991	Tiene como objeto mostrar una metodología para la presentación de la información técnica relacionada con la selección de baterías para el almacenamiento de energía en SFV.
NTC 5627, 29/10/2008	Establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de SFV. También presenta la calificación de los sistemas fotovoltaicos, basado en lo especificado por la norma NTC 2883 y NTC 5464.
NTC 4405, 24/06/1998	Hace referencia a la metodología para la evaluación de la eficiencia de los SFV, distribuyéndose en tres etapas: etapa de paneles o módulos, etapa de regulación y etapa de acumulación.
NTC 5464, 22/12/2006	Indica los requisitos, según la norma IEC 721-2-1, para la clasificación del diseño de los sistemas de módulos fotovoltaicos de lámina de delgada, que son diseñados principalmente para operar en largos periodos de tiempo y en climas moderados.

Fuente. Autores del proyecto. Datos obtenidos de: UPME, NTC 2050, RETIE, CREG y CIDET.

6.2.2 Análisis académico de la tecnología fotovoltaica en Colombia.

Para analizar la tecnología fotovoltaica en Colombia desde la perspectiva académica, se encuestaron a docentes universitarios e investigadores del sector eléctrico en Colombia. A través de las universidades con facultades de ingeniería eléctrica se contactó al segmento demográfico ya mencionado, se les aplicó la encuesta que tiene como objetivo saber la percepción frente a los SFV y también la intención de querer generar investigación, desarrollo, innovación y alta tecnología a partir de la tecnología fotovoltaica.

En el estudio realizado se encontró que el 100% de los académicos consideran que es necesario que se invierta en investigación orientada al desarrollo e implementación de la tecnología fotovoltaica así mismo que los SFV pueden aportar soluciones energéticas a la demanda actual de energía eléctrica en Colombia. En un plano no tan optimista el 50% cree que el país está preparado social y tecnológicamente para la implementación masiva de SFV. Sin embargo el 65% está de acuerdo con que el país está en la capacidad de desarrollar innovación y alta tecnología en sistemas de generación de energía eléctrica a partir del estado actual de la tecnología fotovoltaica. En ese mismo orden existe confianza en los servicios de diseño e instalación de SFV que algunas empresas ofrecen actualmente.

También se halló que el 90% cree que la tecnología fotovoltaica es una oportunidad de desarrollo empresarial en Colombia y que el gobierno nacional debería apoyar e incentivar la implementación de SFV, teniendo en cuenta la tendencia global de implementar fuentes de energías renovables. El 75% piensa que la tecnología fotovoltaica puede convertirse en un renglón estratégico del sector energético que ayude a incentivar el crecimiento de la economía del país; pero solo el 30% conoce las resoluciones CREG que regulan la implementación de los SFV en el territorio colombiano.

Analizando los resultados anteriormente expuestos, se aprecia que en la comunidad científica hay optimismo en la tecnología fotovoltaica, viéndose como una herramienta energética que coadyuvará a jalonar el desarrollo industrial y social del país a través de la generación de electricidad. Pero la legislación colombiana ha sido ineficaz en la difusión de las leyes y normas que promocionan la implementación de SFV. Esto ha creado escepticismo en la posibilidad de poder desarrollar en el país, todas las soluciones tecnológicas que la tecnología fotovoltaica oferta. Por ejemplo la imposibilidad de construir SFVR con inversión centralizada para interconexión al SIN, el escaso recurso para la investigación y la marcada tendencia de construir hidroeléctricas hace tener la percepción de que

políticamente es muy remoto que en Colombia se incentive la explotación del recurso solar para el abastecimiento energético del país.

En Colombia, la educación en tecnología fotovoltaica ha estado a cargo de las facultades de ingeniería eléctrica y en algunos casos facultades de ciencias naturales (física y química) de algunas universidades. La formación académica en términos técnicos, sociales y económicos que se imparten en el pregrado es muy general y en algunas universidades su análisis hace parte del contenido de una asignatura dedicada al estudio de las fuentes no convencionales de energía⁶², pero también hay universidades y empresas que imparten cursos técnicos de SFV como se muestra en la tabla 4. En el país hay centros de investigación de alto nivel, con líneas de estudios dedicadas a la pesquisa en generación fotovoltaica; los cuales han aportado al desarrollo tecnológico de los SFV en el país. En la tabla 14 se muestra los grupos de investigación colombianos con líneas de estudios relacionados a los SFV.

4.2.3 Análisis empresarial de la tecnología fotovoltaica en Colombia. Este aparte tiene como objeto conocer los componentes fotovoltaicos actualmente ofertados en el país e identificar si el nivel tecnológico aplicado a los SFV desarrollados está a la vanguardia de las soluciones tecnológicas ofertadas en el mundo. Se aplicó una encuesta a empresas de servicios fotovoltaicos para conocer la oferta de los componentes fotovoltaicos, sus servicios y planta de profesionales para la ejecución de los proyectos asignados.

⁶² COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.1

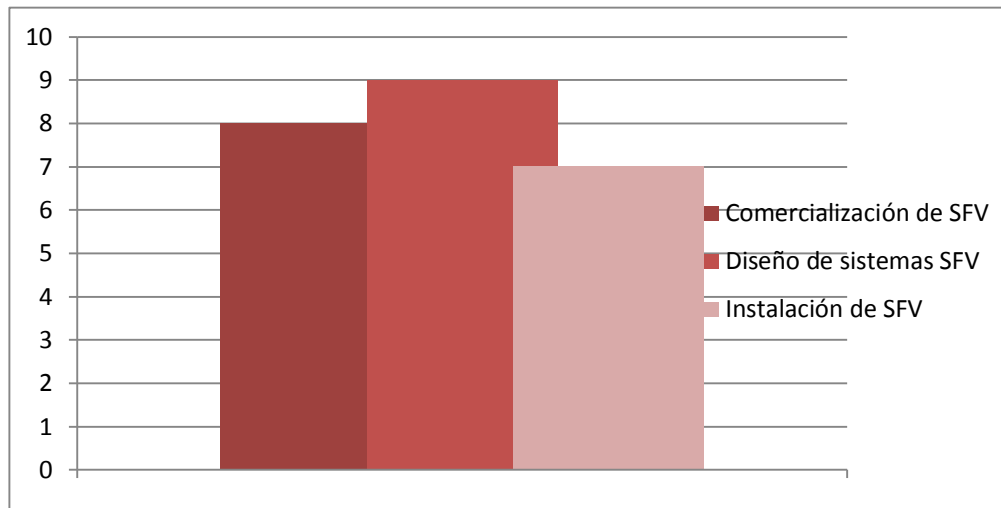
Tabla 14. Grupos de investigación en Colombia relacionados a los SFV.

Nombre	Entidad	Ciudad
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica.	Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga
Grupo de materiales semiconductores y energía solar	Universidad nacional de Colombia	Bogotá
Grupo de Investigación Uso Racional de la Energía y Preservación del Medio Ambiente	Universidad del Norte	Barranquilla
Grupo de Investigación en Sistemas Eléctricos de Potencia.	Universidad del Norte	Barranquilla
Grupo de Investigación en Conversión de Energía	Universidad del Valle	Cali
Grupo de investigación en potencia y energía	Universidad de los Andes	Bogotá
Grupo de Investigación en Sistemas de Potencia UD	Universidad Distrital FJC	Bogotá
Grupo de física del medio ambiente y energía solar	Universidad Distrital FJC	Bogotá
Línea de Investigación en Electrónica de Potencia y Fuentes Alternativas de Energía	Universidad Distrital FJC	Bogotá
Grupo de Investigación Energía y Termodinámica	Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín
Desarrollo de Materiales Fotovoltaicos	Universidad de la Salle	Bogotá
Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería	Universidad de Antioquía	Medellín

De la encuesta se halló que los servicios ofertados por las empresas de energía fotovoltaica en Colombia se dividen entre la comercialización, construcción y diseño. En los resultados se encuentra que algunas empresas ofertan un único servicio y otras compañías servicios mixtos. Hay un 20% que solo se dedica a diseñar, adicionalmente un 10% que solo diseña y comercializa pero no realiza implementaciones de SFV. Entonces determinando lo tres servicios prestados se encontró que hay un 90% que ofertan servicios de diseño SFV, un 80% que comercializa los dispositivos eléctricos del SFV y un 70% hacen instalaciones de SFV. También se encontró que un 10% fabrica inversores y otro 10% produce

paneles de mc-Si. En la Figura 6 se muestra porcentualmente las ofertas de servicios de las empresas fotovoltaicas en el país.

Figura 6. Ofertas de servicios de las empresas fotovoltaicas en Colombia.



El total de las empresas que comercializan los componentes del SFV ofertan los paneles fotovoltaicos y los reguladores de carga y el 88% ofrecen las baterías y los inversores DC/AC. En la comercialización de paneles fotovoltaicos está ofertada así: 75% mc-Si, 100% m-Si, 50% a-Si, 25% TeCd, 25% CIGS y 13% μ -Si. Para los inversores la oferta es la siguiente: 88% inversores de conmutación forzada, 50% Inversores de conmutación natural, 25% micro-inversores y 25% inversores-cargadores. En los reguladores de carga se tiene que el 100% de las empresas venden reguladores control PWM y el 25% registra oferta de reguladores seguidor MPPT. Del total de las compañías que ofertan baterías se encontró lo siguiente: el 75% vende acumuladores de plomo ácido, el 38% de GEL, el 25% AGM y el 13% de Ni-Cd. El 63% de las comercializadoras, importa los equipos desde la fábrica, destacando su procedencia desde China, Alemania, Japón y USA. En la Figura 7 se presentan los equipos ofertados y en las Figuras 8, 9, 10 y 11, las tecnología de los dispositivos del SFV y en la Figura 12 los países origen de las importaciones.

Figura 7. Equipos del SFV ofertados en Colombia.

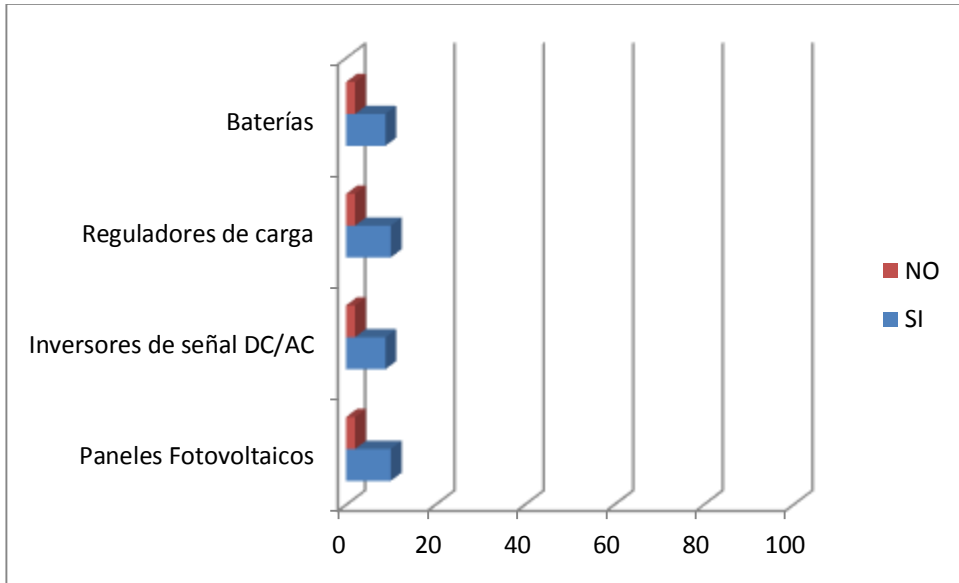


Figura 8. Tecnología de paneles fotovoltaicos ofertados en Colombia.

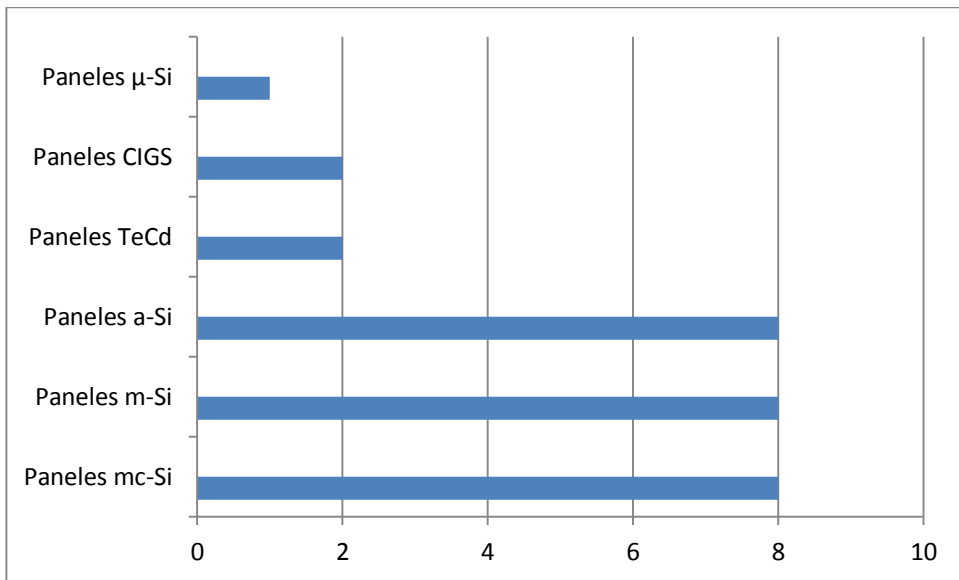


Figura 9. Tecnología de inversores DC/AC ofertados en Colombia.

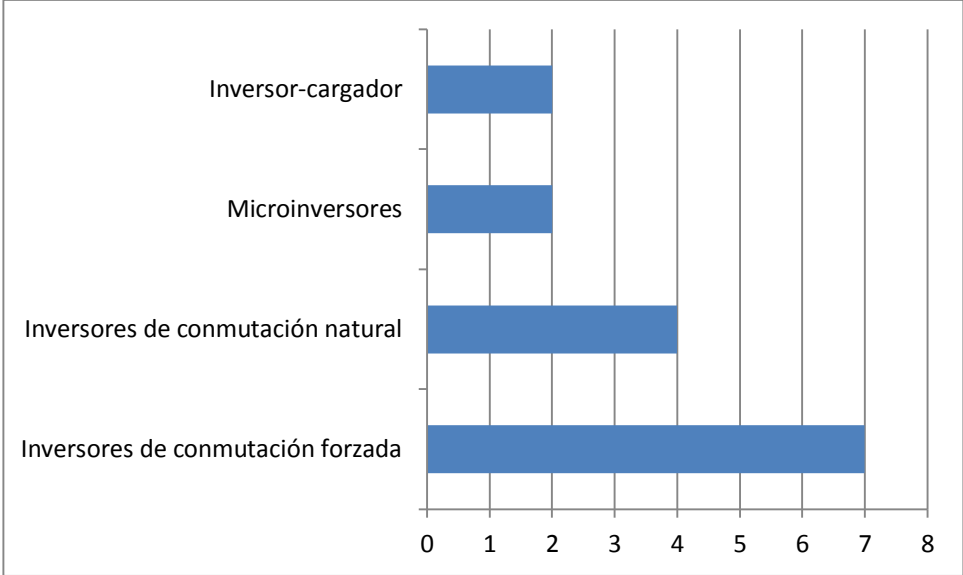


Figura 10. Tecnología de reguladores de carga ofertados en Colombia.

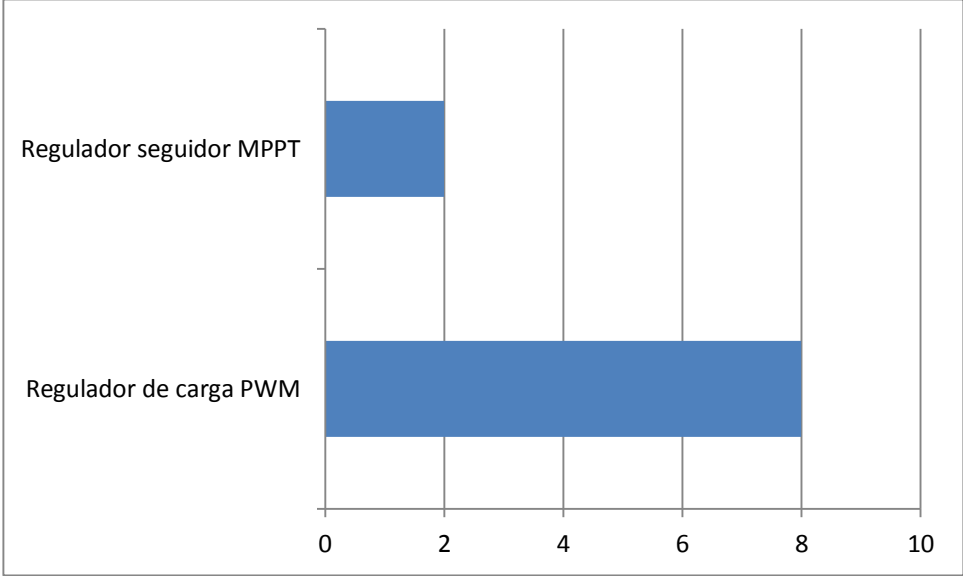


Figura 11. Tecnología de baterías ofertadas en Colombia.

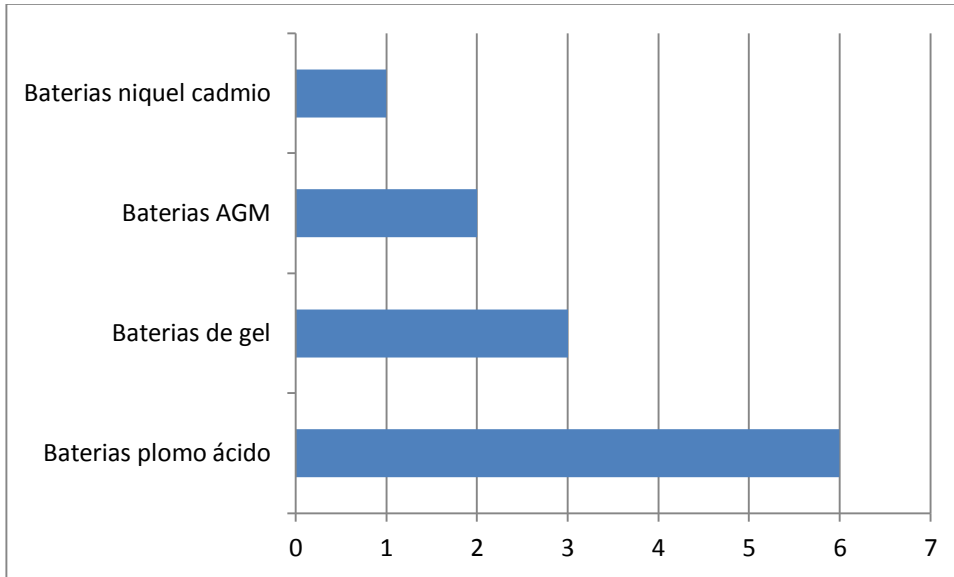
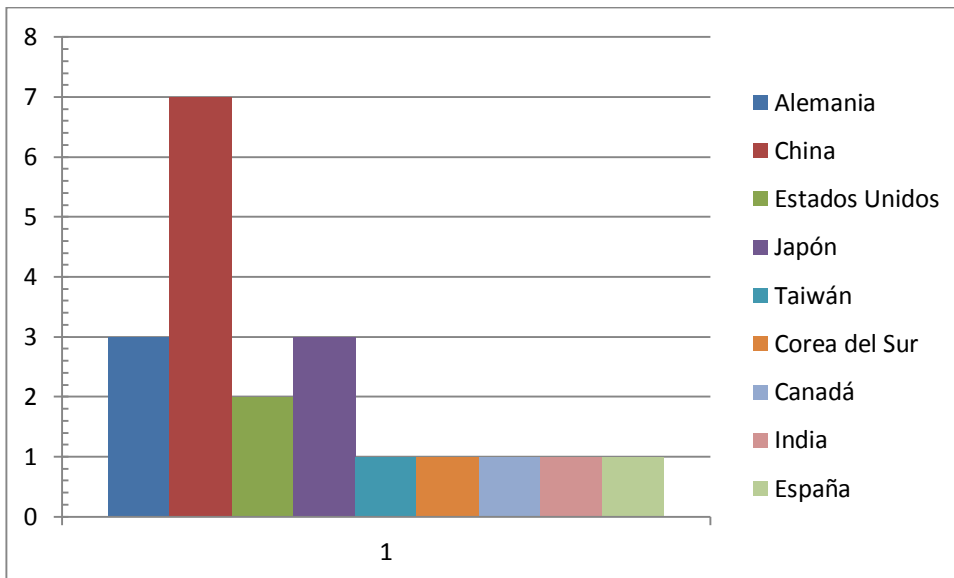
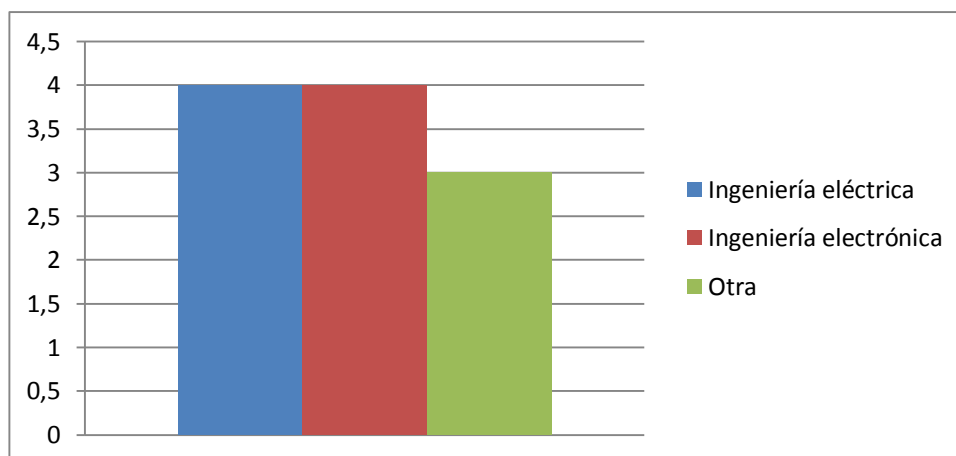


Figura 12. Países origen de las importaciones.



Analizando los resultados obtenidos al encuestar las empresas fotovoltaicas se observa que en Colombia la oferta de los componentes fotovoltaicos es total, se pueden hallar componentes fotovoltaicos de última tecnología que posibilitan la construcción de SFV de alta calidad. Sin embargo no más del 25% de las empresas ofrecen ésta clase de equipos, los cuales prestan servicios más integrales que los comúnmente comercializados. Teniendo en cuenta que el 80% de las compañías en el país comercializan dispositivos fotovoltaicos se concluye que en el país los electricista presentan dificultades para encontrar los dispositivos de vanguardia que les posibilite realizar soluciones tecnológicas de punta. Adicionalmente se atribuye que el 50% de las compañías no incluyen en su nómina a ingenieros electricista que promuevan la correcta gestión y desarrollo de los proyectos de SFV tal como lo indica la reglamentación legal colombiana⁶³. En la Figura 13 se muestra la planta profesional encargado de realizar los diseños de los SFV, en la Tabla 16 muestra las empresas de SFV en Colombia.

Figura 13. Planta profesional encargado de realizar los diseños de los SFV



⁶³ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía, Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Resolución No. 90708 de Agosto 30 de 2013. pp, 124.

Tabla 15. Empresas de servicios de sistemas fotovoltaicos en Colombia.

Empresa	Ciudad	Dirección	Teléfono	Página Web	Correo
ECOL ENERGÍA SAS	Cali	Cra 35 # 19-40	(2)3707134 (2)6535797	info@ecolenergia.com	info@ecolenergia.com
APROTEC	Cali	CI 15 BN 9 AN-42	(2) 4034246	http://www.aprotec.com.co	info@aprotec.com.co
BONSOLAR S.A	Jamundí	Las Mercedes Casa 252	(2)5900527 3175004445	http://www.bonsolar.com.co	info@bonsolar.com.co
AMPASOLAR	Piedecuesta	Cra 15, #7- AN 29	(7) 6650479	http://www.ampasolar.com	ampasolar@gmail.com
GIE SAS	Bogotá	Calle 111, #51-30	(1) 4660161	http://www.gie.com.co/	info@gie.com.co
HEMEVA LTDA	Bogotá	CRA 66A #12-65	(1) 413 6282	http://www.hemeva.com/	info@hemeva.com
IDELECT	Bogotá	Calle 66bis # 68B-46	(1) 544-3003 (1) 544-7408	http://www.idelect.net	http://www.idelect.net
URCOSOLAR	Neiva	CI 6 B # 23 A-40	(8) 8701930	http://urcosolar.blogspot.com/	http://urcosolar.blogspot.com/
ALTA INGENIERÍA XXI	Rio Negro	Bodegas Zona Franca	(1) 4738969 3165231511	http://altaingenieriaxxi.com/	servicioalcliente@altaingenieriaxxi.com
SOLENT TECHNOLOGY	Bogotá	Calle 82 # 7-42	(1) 8044345	http://solenttechnology.com/	info@solenttechnology.com
HYBRYTEC	Medellín	Cra.42,# 54A-55	(4) 444 0520 3148894191	http://hybrytec.com/	info@hybrytec.com
HYBRYTEC	Bogotá	Cra 14 # 89-48	(1) 300 0414 321759 1985	http://hybrytec.com/	info@hybrytec.com
MY GREEN-TEC LTDA	Bogotá	Cra 11 # 61-72	3123954459, 3133913491	http://www.mygreentec.com	mygreentec@gmail.com
SENSSTECH	Bucaramanga	Cra. 24 #53-08 of	(7)6574649	http://www.sensstech.com/	info@sensstech.com
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA LTDA	Bogotá	Calle136,#52a-46	310 2106880	http://www.arqbioclimatica.com.co	contacto@arqbioclimatica.co
ORQUÍDEA SOLAR S.A	Medellín	Cra 56 # 10B - 71	(4) 311 51 58	http://www.orquideasolar.com/	orquideasolarsos@gmail.com
SOLARMAX INTERNATIONAL S.A	Cali	Cra 4 # 35A-56	(2) 374 0000 3108337246	http://www.solarmax.co/	contacto@solarmaxsa.com
AMBIENTE SOLUCIONES	Medellín	Calle 47D # 72 -83	(4) 4480398, 301 2034249	http://ambientesoluciones.com	info@ambientesoluciones.com

Tabla 15. (Continuación) Empresas de servicios de sistemas fotovoltaicos en Colombia.

Empresa	Ciudad	Dirección	Teléfono	Página Web	Correo
ECO ENERGÍA	Bogotá	Cra 12 # 14-67	(1) 3341052	http://ecoenergia.co/	masecoenergia@gmail.com
BIO-MECÁNICA ENERGÍAS RENOVABLES	Bogotá	Calle11A, # 78D	(1) 4792189 3108659828	<a href="http://www.actiweb.es/bio
mecanica/">http://www.actiweb.es/bio mecanica/	biomecanicaenergiasrenova bles@hotmail.com
INGESOLAR	Bogotá	Cra 25 # 18-70	(1) 2770719 (1) 5606886	www.ingesolar.com.co	solar1colombia@gmail.com
FULGOR ENERGÍA S.A	Bogotá	Cra 27A # 78-58	(1) 3110200 (1) 6600292	www.fulgorenergiasa.com	acumuladores_industriales@ tutopia.com
ENERGIA Y MOVILIDAD	Bogotá	Dg.40ª bis,#14-37	(1) 3382652	<a href="http://www.energiaymovili
dad.com/">http://www.energiaymovili dad.com/	info@energiaymovilidad.com
CARTAGENA SOLAR	Cartagena	Cra 1A – calle 11	(5) 6551584	www.cartagenasolar.net/	info@cartagenasolar.net
ENERGREENCOL SAS	Cartagena	San Isidro 1° Labrador #53A-15	(5) 6699220 3007538571	<a href="http://www.energrecol.c
om">http://www.energrecol.c om	jose.arrieta@energrecol.c om
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA S.A	Bogotá	Carrera 19B # 166-82	(1) 6684343 3182611999	<a href="https://www.energiaintegr
alandina.com/">https://www.energiaintegr alandina.com/	comercial@energiaintegr alandina.com
SUNPOWER DE COLOMBIA	Santa Marta	Mnz D local #2, CC Buenavista	(5) 4336934 3184113710	http://spwr.redhdigital.com	voliveros@spwr.biz aperalta@spwr.biz
COLPILAS	Bogotá	Cra 56 #4B-84	(1) 4170063 (1) 2615444	http://colpilas.com/	info@colpilasolar.com
ECOPOWER SOLUTIONS	Bogotá	Av Boyacá #79-08 Of. 404	(1) 7029032	<a href="http://www.ecopower.com
.co">http://www.ecopower.com .co	info@ecopower.com.co
ES ENERGÍA SOLAR LTDA	Medellin	Cra 46 35-70	(4) 448 2852	http://esenergiasolar.com/	info@esenergiasolar.com

6.2.4 Análisis general del usuario de la tecnología fotovoltaica en Colombia.

Cada vez son más las aplicaciones y soluciones tecnológicas que se obtienen a partir de la tecnología fotovoltaica. Algunas configuraciones de los SFV solo pueden ser implementadas a través de empresas de energía, de forma que generen potencia a gran escala. Otras pueden ser construidas con base a los requerimientos que una carga específica como es el caso de los SFA. En efecto, las personas del común juegan un papel importante para la implementación masiva de los SFV.

Para que la masificación de los SFV sea efectiva, los clientes potenciales deben conocer los servicios que presta la tecnología. Por lo anteriormente, expuesto se realizó una encuesta para determinar el conocimiento y aceptación que tiene la población en general sobre los sistemas fotovoltaicos. Para esto se ha seleccionado un segmento demográfico urbano de profesionales mayores de 25 años que son las personas que se considera que ya han escuchado acerca los SFV, y en el sector rural se entrevistaron a algunos habitantes que tienen pequeños SFV instalados. Se considera que estas dos poblaciones pueden ser los clientes potenciales para la implantación de sistemas de generación fotovoltaica y en total se encuestaron a cien personas.

En Colombia el 68% de la población sabe que es un SFV, sin embargo el panorama para esta tecnología es más amplio, puesto que el 80% de la misma, está dispuesta a invertir en un SFV para el autoabastecimiento de energía eléctrica, y en igual magnitud de personas harían lo principalmente porque se suple la necesidad energética y ayuda a cuidar el medio; pero el 41% dice no invertir porque su costo es elevado. El 91% considera que el gobierno nacional debería apoyar e incentivar la implementación de los SFV y en igual porcentaje piensan que la tecnología fotovoltaica es una oportunidad de desarrollo empresarial en el país, además el 94% supone que puede aportar soluciones energéticas a la demanda actual nacional de energía eléctrica.

En términos generales el 75% de la sociedad colombiana estima que la tecnología fotovoltaica puede convertirse en un renglón estratégico del sector energético que ayude a incentivar el crecimiento de la economía del país, pero solo el 33% confía en los servicios de diseño e instalación que ofertan las empresas en el país; esta condición se presenta básicamente porque se presume informalidad en este oficio, puesto que no se conocen las herramientas legales que garantizan el cumplimiento de estándares de calidad. Se prevé un aumento en las instalaciones fotovoltaicas aisladas para el país gracias al interés de la sociedad en general en querer tener una fuente energética autónoma, flexible, modulable, confiable y segura que coadyuve a mitigar los efectos del uso de la generación convencional y el uso de plantas de combustión en las ZNI.

6.2.5 Análisis de las soluciones tecnológicas de SFV aplicadas en Colombia.

Como se muestra en la tabla 11, la tecnología fotovoltaica presenta diversas aplicaciones en los sistemas de generación de electricidad. Según la UPME, en Colombia se están instalando SFV desde hace 30 años, con un promedio anual de 300 kW/año y hasta el 2009 se habían instalado 9 MW en todo el territorio nacional⁶⁴. Hasta entonces, las aplicaciones de los SFV estaban orientadas en un 50% a la ejecución de SFA para electrificación rural y el 50% restante para suministro de energía a sistemas de telecomunicaciones en ZNI⁶⁵, las cuales tienen las configuraciones siguientes: SFA con cargas AC y almacenamiento de energía y SFA con cargas DC con almacenamiento de energía respectivamente.

⁶⁴ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.2

⁶⁵ Ibid: V.1.

Para conocer las aplicaciones de los proyectos fotovoltaicos construidos a partir del 2010 hasta la actualidad en Colombia, se examinaron las páginas web de: las instituciones gubernamentales IPSE y UPME, las empresas del sector fotovoltaico relacionadas en la Tabla 15 y las universidades colombianas relacionadas en la Tabla 3 con el fin de consultar los SFV ejecutados a nivel nacional y observar las soluciones tecnológicas que se están implementando en el país.

En Colombia actualmente se están aplicando soluciones tecnológicas de vanguardia en SFV de manera exitosa, caracterizados por ser sistemas de generación local que no superan la escala de los kW. Debido a que hay entidades que no han publicado la relación de los SFV ejecutados y las instituciones del estado colombiano desde el 2009 no han oficializado el neto implementado a nivel nacional, entonces los valores referenciados en la Tabla 16 suman un total de 625,6 kW que representa un aproximado del neto instalado en el país en dicho periodo⁶⁶. Se muestra una tendencia en el aumento de la capacidad instalada de los SFV para resolver la demanda de energía en las ZNI⁶⁷. En el año 2013, el gobierno nacional a través del IPSE, CAFAZNI y los fondos FAZNI, FAER y SGR adjudicó una inversión de \$12 421 millones COP, para la construcción de SFV⁶⁸. Anexo H. Proyectos fotovoltaicos construidos en Colombia 2010-2014.

Por medio de la ley 697 de 2001, las resoluciones CREG, la ley 1715 de 2014 y los acuerdos internacionales para mitigar la emisión de GEI acogidos por Colombia⁶⁹; los SFV cobran cada vez mayor importancia en los sistemas de generación de

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía – Instituto de Planificación y promoción de Soluciones Energéticas para las ZNI (IPSE). Informe de gestión IPSE 2013. Bogotá 2013.

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.3

energía como una fuente viable para dar solución a la demanda energética del país especialmente en las ZNI.

Tabla 17. Soluciones tecnológicas aplicadas en Colombia 2010-2014.

#	Solución tecnológica							Entidad	Carga instalada kW
	SFV1	SFV2	SFV3	SFV4	SFV5	SFV6	SFV7		
1			X	X	X		X	IPSE ⁷⁰	261
2					X			INDUSTRIAS PARTMO ⁷¹	30
3	X	X	X	X	X	X	X	HIBRYTEC ⁷²	153
4		X	X	X	X			APROTEC ⁷³	12
5		X						ALTA INGENIERÍA ⁷⁴	20
6			X					AMBIENTE SOLUCIONES ⁷⁵	18
7			X		X			HEMEVA ⁷⁶	89
8	X		X		X			ERCO ⁷⁷	12
9					X			UDI ⁷⁸	21
10					X			UNIVERSIDAD NACIONAL ⁷⁹	3,6
11							X	U. TADEO LOZANO ⁸⁰	6

SFV1: SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía, **SFV2:** SFA con cargas DC con almacenamiento de energía.
SFV3: SFA con cargas AC con almacenamiento de energía, **SFV4:** SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
SFV5: SFVCR con inversión descentralizada, **SFV6:** SFVCR con inversión y derivación a cargas en DC, **SFV7:** SFCH

⁷⁰ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.2

⁷¹ Santander Competitivo, "Filtros Partmo: Empresa santandereana innovadora en uso de energía solar fotovoltaica," *Noticias Generales*, 2013.

⁷² HIBRYTEC. Energía solar, casos de éxito. Tomado de <http://www.hybrytec.com/> Consultada: 23 de noviembre de 2014.

⁷³ APROTEC. Energía solar fotovoltaica. Tomado de <http://www.aprotec.com.co/> Consultada: 23 de noviembre de 2014.

⁷⁴ ALTA INGENIERÍA. Proyectos fotovoltaicos Colombia. Tomado de <http://www.altaingenieriaxxi.com/> Consultada: 23 de noviembre de 2014.

⁷⁵ AMBIENTE SOLUCIONES. Tomado de <http://www.ambientesoluciones.com/>

⁷⁶ HEMEVA. Portafolio de servicios y experiencias. Tomado de <http://www1.upme.gov.co/> Consultada: 23 de noviembre de 2014

⁷⁷ ERCO. Energía Renovables d Colombia. Tomado de <http://www.ercoenergia.com.co/> Consultada 23 de noviembre de 2014

⁷⁸ S. A. Zabala Vargas, Energías limpias en Santander - Una propuesta para el desarrollo sostenible. Universidad de Investigación y Desarrollo. 2013

⁷⁹ A.J. Aristizábal, J. Hernández, G. Gordillo. Impacto del uso de SFV en la red eléctrica. Universidad Nacional de Colombia. 2011.

⁸⁰ Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tomado de <http://www.utadeo.edu.co/> Consultada 23 de noviembre de 2014

Tabla 17. SFV proyectados para ser ejecutados en el territorio nacional.

#	Nombre del Proyecto	Departamento	Valor proyecto (\$COP millones)
1	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda Las Plumas ubicado en el municipio de Arauca del departamento Arauca	Arauca	243
2	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda Juriepe ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	Arauca	175
3	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda San José ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	Arauca	185
4	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda San Rafael ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	Arauca	148
5	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda Los Laureles ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	Arauca	142
6	Electrificación rural con generación fotovoltaica individual en la Vereda El Coroso ubicado en el municipio de Cravo Norte del departamento Arauca	Arauca	148
7	Implementación del Servicio de Energía Eléctrica mediante soluciones fotovoltaicas para la Vereda Los Andes, del Municipio de San José del Fragua, Departamento del Caquetá	Caquetá	380
8	Implementación del Servicio de Energía Eléctrica mediante soluciones fotovoltaicas en las veredas La Florida y El Rubí, del Municipio de San José del Fragua, Departamento del Caquetá	Caquetá	682
9	Soluciones Fotovoltaicas Individuales vereda Las Platas, Municipio de Belén de los Andaquíes, Departamento del Caquetá.	Caquetá	339
10	Construcción de sistemas de energía alternativa solar fotovoltaica para viviendas rurales del municipio de Maní vereda Corea en las zonas no interconectadas del departamento de Casanare	Casanare	174
11	Construcción de sistemas de energía alternativa solar fotovoltaica para viviendas rurales del municipio de Tamara en las zonas no interconectadas del departamento de Casanare, veredas: Bujío y otras, Tamara, Casanare.	Casanare	192
12	Estudios y diseños sistema solar PV, centro educativo Santa Teresita (San Genaro) - convento Las Lauritas del municipio de Becerril en el departamento del Cesar	Cesar	238
13	Construcción de sistemas solares fotovoltaicos para la comunidad indígena de Juluguaipa y Ampuita Manaure, La Guajira.	Guajira	268

Tabla 17 (Continuación)

#	Nombre del Proyecto	Departamento	Valor proyecto (\$COP millones)
14	Estudios y diseños sistema solar PV, alumbrado público solar para Capurganá, Sapzurro y los senderos al cielo, plan parejo, Capurganá-Sapzurro en el municipio de Acandí	Chocó	2111
15	Construcción de sistemas solares fotovoltaicos para la comunidad indígena de Murralein Manaure, La Guajira	La Guajira	87
16	Construcción de sistemas solares fotovoltaicos para la comunidad indígena de Curiche Manaure, La Guajira	La Guajira	458
17	Construcción de sistemas solares fotovoltaicos para la comunidad indígena de Malirrachon, Ushuru y Mapuain Manaure, La Guajira	La Guajira	366
18	Construcción de sistemas solares fotovoltaicos para las comunidades de Marocazo, El Rincón, y Tembladera San Juan del Cesar, La Guajira	La Guajira	1068
19	Sistema fotovoltaico para el corregimiento de Siberia	Magdalena	1305
20	Construcción de sistemas de energía solar fotovoltaica para 20 escuelas de los municipios de Cabuyaro, Puerto Concordia, Puerto Rico, San Juan De Arama Y La Uribe.	Meta	364
21	Construcción de sistemas de energía solar fotovoltaica para 85 viviendas y 2 escuelas del municipio del Castillo, departamento de Meta.	Meta	813
22	Estudios y diseños sistema solar PV, centro de salud y centro educativo el chontal del municipio de Tumaco en el departamento de Nariño.	Nariño	450
23	Estudios y diseños sistema solar PV, centro educativo Luis Vidales del municipio de Puerto Leguizamo en el departamento de Putumayo	Putumayo	360
24	Estudios y diseños sistema solar PV, centro educativo la venturosa del municipio de Puerto Carreño en el departamento de Vichada	Vichada	215
25	Alimentación de los servicios auxiliares de la central de generación de Inírida con tecnología solar fotovoltaica	Guainía	200
26	Energización de siete comunidades indígenas de la Sierra Nevada de Santa Marta. Convenio IPSE (\$900.000.000) y USAID (USD 600.000)	Magdalena	1500
27	Implementación de sistemas solares fotovoltaicos de generación eléctrica en el PNN de Utría.	Amazonas	80

Fuente. Informe de gestión IPSE 2013

6.2.6 Análisis DOFA de los SFV en Colombia. Con el objetivo de caracterizar los factores externos e internos que repercuten en la exitosa aplicación de la tecnología fotovoltaica en Colombia se realizó el análisis DOFA. Éste estudio se llevó a cabo con base a la investigación descrita en literales 4.2.1 hasta 4.2.5 y con la ayuda bibliográfica del diagnóstico de FNCE en Colombia⁸¹.

Tabla 18. DOFA de los SFV en Colombia.

Debilidad	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> - Presupuesto de I+D+i es insuficiente. - El talento humano dedicado en I+D es poco. - Alto costo inicial. - Reducida información de la tecnología y dificultad de acceso a la misma. - Difusión tecnológica deficiente - Las tasas de financiación no facilitan la entrada de la tecnología al país. 	<ul style="list-style-type: none"> - Situación actual de orden público no favorece la eficaz ejecución. - Restricción en aplicaciones como SFCR centralizado. - No contar con subsidios que promuevan su implementación. - Tendencia en implementar fuentes convencionales de energía para interconexión al SIN. - La regulación existente no contribuye su entrada al SIN.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> - Profusión del recurso solar. - Fuente primaria de energía es gratis e inagotable. - En el proceso de generación, cero emisión de GEI. - Complementariedad en la disponibilidad del recurso con el recurso hídrico en tiempo de sequía. - No requiere combustibles para la generación de energía. - Instituciones y entidades con experiencia para apoyar efectivamente su implantación 	<ul style="list-style-type: none"> - Tendencia en aumentar las soluciones tecnológicas en zonas rurales y urbanas. - Crecimiento empresarial. - Incursión en los mercados de energía. - Existen incentivos tributarios para promover su implantación. - Precio de la tecnología está descendiendo rápidamente. - Posibilidad de mejorar la calidad y la confiabilidad del servicio energético en las ZNI.

⁸¹ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.2

7. CONCLUSIONES

Este capítulo presenta los resultados obtenidos para cada objetivo trazado en el trabajo de grado propuesto. En primer lugar se establece las conclusiones del capítulo dos, seguido por las conclusiones relacionadas con el estado actual del arte de los componentes fotovoltaicos, configuraciones y aplicaciones. Por último se citan las conclusiones relacionadas con las soluciones tecnológicas de vanguardia de potencial utilidad para el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia.

De esta forma, las herramientas de información para el adecuado diseño e implementación de los SFV fueron analizadas desde la perspectiva de dar a conocer algunos instrumentos de formación disponibles en el medio tecnológico para acceder al conocimiento de la tecnología fotovoltaica. Por tal razón, las tablas de datos preestablecidas cumplen una misión específica al margen de orientar y coordinar la ejecución de proyectos fotovoltaicos desde el estudio de las variables atmosféricas que definen el recurso solar, la selección de equipos y la instalación final de sistema generador. Los aportes de la información ofertada como una fuente bibliográfica presenta efectividad en los objetivos trazados porque promueve el aprendizaje de los SFV desde lo más básico hasta lo más trascendental de la tecnología fotovoltaica, es decir definen claramente una ruta entendimiento y caracterización.

La evolución tecnológica de los componentes fotovoltaicos ha permitido crear nuevas configuraciones que prestan soluciones tecnológicas versátiles de mayor calidad, seguras y confiables. Las innovaciones y el desarrollo tecnológico experimentado por los equipos eléctricos que intervienen en el proceso de producción de energía eléctrica, han contribuido en la expansión continua de los

SFV y su participación en los medios de producción es cada vez más significativa⁸². En esta sección se presenta los resultados del análisis del estado actual del arte y sus tendencias; realizado a las tecnologías de los paneles fotovoltaicos, inversores DC/AC, reguladores de carga y baterías.

Hoy día, en el mercado de los paneles fotovoltaicos, hay varias tecnologías que muestran ser estables en su función de convertir la radiación solar en electricidad. Los módulos de primera y segunda generación son los únicos que están presentes a nivel comercial en el mercado fotovoltaico mundial. Se estima que 43 GW de células de silicio cristalino y 47 GW de módulos se produjeron en 2013 y que la producción de paneles de películas delgadas subió casi un 21% y su participación en la producción total mundial de energía fotovoltaica se ha mantenido constante año tras año⁸³. Nuevos materiales como el grafeno, las kesteritas y las perovskitas han mostrado ser eficientes, lo que estima una producción de nuevas células fotovoltaicas de cuarta generación caracterizadas por ser libres de elementos tóxicos más económicas, con una materia prima de abundancia terrestre.

En 2013, la producción mundial de módulos fotovoltaicos estuvo dominada por Asia con el 87%, seguida por Europa con el 9%. La cuota de América es liderada por Estados Unidos que tuvo una participación del 2,6%, se destaca la fabricación de paneles de segunda generación, el cual representó el 39% de la producción estadounidense. En los módulos de primera generación los avances tecnológicos han permitido que su proceso productivo resulte más óptimo gracias a la normalización y la racionalización en la fabricación de silicio cristalino y los bajos precios han desestabilizado la producción de módulos SIGS⁸⁴.

⁸² Catálogo de productos SMA. sunny family 2012, p. 5.

⁸³ VV.AA, Renewables 2014 global status report. REN21, 2014, pp, 47-50.

⁸⁴ *Ibíd.*

Los inversores de señal DC/AC han tenido gran evolución en la calidad de los servicios prestados, pasando de obtener señales AC tipo cuadradas con alto contenido de armónicos y baja eficiencia a convertir las señales DC en corriente alterna de tipo sinusoidal pura con eficiencia del 98%⁸⁵. Los nuevos conceptos de inversores realizan trabajos de monitorización, conversión de señales de alta calidad, garantizan el control de la instalación fotovoltaica, participan de la gestión de la red y proporcionan una gestión energética inteligente de acuerdo a las necesidades del SFV⁸⁶. La versatilidad de los inversores ha permitido ofertar una solución adecuada para cada tipo de aplicación, es así que en el presente se pueden hallar equipos como micro-inversores, inversores cargadores, inversores con seguidor MPPT e inversores para instalaciones aisladas, concibiendo confianza por la integralidad de los servicios ofertados.

Los reguladores de carga, son equipos útiles para el óptimo funcionamiento de los SFV porque hace posible la coordinación entre la generación, el almacenamiento y la utilización de la energía producida en la matriz de módulos fotovoltaicos. Actualmente, en el mercado existe dos tipos de estos dispositivos: regulador PWM y regulador MPPT. El primero se encuentra más generalizado a nivel comercial, su principal característica resalta el hecho de lograr mantener en estado de plena carga al banco de baterías, prolongando así la disponibilidad de energía en tiempos de nula radiación solar⁸⁷.

Los reguladores MPPT, son elementos de vanguardia que hacen más eficiente el SFV porque su función principal es hacer seguimiento de la radiación solar de tal manera que los paneles fotovoltaicos siempre estén orientados para operar en su punto de máxima potencia. La correcta selección de estos aparatos es determinante

⁸⁵ A. SÁNCHEZ. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012

⁸⁶ Catálogo de productos SMA. sunny family 2012, pp. 66-67

⁸⁷ LI. Jutglar Banyeres, Generación de energía solar fotovoltaica, pp. 53-56. 2012.

para la óptima gestión del SFV, porque ayuda al eficaz almacenamiento y a la prolongada emisión de energía en tiempos de abundante y escasa radiación respectivamente⁸⁸.

Actualmente las baterías tienen diversas tecnologías que aportan a la confiabilidad del SFV de acuerdo a la aplicación del conjunto generador. Las más destacadas son las VRLA, las cuales se dividen en: electrolito gelificado y AGM, ambas pertenecen a la línea de plomo-ácido. Estas baterías se caracterizan porque soportan descargas profundas en ambientes extremos, emiten y absorben más corriente que otras baterías en su proceso de carga y descarga. El otro tipo de acumulador pero con menor grado de utilidad es el de Ni-Cd, estas se definen en el mercado porque tienen ciclos profundos de descargas y por la baja tasa de autodescarga. El desarrollo tecnológico de las baterías se proyecta en lograr bajar los costos de producción y en hallar nuevas formas de almacenar la energía con elementos menos tóxicos que los comúnmente utilizados⁸⁹.

En las soluciones tecnológicas de vanguardia, de potencial utilidad para el diseño e implementación de los SFV en Colombia se realizó un análisis del mercado fotovoltaico internacional y nacional, estudios desde el punto de vista político, académico, empresarial y círculo social profesional. Se hizo énfasis en la determinación de la oferta actual en Colombia de los componentes para la implementación de SFV, el marco legal, reglamentario y normativo, los grupos y/o centros de investigación con investigación enfocada en los SFV, empresas del sector fotovoltaico y sus servicios asociados. Soluciones tecnológicas aplicadas en el país y realización de una matriz DOFA de la tecnología fotovoltaica en Colombia. A continuación se presenta las conclusiones de la investigación referenciada.

⁸⁸ LI. Jutglar Banyeres, Generación de energía solar fotovoltaica, pp. 53-56. 2012.

⁸⁹ A. SÁNCHEZ. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012

Gracias a la I+D+i asociada a los elementos relacionados a los SFV, la tecnología fotovoltaica ha adquirido la madurez necesaria para incursionarse como una fuente de energía confiable y segura, a tal nivel que hoy en día es el tercer principio de producción de energía eléctrica en el mundo en términos de capacidad instalada. En algunos países la generación fotovoltaica ha alcanzado la paridad de red, incluso llegando a cotizar en bolsa con valores muy cercanos a los cotizados por los sistemas convencionales⁹⁰. Colombia es un país con abundante recurso solar cuyo régimen de variación anual de radiación es escaso. Si se toma como punto de referencia los intervalos de radiación más altos en el planeta se tienen una representación porcentual entre 58% y el 85% de los niveles máximos existentes⁹¹.

Según la UPME y CORPOEMA, en Colombia se debe constituir un sistema con tecnología satelital que ofrezca información geográfica actualizada sobre la radiación solar directa, difusa y reflejada diaria en cualquier inclinación, incluyendo características espectrales. Además que las universidades puedan investigar sobre nuevas aplicaciones, nuevos materiales y nuevos diseños adecuados a nuestras condiciones, todo esto con el objetivo de orientar esfuerzos en desarrollar proyectos pilotos para medir y monitorear todas las variables que intervienen en la viabilidad técnico-económica de cada una de las aplicaciones de la energía solar⁹².

En términos de política energética, en Colombia hace treinta años se viene discutiendo el tema de las energías renovables que incluye la energía fotovoltaica, se han creado instituciones estatales para promover, coadyuvar y garantizar la

⁹⁰ J. González Puelles Ferrín, Análisis de la llegada de la paridad de red a los principales mercados fotovoltaicos mundiales. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, Junio 2012, pp. 58-62.

⁹¹ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.1

⁹² *Ibíd.*

implementación de los SFV en el territorio nacional, sin embargo los esfuerzos orientados en su desarrollo no han concluido exitosamente; algunas veces por falta de voluntad política en aplicar efectivamente los programas y leyes creados para tal fin, o también por el hecho de contar con otros recursos naturales previamente explotados, establecidos y definidos como fuentes de generación de energía firme y en otras circunstancias, por factores externos que repercuten en su implantación. A continuación se exponen algunas razones que argumentan el hecho de que en Colombia no se hayan implementado eficazmente las políticas de FNCE relacionadas con los SFV⁹³.

- 1. No tener compromisos en la reducción de GEI:** En el marco del protocolo de KIOTO se definió a Colombia como un país modesto en emisión de GEI, razón por la cual actualmente no tiene que asumir los compromisos de su reducción emisora como es el caso de algunos países europeos. Esto ha conllevado a que no exista una exigencia en la construcción de SFV y otras fuentes renovables puesto que la reducción de emisiones no es factor fundamental que determine objetivos significativos que justifique la inversión en su construcción como fuente de energía que supla de electricidad al SIN.
- 2. Condición de conflicto armado:** La situación del orden público durante las décadas de los ochenta y noventa represento desestabilidad en términos energéticos porque las estructuras de generación y transmisión sufrieron los sabotajes continuos por parte de los grupos al margen de la ley, y además no había quien atendiera las necesidades básicas en las ZNI.
- 3. Orientación en aplicar tecnologías convencionales:** Según el plan de expansión de generación 2013-2027 de la UPME; Colombia se proyecta

⁹³ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. Bogotá 2010: V.2

como una potencia exportadora de energía eléctrica. Por tal razón, en el mediano y largo plazo se están orientando los esfuerzos en la producción energética a través de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, teniendo en cuenta el gran potencial en recursos hídricos, gasíferos y carboníferos y además la larga experiencia en generación que tiene en los sistemas convencionales de energía. La UPME en sus proyecciones no considera la implantación de SFV para la interconexión al SIN, pero si concentra su foco de atención en suplir la demanda para las ZNI a través de la tecnología fotovoltaica⁹⁴.

La ley 1715 de 2014 en el artículo 19 define el desarrollo de la energía solar en Colombia y establece lo siguiente: realizar el estudio de la naturaleza de la fuente para su reglamentación, fomentar el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de los sectores industrial, residencial y comercial, reglamentar las condiciones de participación de energía solar como fuente de generación distribuida. Así mismo el gobierno nacional considerará la viabilidad de desarrollar la energía solar como fuente de autogeneración para los estratos 1, 2 y 3 y reglamentará los esquemas de medición para todas aquellas edificaciones que utilicen tecnología fotovoltaica y definirá los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía⁹⁵.

Analizando lo anterior, se observó que el mandato de ley no especifica un cronograma con fechas proyectadas para la ejecución de cada orientación política propuesta, entonces todo lo planteado por el gobierno nacional resulta ambiguo porque no se tiene claridad de los tiempos y metas fijadas en el corto, mediano y largo plazo; creando una atmosfera de desconfianza en las empresas inversionista

⁹⁴ COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2013-2027. Bogotá 2013.

⁹⁵COLOMBIA. Congreso de la Republica de Colombia. Ley 1715, Mayo 13 de 2014. Bogotá, 2014.

debido a que legalmente no hay un soporte claro que proteja la alta inversión efectuada en los SFV para que puedan operar confiablemente. Además en el planteamiento legislativo se observa las intenciones muy tímidas frente a la propuesta en términos de energía renovables presentada en la ley 697 de 2001.

Resultados de la investigación realizada muestran que la formación académica y técnica respecto a los SFV en Colombia está siendo orientada por algunas universidades y por empresas del sector fotovoltaico. A nivel empresarial se tiene formación técnica para la ejecución de los proyectos fotovoltaicos y en el ámbito académico se cuenta con enseñanza tecnológica especializada y científica (ver tabla 5). En el 2013 Colciencias tuvo una ejecución presupuestal de \$57.207.585.880 COP, para apoyo a la innovación y el desarrollo productivo del país y para apoyo financiero y técnico al fortalecimiento de las capacidades institucionales del sistema nacional de ciencia tecnología e innovación⁹⁶. Teniendo en cuenta que es un presupuesto global que incluye todas las áreas del conocimiento, se observa que es un valor insuficiente para garantizar avances significativos en materia de innovación y alta tecnología en sistemas de generación de energía eléctrica a partir del estado actual de la tecnología fotovoltaica.

Considerando los resultados de las encuestas hechas a los empresarios, se observa que solo el 25% de las empresas del sector fotovoltaico en Colombia ofertan equipos de última tecnología de SFV, éste es un índice insuficiente para garantizar la cobertura nacional en soluciones tecnológicas de vanguardia y limita a los electricistas en adquirir dispositivos adecuados para construir SFV de alta calidad. También se encontró que algunas empresas incluyen personal técnico-operativo en competencias de diseño y gestión de SFV, conllevando a que se fomente la descoordinación del sistema de generación y por lo tanto ineficiencia y baja calidad del servicio.

El éxito expuesto por la tecnología fotovoltaica se debe a que algunos gobiernos hayan fundado políticas energéticas orientadas a la implementación de SFV como alternativa para suplir la demanda de energía nacional. Para garantizar la ejecución de las proyecciones, crearon leyes para regular, promover y desarrollar la tecnología fotovoltaica, generando subsidios y subvenciones orientados a la ciencia, la empresa y el usuario⁹⁷.

En los términos preestablecidos, se evaluó la experiencia en Colombia, y se observó que: a nivel científico las universidades cuentan con talento humano de alto nivel científico que muestra interés en desarrollar ciencia y alta ingeniería a partir del estado actual de la tecnología fotovoltaica, las empresas ven una oportunidad para la inversión en el negocio de la generación eléctrica y la sociedad general tiene aceptación e intención de invertir en SFV para su autoabastecimiento. Esto indica que todos los escenarios están abiertos para el despliegue de la tecnología fotovoltaica en Colombia como una fuente de energía que ayude a apalancar el desarrollo industrial, comercial y social a través de la generación de electricidad. Sin embargo, el panorama anterior es difuso porque aunque el gobierno nacional muestra intenciones de desplegar la tecnología fotovoltaica en Colombia, sus esfuerzos son mínimos y emergentes en términos legislativo. Empero, se presume que en los próximos años la tecnología fotovoltaica aumentará su capacidad de instalación en el país gracias a los proyectos previstos para las ZNI.

⁹⁷ J. González Puelles Ferrín, Análisis de la llegada de la paridad de red a los principales mercados fotovoltaicos mundiales. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, Junio 2012, pp. 58-62.

BIBLIOGRAFIA

ABELLA, Miguel Alonso. Energía solar fotovoltaica. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Madrid, 2014

BAYOD RÚJULA, Ángel A. Sistemas fotovoltaicos. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España 2009. P; 133

Cronología de las eficiencias de conversión logradas en células solares fotovoltaicas. National Renewable Energy Laboratory. EE.UU, 2014.

COLOMBIA. Congreso de la República de Colombia, Ley 697 de 2001. Bogotá D.C, octubre 3 de 2001.

COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía -Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) & CORPOEMA, Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia V-1. Bogotá D.C, diciembre 30 de 2010.

DELTA VOLT SAC. Baterías para sistemas solares y eólicos. [*En línea*] [Consultado 12 mayo, 2014] Disponible en internet: <http://deltavolt.pe/baterias>

EUROPENAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION -EPIA. Solar Generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering world. EPIA, 2011.

[*En línea*] [Consultado 10 junio, 2014] Disponible en internet: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2011/Final%20SolarGeneration%20VI%20full%20report%20lr.pdf>

JUTGLAR, Luís. Generación de energía solar fotovoltaica. Barcelona, España, 2010

LAGUNAS, Ana Rosa. El marco tecnológico de las energías renovables. Centro Nacional de Energías Renovables. 2014

Manuales sobre energías renovables: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). -1ed.San José, C.R., 2002.

MASSON, Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. EPIA

PONCE, Salvador. Fabricación de células solares sobre silicio multicristalino y silicio purificado por la vía metalúrgica. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2007. 166 p. 1. [En línea] [Consultado 12 mayo, 2014] Disponible en internet:

http://oa.upm.es/748/1/SALVADOR_PONCE_ALCANTARA.pdf

PONCE, Salvador. Células solares de silicio: fundamentos y aplicaciones. Málaga, 5 de noviembre de 2008.

SÁNCHEZ, Aarón. Curso de especialización sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Centro de investigación de energía, Universidad Autónoma de México. México D.F 2012.

TESKE, SVEN & MASSON, Gaetan. Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world. European Photovoltaic Industry Association, (EPIA) and Greenpeace, 2011.

Universidad Internacional de Andalucía - UNIA. (2010, February 10). Tema2. Retrieved July 28, 2014, from UNIA Open CourseWare Web site [En línea] [Consultado 12 mayo, 2014] Disponible en internet: <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/disenio-de-sistemas-fotovoltaicos/materiales-de-estudio-1/tema2>

ANEXOS

El objetivo de esta unidad es mostrar información técnica y comercial de los componentes fotovoltaicos. Se incluye una sección para presentar los datos de contacto de los principales fabricantes y otro apartado para exponer los parámetros nominales más importantes en la selección de cada uno los elementos de SFV. En ese orden de ideas en los anexo A, B, C y D presentan información de las marcas líderes en el mercado fotovoltaico y en los anexos E, F y G los valores técnicos de paneles fotovoltaicos, inversores DC/AC y reguladores de carga respectivamente.

La construcción de las bases de datos se realizó a través de consultas en la web de las instituciones y empresas más influyentes en el desarrollo y comercialización de los SFV. Con la ayuda de documentos de apoyo como informes, publicaciones y revistas de entidades como *EPIA*, *ENF*, *PV magazine*, *UNSW*, *RNEL* y *UNIA* se investigó a cerca de las corporaciones líderes en los mercados de la energía fotovoltaica. Una vez identificados estas empresas se consultaron sus datos de contactos y la oferta de los productos de última generación, se seleccionaron los datos más relevantes de cada componente y transcribirlos en fichas técnicas.

Anexo A. Empresas líderes en fabricación de paneles fotovoltaicos

	Empresa	País	Página Web	Correo	Teléfono	Oferta
1	CANADIAN SOLAR	Canadá	http://www.canadiansolar.com/	info@na.canadiansolar.com	1 519 837 1881	m-Si, mc-Si
2	FIRST SOLAR	EE.UU	http://www.firstsolar.com/ http://www.firstsolar.es	investor@firstsolar.com	602.414.9315	CdTe
3	GCL POLY	China	http://www.gcl-poly.com.hk/	gclpv_sales@gcl-power.com	86 512 6289 9115	m-Si, mc-Si
4	GINTECH	Taiwán	http://www.gintechenergy.com/en/	seajay.chen@gintech.com.tw	886-37-586-198	m-Si, mc-Si
5	HANWHA SOLAR ONE	China	http://www.hanwha-solarone.com/	info@hanwha-solarone.com	86-21-3852 1666	m-Si, mc-Si
6	JA SOLAR	China	http://www.jasolar.com/	sales@jasolar.com	86 21 6095 5888	m-Si, mc-Si
7	LDK SOLAR	China	http://www.ldksolar.com/	pr@ldksolar.com	86 791 86352908	m-Si, mc-Si
8	MOTECH	Taiwán	http://www.motech.com.tw	info@motech.com.tw	886-6-5050789	m-Si, mc-Si
9	RENESOLA	China	http://www.renesola.com	china@renesola.com	86 (0) 21 62809180	m-Si, mc-Si
10	RENEWABLE ENERGY	Noruega	http://www.recgroup.com/	post@recgroup.com	65 6495 9228	mc-Si
11	SANYO	Japón	http://panasonic.net/sanyo/	support@sanyotv.com	(800) 877-5032	m-Si
12	SHARP	Japón	http://www.sharp-solar.com/es/	matsuda.naoharu@sharp.co.jp	81-6-6621-1221	mc-Si, μ c-Si
13	SOLARWORLD	Alemania	http://www.solarworld.es/	press@solarworld.de	49 (0) 228 - 559 20 400	m-Si, mc-Si
14	SOLON ENERGY	Alemania	www.solon.com	solon@solon.com	39 049 945 8200	m-Si, mc-Si
15	SUNPOWER	EE.UU	http://www.sunpowercorp.es/	pr@sunpower.com	1(408)240-5500	m-Si, mc-Si
16	SUNTECH	China	http://www.suntech-power.com/	sales@suntech-power.com	86 (510) 8531 8000	m-Si, mc-Si
17	TRINA SOLAR	China	http://www.trinasolar.com	latam@trinasolar.com	56 2 2594 7586	m-Si, mc-Si
18	YINGLI GREEN ENERGY	China	http://www.yinglisolar.com/al/	latam@yingliamericas.com	52 554-744-6236	m-Si, mc-Si
19	HANWHA Q-CELLS	Alemania	www.q-cells.com	sales@q-cells.com	49 3494 66990	m-Si, mc-Si
20	TSMC	Taiwán	www.tsmc-solar.com	SolarAsia@tsmc.com	886 4 27036688	CIGS
21	KYOCERA	Japón	www.kyocera.co.jp	hitoshi.ishida.sd@kyocera.jp	81 75 6043500	m-Si, mc-Si
22	TOSHIBA	Japón	www.toshiba.co.jp		57(01)636-1849	m-Si

Fuente: Autores del Proyecto

Anexo B. Empresas líderes en la fabricación de inversores.

	Empresa	País	Página Web	Correo	Teléfono	Oferta
1	ABB	Suiza	http://new.abb.com/es	contact.center@cn.abb.com	5713487847	IFCR
2	KACO	Alemania	http://kaco-newenergy.com/es/	info@kaco-newenergy.de	34 916 740 798	IFCA IFCR
3	KOSTAL	Alemania	www.kostal-solar-electric.com	service-solar@kostal.com	497614744	IFCA IFCR
4	OUTBACK	USA	http://www.outbackpower.com/	sales@outbackpower.com	1 360 435 6030	IFCA IFCR
5	POWER ELECTRONICS	España	http://www.power-electronics.com	ventas@power-electronics.com	34 961 366 557	IFCR
6	SMA SOLAR	Alemania	http://www.sma.de/	info@SMA.de	49 561 9522-0	IFCA IFCR
7	SOLARMAX	Suiza	http://www.solarmax.com/es/es/	info@solarmax.com	41 32 346 56 00	IFCR
8	VICTRON	Holanda	http://www.victronenergy.com/	sales@victronenergy.com	31(0) 365359700	IFCA IFCR
9	XANTREX	Francia	www.xantrex.com	europesales@xantrex.com	1 800 6700707	IFCA IFCR
10	STUDER	Suiza	www.studer-innotec.com	info@studer-innotec.com	41 27 2056080	IFCA IFCR
11	FIRST SUNERGY	USA	www.firstsunergy.com	info@1sunergy.com	1 281 6145220	IFCR
12	APOLLO SOLAR	USA	www.apollosolar.com	info@apollosolar.com	1 203 7906400	IFCA
13	APE	China	www.apc-chn.com	info@apc-chn.com	86 532 81920060	
14	RICH ELECTRIC	Taiwán	www.richelectric.com.tw	sales@richelectric.com.tw	886 6 3840088	IFCA IFCR
15	RONDS SOLAR	India	www.rondssolar.com	info@rondssolar.com	91 8592991102	IFCR
16	SANDI ELECTRIC	China	www.lgis.cc	tisandi@sandi.cc	86 577 62776918	IFCA IFCR
17	GREEN ZONE ENERGY	Sudáfrica	www.greenzoneenergy.co.za	info@greenzoneenergy.co.za	27 13 7533699	IFCA IFCR
18	LINGQI ELECTRICAL	China	www.lingqi.com	sdlingqi@shunde.gd.cn	86 757 25333288	IFCA IFCR
19	MAGNUM ENERGY	USA	www.magnumenergy.com	marketing@magnumenergy.com	1 425 3538833	IFCA IFCR
20	MEGA SOLAR	China	www.megasolar-energy.com	sales@megasolar-energy.com	86 755 61103827	IFCA

Fuente: Autores del Proyecto

Anexo C. Empresas líderes en la fabricación de reguladores de carga.

Item	Empresa	País	Página Web	Correo	Teléfono
1	STECA	Alemania	www.stecasolar.com	info@stecasolar.com	49 8331 85580
2	MORNINGSTAR	USA	www.morningstarcorp.com	mmchenry@morningstarcorp.com	1 215 3214457
3	PHOCOS	Alemania	www.phocos.com	info@phocos.com	49 731 93806880
4	OUTBACK	USA	http://www.outbackpower.com/	sales@outbackpower.com	1 360 435 6030
5	XANTREX	Francia	www.xantrex.com	europesales@xantrex.com	1 800 6700707
6	STUDER	Suiza	www.studer-innotec.com	info@studer-innotec.com	41 27 2056080
7	SOLENER	España	www.solener.info	solener@solener.com	34 91 5050062
8	SUNLAB POWER	Brasil	www.sunlab.com.br	sunlab@sunlab.com.br	55 11 40358575
9	SUNWORKS	Francia	www.sunworks.co.uk	Sales@Sunworks.co.uk	33 546 586617
10	TBB POWER	China	www.tbbpower.com	sales@tbbpower.com	86 592 5212299
11	FIRST SUNERGY	USA	www.firstsunergy.com	info@1sunergy.com	1 281 6145220
12	APOLLO SOLAR	USA	www.apollosolar.com	info@apollosolar.com	1 203 7906400
13	AERL	Australia	www.aerl.com.au	sales@aerl.com.au	61 7 38792192
14	APE	China	www.apc-chn.com	info@apc-chn.com	86 532 81920060
15	BLUE SKY ENERGY	USA	www.blueskyenergyinc.com	sales@blueskyenergyinc.com	1 760 5971642
16	RICH ELECTRIC	Taiwán	www.richelectric.com.tw	sales@richelectric.com.tw	886 6 3840088
17	RONDS SOLAR	India	www.rondssolar.com	info@rondssolar.com	91 8592991102
18	SANDI ELECTRIC	China	www.lgis.cc	tisandi@sandi.cc	86 577 62776918
19	GREEN ZONE ENERGY	Sudáfrica	www.greenzoneenergy.co.za	info@greenzoneenergy.co.za	27 13 7533699
20	H & T POWER	Alemania	www.htpower.de	info@htpower.de	49 519 81181297

Anexo D. Empresas líderes en la fabricación de baterías

	Empresa	País	Página Web	Correo	Teléfono	Oferta
1	TROJAN BATTERY	EE.UU	www.trojanbatteryre.com	dmiddleton@trojanbattery.com	1 562 2363000	GEL, AGM
2	AKUSAN	Turquía	akusan.com.tr	akusan@akusan.com	90 352 2410770	GEL
3	WEBEST	China	www.cnce.cc	cnce@cnce.cc	86 10 66094645	GEL, AGM
4	TELONG	China	www.sztlg.com	telongbattery@sztlg.com	86 755 29052355	GEL, AGM
5	TRUE NORTH POWER	Canadá	www.truenorthpower.com	sales@truenorthpower.com	1 519 6328830	GEL
6	UPG	EE.UU	upgi.com	sales@upgi.com	1 469 8921122	GEL, AGM
7	VOTRONIC	Alemania	www.votronic.de	info@votronic.de	49 6641 911730	GEL, AGM
8	SEC	Reino Unido	www.solarenergycentre.com	sales@solarenergycentre.com	44 1895 431543	GEL, AGM
9	SILICON CPV	Reino Unido	www.siliconcpv.com	sales@siliconcpv.com	44 1279 821200	GEL
10	POWER-SONIC	EE.UU	www.power-sonic.com	national-sales@power-sonic.com	1 619 6612020	AGM, SLA
11	VOTRONIC	Alemania	www.votronic.de	info@votronic.de	49 6641 911730	GEL, AGM
12	OUTBACK POWER	EE.UU	www.outbackpower.com	sales@outbackpower.com	1 360 4356030	VLA, GEL, AGM
13	NED ENERGY	India	www.nedenergy.in	customersupport@nedenergy.in	91 9391 874365	GEL, AGM
14	WIOSUN	Alemania	www.wiosun.de	info@solarzentrum-wiosun.de	49 681 954510	AGM
15	GREEN ZONE ENERGY	Sudáfrica	www.greenzoneenergy.co.za	info@greenzoneenergy.co.za	27 13 7533699	AGM
16	GS BATTERY	EE.UU	www.gsbattery.com	information@gsbattery.com	1 678 7624818	SLA
17	WOLONG DENGTA	China	www.wldengta.com	yangliping@wolong.com	86 575 82176619	GEL, AGM,
18	WHISPERPOWER	Países Bajos	www.whisperpower.nl	info@whisperpower.nl	31 512 571550	GEL, AGM
19	WEBEST	China	www.cnce.cc	cnce@cnce.cc	86 10 66094645	GEL, AGM
20	VOTRONIC	Alemania	www.votronic.de	info@votronic.de	49 6641 911730	GEL, AGM

Anexo E. Datos técnicos nominales de los paneles fotovoltaicos comerciales

Ítem	Marca	Serie	P _N [W]	V _{OC} [V]	I _{SC} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
1	SUNPOWER	E20-327	327	64.9	6.46	54.7	5.98	20.40	m-Si
2	SUNPOWER	E19-320	320	64.8	6.24	54.7	5.86	19.80	m-Si
3	SUNPOWER	X21-335-BLK	335	67.9	6.23	57.3	5.85	21.10	m-Si
4	SUNPOWER	X21-345	345	68.2	6.39	57.3	6.02	21.50	m-Si
5	SUNTECH	KD18053	295	45.0	8.00	36.0	8.00	15.20	mc-Si
6	SHARP	ND-R250A5	250	37.6	8.68	30.9	8.10	15.20	mc-Si
7	SHARP	ND-R245A5	245	37.3	8.62	30.7	7.99	14.90	mc-Si
8	SHARP	NA-E130G5	130	60.4	3.41	46.1	2.82	9.300	μc-Si
9	SHARP	NA-E120G5	120	59.1	3.33	44.9	2.68	8.600	μc-Si
10	SOLARWORLD	SW 280	280	39.5	9.71	31.2	9.07	16.50	m-Si
11	SOLARWORLD	SW 275	275	39.4	9.58	31.0	8.94	16.20	m-Si
12	SOLARWORLD	SW 270	270	39.2	9.44	30.9	9.44	15.90	m-Si
13	SOLARWORLD	SW 265	265	38.1	8.82	31.9	8.33	15.80	m-Si
14	SOLARWORLD	SW 255	255	38.0	8.88	30.9	8.32	15.20	mc-Si
15	SOLARWORLD	SW 250	250	37.6	8.64	30.8	8.12	14.92	mc-Si
16	SOLARWORLD	SW 245	245	37.5	8.49	30.8	7.96	14.62	mc-Si
17	SOLON	240W	240	37.0	8.47	29.9	8.03	14.63	mc-Si
18	SOLON	245W	245	37.2	8.59	30.1	8.16	14.94	mc-Si
19	SOLON	250W	250	37.4	8.71	30.3	8.28	15.24	mc-Si
20	SOLON	240W	240	36.8	8.56	29.6	8.11	14.63	m-Si
21	SOLON	245W	245	37.0	8.65	29.8	8.22	14.94	m-Si
22	SOLON	250W	250	37.3	8.74	30.0	8.34	15.24	m-Si
23	KYOCERA	KD240GH-2PB	240	29.8	8.06	36.9	8.56	16.00	mc-Si
24	KYOCERA	KD215GH-2PU	215	26.6	8.09	33.2	8.78	16.00	mc-Si
25	KYOCERA	KD185GH-2PU	185	23.6	7.84	29.5	8.58	16.00	mc-Si
26	KYOCERA	KD135GH-2PU	135	17.7	7.63	22.1	8.37	16.00	mc-Si
27	LDK SOLAR	220D-20	220	36.9	8.01	31.2	7.05	13.48	m-Si
28	LDK SOLAR	225D-20	225	37.0	8.11	31.5	7.15	13.79	m-Si
29	LDK SOLAR	230D-20	230	37.2	8.21	31.8	7.23	14.09	m-Si
30	LDK SOLAR	235D-20	235	37.2	8.30	32.0	7.35	14.40	m-Si
31	LDK SOLAR	240D-20	240	37.3	8.39	32.2	7.45	14.70	m-Si
32	LDK SOLAR	245D-20	245	37.4	8.48	32.4	7.56	15.01	m-Si
33	LDK SOLAR	250D-20	250	37.5	8.57	32.6	7.67	15.32	m-Si

Continuación Anexo E.

Item	Marca	Serie	P _N [W]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
34	LDK SOLAR	255D-20	255	37.60	8.66	32.80	7.78	15.62	m-Si
35	LDK SOLAR	260D-20	260	37.80	8.76	33.00	7.88	15.93	m-Si
36	JA SOLAR	JAP6 72-295/3BB	295	45.00	8.65	36.25	8.14	15.22	mc-Si
37	JA SOLAR	JAP6 72-300/3BB	300	45.20	8.73	36.41	8.24	15.48	mc-Si
38	JA SOLAR	JAP6 72-305/3BB	305	45.35	8.79	36.71	8.31	15.73	mc-Si
39	JA SOLAR	JAP6 72-310/3BB	310	45.45	8.85	37.00	8.38	15.99	mc-Si
40	JA SOLAR	JAP6 72-315/3BB	315	45.60	8.91	37.28	8.45	16.25	mc-Si
41	JA SOLAR	JAP6 60-245/3BB	245	37.50	8.86	29.59	8.28	14.98	mc-Si
42	JA SOLAR	JAP6 60-250/3BB	250	37.66	8.92	29.94	8.35	15.29	mc-Si
43	JA SOLAR	JAP6 60-255/3BB	255	37.82	8.98	30.29	8.42	15.59	mc-Si
44	JA SOLAR	JAP6 60-260/3BB	260	37.98	9.04	30.63	8.49	15.90	mc-Si
45	JA SOLAR	JAP6 60-265/3BB	265	38.14	9.10	30.96	8.56	16.21	mc-Si
46	JA SOLAR	JAP6(BK)60-240/3BB	240	37.30	8.65	29.38	8.17	14.68	mc-Si
47	JA SOLAR	JAP6(BK)60-245/3BB	245	37.50	8.86	29.59	8.28	14.98	mc-Si
48	JA SOLAR	JAP6(BK)60-250/3BB	250	37.66	8.92	29.94	8.35	15.29	mc-Si
49	JA SOLAR	JAP6(BK)60-255/3BB	255	37.82	8.98	30.29	8.42	15.59	mc-Si
50	JA SOLAR	JAP6(BK)60-260/3BB	260	37.98	9.04	30.63	8.49	15.90	mc-Si
51	JA SOLAR	JAM6 48-200/SI	200	30.31	8.88	24.46	8.18	15.24	m-Si
52	JA SOLAR	JAM6 48-205/SI	205	30.39	8.91	24.76	8.28	15.62	m-Si
53	JA SOLAR	JAM6 48-210/SI	210	30.42	8.96	24.97	8.41	16.01	m-Si
54	JA SOLAR	JAM6 48-215/SI	215	30.48	9.01	25.09	8.57	16.39	m-Si
55	JA SOLAR	JAM6 48-220/SI	220	30.58	9.14	25.26	8.71	16.77	m-Si
56	JA SOLAR	JAM@ 48-205	205	30.29	8.98	24.53	8.36	15.62	m-Si
57	JA SOLAR	JAM@ 48-210	210	30.34	9.07	24.71	8.50	16.01	m-Si
58	JA SOLAR	JAM@ 48-215	215	30.48	9.12	24.89	8.64	16.39	m-Si
59	JA SOLAR	JAM@ 48-220	220	30.61	9.14	24.95	8.82	16.77	m-Si
60	JA SOLAR	JAM@ 48-225	225	30.74	9.21	25.12	8.96	17.15	m-Si
61	JA SOLAR	JAM@ 72-305	305	45.38	8.94	36.53	8.35	15.73	m-Si
62	JA SOLAR	JAM@ 72-310	310	45.53	9.01	36.69	8.45	15.99	m-Si
63	JA SOLAR	JAM@ 72-315	315	45.69	9.08	36.81	8.56	16.25	m-Si
64	JA SOLAR	JAM@ 72-320	320	45.83	9.15	36.91	8.67	16.51	m-Si
65	JA SOLAR	JAM@ 72-325	325	45.97	9.22	37.02	8.78	16.77	m-Si
66	JA SOLAR	JAM5@ 72-200	200	45.12	5.77	36.84	5.43	15.67	m-Si

Continuación Anexo E.

Item	Marca	Serie	P _N [W]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
67	JA SOLAR	JAM5@ 72-205	205	45.37	5.86	37.14	5.52	16.06	m-Si
68	JA SOLAR	JAM5@ 72-210	210	45.61	5.95	37.45	5.61	16.45	m-Si
69	JA SOLAR	JAM5@ 72-215	215	45.82	6.04	37.72	5.70	16.84	m-Si
70	JA SOLAR	JAM5@ 72-220	220	46.11	6.13	38.00	5.79	17.23	m-Si
71	JA SOLAR	JAP6(DG)60-235/3BB	235	37.46	8.31	30.52	7.70	14.33	mc-Si
72	JA SOLAR	JAP6(DG)60-240/3BB	240	37.53	8.47	30.57	7.85	14.64	mc-Si
73	JA SOLAR	JAP6(DG)60-245/3BB	245	37.79	8.53	31.01	7.90	14.94	mc-Si
74	JA SOLAR	JAP6(DG)60-250/3BB	250	37.83	8.63	31.28	7.99	15.25	mc-Si
75	JA SOLAR	JAP6(DG)60-255/3BB	255	37.87	8.70	31.58	8.05	15.55	mc-Si
76	JA SOLAR	JAM6 72-300/SI	300	45.28	8.71	36.77	8.16	15.48	m-Si
77	JA SOLAR	JAM6 72-305/SI	305	45.41	8.78	36.93	8.26	15.73	m-Si
78	JA SOLAR	JAM6 72-310/SI	310	45.57	8.85	37.04	8.37	15.99	m-Si
79	JA SOLAR	JAM6 72-315/SI	315	45.73	8.92	37.15	8.48	16.25	m-Si
80	JA SOLAR	JAM6 72-320/SI	320	45.86	8.99	37.35	8.57	16.51	m-Si
81	JA SOLAR	JAM6@60-260	260	38.32	9.04	30.49	8.53	15.90	m-Si
82	JA SOLAR	JAM6@60-265	265	38.52	9.13	30.78	8.61	16.21	m-Si
83	JA SOLAR	JAM6@60-270	270	38.71	9.21	31.08	8.69	16.51	m-Si
84	JA SOLAR	JAM6@60-275	275	38.89	9.30	31.36	8.77	16.82	m-Si
85	JA SOLAR	JAM6@60-280	280	39.07	9.39	31.64	8.85	17.12	m-Si
86	JA SOLAR	JAM6 60-250/SI	250	37.72	8.76	30.31	8.25	15.29	m-Si
87	JA SOLAR	JAM6 60-255/SI	255	37.90	8.84	30.58	8.34	15.59	m-Si
88	JA SOLAR	JAM6 60-260/SI	260	38.08	8.92	30.81	8.44	15.90	m-Si
89	JA SOLAR	JAM6 60-265/SI	265	38.26	9.00	31.11	8.52	16.21	m-Si
90	JA SOLAR	JAM6 60-270/SI	270	38.46	9.09	31.33	8.62	16.51	m-Si
91	JA SOLAR	JAM6(BK)60-245/SI	245	37.54	8.68	30.03	8.16	14.98	m-Si
92	JA SOLAR	JAM6(BK)60-250/SI	250	37.72	8.76	30.31	8.25	15.29	m-Si
93	JA SOLAR	JAM6(BK)60-255/SI	255	37.90	8.84	30.58	8.34	15.59	m-Si
94	JA SOLAR	JAM6(BK)60-9260/SI	260	38.08	8.92	30.81	8.44	15.90	m-Si
95	JA SOLAR	JAM6(BK)60-265/SI	265	38.26	9.00	31.11	8.52	16.21	m-Si
96	JA SOLAR	JAM5(L)72-195/SI	195	45.58	5.62	36.87	5.29	15.27	m-Si
97	JA SOLAR	JAM5(L)72-200/SI	200	45.79	5.70	37.12	5.39	15.67	m-Si
98	JA SOLAR	JAM5(L)72-205/SI	205	46.01	5.79	37.42	5.48	16.06	m-Si
99	JA SOLAR	JAM5(L)72-210/SI	210	46.20	5.88	37.65	5.58	16.45	m-Si

Continuación Anexo E.

Item	Marca	Serie	P _N [W]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
100	JA SOLAR	JAM5(L)72-215/SI	215	46.34	5.96	37.86	5.68	16.84	m-Si
101	JA SOLAR	JAM5(L)(BK)72-190/SI	190	45.37	5.54	36.61	5.19	14.88	m-Si
102	JA SOLAR	JAM5(L)(BK)72-195/SI	195	45.58	5.62	36.87	5.29	15.27	m-Si
103	JA SOLAR	JAM5(L)(BK)72-200/SI	200	45.79	5.70	37.12	5.39	15.67	m-Si
104	JA SOLAR	JAM5(L)(BK)72-205/SI	205	46.01	5.79	37.42	5.48	16.06	m-Si
105	JA SOLAR	JAM5(L)(BK)72-210/SI	210	46.20	5.88	37.65	5.58	16.45	m-Si
106	MOTECH	IM54B3-220	220	33.78	8.55	27.47	8.01	14.90	mc-Si
107	MOTECH	IM54B3-225	225	33.91	8.63	27.82	8.09	15.20	mc-Si
108	MOTECH	IM54B3-230	230	33.81	8.86	27.69	8.31	15.50	mc-Si
109	MOTECH	IM54C3-225	225	33.91	8.63	27.82	8.09	15.20	mc-Si
110	MOTECH	IM54C3-230	230	33.81	8.86	27.69	8.31	15.50	mc-Si
111	MOTECH	IM54C3-235	230	34.03	8.95	27.98	8.40	15.90	mc-Si
112	TRINA SOLAR	Quadmax DC80.08-205	205	46.20	5.83	37.70	5.43	16.00	m-Si
113	TRINA SOLAR	Quadmax DC80.08-210	210	46.60	5.88	38.30	5.48	16.40	m-Si
114	TRINA SOLAR	Quadmax DC80.08-215	215	46.70	5.96	38.40	5.60	16.80	m-Si
115	TRINA SOLAR	DC05A.08-260	260	38.40	9.15	30.20	8.61	15.90	m-Si
116	TRINA SOLAR	DC05A.08-265	265	38.50	9.20	30.60	8.66	16.20	m-Si
117	TRINA SOLAR	DC05A.08-270	270	38.60	9.23	30.80	8.77	16.50	m-Si
118	TRINA SOLAR	PDG5-240	240	37.30	8.50	29.90	8.04	14.30	mc-Si
119	TRINA SOLAR	PDG5-245	245	37.40	8.60	30.10	8.14	14.60	mc-Si
120	TRINA SOLAR	PDG5-250	250	37.50	8.70	30.30	8.26	14.90	mc-Si
121	TRINA SOLAR	PDG5-255	255	37.60	8.80	30.40	8.39	15.20	mc-Si
122	TRINA SOLAR	PC14-285	285	44.70	8.50	35.60	8.02	14.70	mc-Si
123	TRINA SOLAR	PC14-290	290	44.90	8.53	36.10	8.04	14.90	mc-Si
124	TRINA SOLAR	PC14-295	295	45.20	8.55	36.60	8.07	15.20	mc-Si
125	TRINA SOLAR	PC05A-250	250	38.00	8.79	30.30	8.27	15.30	mc-Si
126	TRINA SOLAR	PC05A-255	255	38.10	8.88	30.50	8.37	15.60	mc-Si
127	TRINA SOLAR	PC05A-260	260	38.20	9.00	30.60	8.50	15.90	mc-Si
128	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-240	240	37.00	8.63	29.60	8.11	14.80	mc-Si
129	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-245	245	37.40	8.70	30.10	8.15	15.10	mc-Si
130	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-250	250	37.70	8.79	30.40	8.23	15.50	mc-Si
131	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-255	255	38.00	8.89	30.80	8.29	15.80	mc-Si
132	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-260	260	38.10	8.93	31.20	8.35	16.10	mc-Si

Continuación Anexo E.

Item	Marca	Serie	P _N [W]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
133	HANWHA SOLARONE	HSL 60 Poly-265	265	38.3	8.97	31.5	8.42	16.4	mc-Si
134	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-290	290	44.5	8.69	35.4	8.20	15.0	mc-Si
135	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-295	295	44.8	8.75	35.8	8.26	15.3	mc-Si
136	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-300	300	44.9	8.78	36.1	8.32	15.5	mc-Si
137	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-305	305	45.1	8.85	36.3	8.42	15.8	mc-Si
138	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-310	310	45.2	8.91	36.6	8.48	16.0	mc-Si
139	HANWHA SOLARONE	HSL 72 Poly-315	315	45.3	8.97	36.9	8.55	16.3	mc-Si
140	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-195	195	32.7	8.06	26.8	7.28	13.1	mc-Si
141	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-200	200	32.8	8.24	26.9	7.44	13.4	mc-Si
142	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-205	205	32.9	8.35	27.0	7.60	13.7	mc-Si
143	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-210	210	33.0	8.48	27.1	7.75	14.0	mc-Si
144	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-215	215	33.1	8.54	27.2	7.91	14.4	mc-Si
145	HANWHA SOLARONE	SF190 Poly x-tra-220	220	33.2	8.68	27.3	8.06	14.7	mc-Si
146	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-230	230	36.8	8.34	30.0	7.67	13.9	mc-Si
147	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-235	235	36.8	8.44	30.1	7.81	14.2	mc-Si
148	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-240	240	37.0	8.54	30.2	7.95	14.5	mc-Si
149	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-245	245	37.1	8.64	30.3	8.08	14.8	mc-Si
150	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-250	250	37.2	8.74	30.4	8.22	15.1	mc-Si
151	HANWHA SOLARONE	SF220 Poly x-tra-255	255	37.4	8.85	30.5	8.35	15.4	mc-Si
152	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-275	275	44.1	8.35	36.1	7.62	14.0	mc-Si
153	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-280	280	44.3	8.40	36.1	7.76	14.3	mc-Si
154	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-285	285	44.5	8.45	36.2	7.87	14.5	mc-Si
155	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-290	290	44.7	8.50	36.3	7.99	14.7	mc-Si
156	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-295	295	44.7	8.55	36.4	8.11	15.0	mc-Si
157	HANWHA SOLARONE	SF260 Poly x-tra-300	300	45.0	8.60	36.5	8.22	15.2	mc-Si
158	HANWHA SOLARONE	HSL48-190	190	30.0	8.66	23.9	7.95	14.2	m-Si
159	HANWHA SOLARONE	HSL48-195	195	30.2	8.73	24.1	8.10	14.6	mc-Si
160	HANWHA SOLARONE	HSL48-200	200	30.4	8.80	24.3	8.24	14.9	m-Si
161	HANWHA SOLARONE	HSL48-205	205	30.6	8.87	24.5	8.37	15.3	m-Si
162	HANWHA SOLARONE	HSL48-210	210	30.8	8.94	24.7	8.51	15.7	m-Si
163	HANWHA SOLARONE	HSL48-215	215	31.0	9.01	24.9	8.64	16.1	m-Si
164	HANWHA SOLARONE	HSL60-240	240	36.8	8.52	30.2	7.95	14.5	m-Si
165	HANWHA SOLARONE	HSL60-245	245	37.0	8.6	30.4	8.06	14.8	m-Si

Continuación Anexo E.

Item	Marca	Serie	P _N [W]	V _{OC} [V]	I _{SC} [A]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	η %	Tipo
166	HANWHA SOLARONE	HSL60-250	250	37.2	8.70	30.5	8.20	15.10	m-Si
167	HANWHA SOLARONE	HSL60-255	255	37.4	8.82	30.7	8.32	15.40	m-Si
168	HANWHA SOLARONE	HSL60-260	260	37.6	8.90	30.9	8.41	15.70	m-Si
169	HANWHA SOLARONE	HSL60-265	265	37.8	8.98	31.2	8.50	16.00	m-Si
170	CANADIAN SOLAR	CS6X-300P	300	44.6	8.87	36.1	8.30	15.63	mc-Si
171	CANADIAN SOLAR	CS6X-305P	305	44.8	8.97	36.3	8.41	15.90	mc-Si
172	CANADIAN SOLAR	CS6P-255M	255	37.7	8.87	30.5	8.35	15.85	m-Si
173	CANADIAN SOLAR	CS6P-260M	260	37.8	8.99	30.7	8.48	16.16	m-Si
174	CANADIAN SOLAR	CS6P-250P	250	37.2	8.87	30.1	8.30	15.54	mc-Si
175	CANADIAN SOLAR	CS6P-255P	255	37.4	9.00	30.2	8.43	15.85	mc-Si
176	CANADIAN SOLAR	CS5A-200M	200	45.3	5.71	37.4	5.35	15.65	m-Si
177	CANADIAN SOLAR	CS5A-205M	205	45.4	5.81	37.7	5.43	16.05	m-Si
178	REC	REC240PE	240	36.8	8.75	29.7	8.17	14.50	mc-Si
179	REC	REC245PE	245	37.1	8.80	30.1	8.23	14.80	mc-Si
180	REC	REC250PE	250	37.4	8.86	30.2	8.30	15.10	mc-Si
181	REC	REC255PE	255	37.6	8.95	30.5	8.42	15.50	mc-Si
182	REC	REC260PE	260	37.8	9.01	30.7	8.50	15.80	mc-Si
183	REC	REC265PE	265	38.1	9.08	30.9	8.58	16.10	mc-Si
184	REC	235PE ECO	235	36.6	8.66	29.5	8.06	14.20	mc-Si
185	REC	240PE ECO	240	36.8	8.75	29.7	8.17	14.50	mc-Si
186	REC	245PE ECO	245	37.1	8.80	30.1	8.23	14.80	mc-Si
187	REC	250PE ECO	250	37.4	8.86	30.2	8.30	15.10	mc-Si
188	REC	255PE ECO	255	37.6	8.95	30.5	8.42	15.50	mc-Si

Anexo F. Datos técnicos nominales de los inversores comerciales

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} KW	V _{DC} V	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} KVA	FP	Φ	η %	Tipo
1	KACO	6.0TL3	6	1000	11.0	220/208	7.25	5	0.8	3	97.8	STRING
2	KACO	7.8TL3	7,8	1000	11.0	220/208	9.5	6.5	0.8	3	97.8	STRING
3	KACO	9.0TL3	9	1000	11.0	220/208	10.9	7.5	0.8	3	97.9	STRING
4	KACO	10.0TL3	10	1000	11.0	220/208	13.0	9	0.8	3	97.9	STRING
5	KACO	12.0TL3	12	1000	18.6	230	14.5	10	1	3	98	STRING
6	KACO	14.0TL3	14	1000	18.6	230	18.1	12.5	1	3	98	STRING
7	KACO	18.0TL3	18	1000	18.6	230	21.8	15	1	3	98	STRING
8	KACO	20.0TL3	20	1000	18.6	230	24.6	17	1	3	97.6	STRING
9	KACO	30.0TL3	30	1000	34.0	230	36.2	25	1	3	98	STRING
10	KACO	33.0TL3	33	1000	34.0	230	39.9	27.5	1	3	98	STRING
11	KACO	36.0TL3	36	1000	34.0	230	43.5	30	1	3	98	STRING
12	KACO	39.0TL3	39	1000	34.0	230	48.3	33.3	1	3	98	STRING
13	KACO	40.0TL3	40	1000	34.0	230	52.2	36	1	3	98	STRING
14	KACO	48.0TL3	48	1000	34.0	277	48,1	40	1	3	98	STRING
15	KACO	60.0TL3	60	1000	36.0	230	72.2	49.9	1	3	97.9	STRING
16	KACO	72.0TL3	72	1000	36.0	277	72.2	60	1	3	98	STRING
17	KACO	Powador 3200	3.2	800	8.60	264	11.3	2.6	1	1	96.6	STRING
18	KACO	Powador4200	4.2	800	11.50	264	15	3.45	1	1	96.6	STRING
19	KACO	Powador4400	4.4	800	12.50	264	15.6	3.6	1	1	96.5	STRING
20	KACO	Powador5300	5.3	800	14.50	264	19.1	4.4	1	1	96.4	STRING
21	KACO	Powador5500	5.5	800	15.20	264	20	4.6	1	1	96.3	STRING
22	KACO	Powador6600	6.6	800	18.00	264	23.9	5.5	1	1	96.3	STRING
23	KACO	Powador7700	7.7	800	19.00	264	27.8	6.4	1	1	96.6	STRING
24	KACO	Powador7900	7.9	800	19.70	264	28.9	6.65	1	1	96.7	STRING
25	KACO	Powador8600	8.6	800	21.40	264	31.3	7.2	1	1	96.6	STRING
26	KACO	Powador9600	9.6	800	24.00	264	35	8	1	1	96.6	STRING
27	KACO	16.0TR3	16	1000		230	19.5	13.5	1	3	96.2	STRING
28	KACO	18.0TR3	18	1000		230	21.7	15	1	3	96.2	STRING
29	KACO	Powador2002	2	600	14.3	264	7.2	1.65	1	1	95.9	STRING
30	KACO	Powador3002	3	600	13.5	264	10.9	2.5	1	1	96	STRING

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} KW	V _{DC} V	I _{DC} A	V _{AC} V	I _{AC} A	P _{AC} KVA	FP	Φ	η %	Tipo
31	KACO	Powador4202	4.2	600	18.5	264	15.2	3.5	1	1	95.6	STRING
32	KACO	Powador5002	5	600	22.4	264	18.3	4.2	1	1	95.9	STRING
33	KACO	Powador6002	6	600	26.5	264	20	4.6	1	1	95.9	STRING
34	KACO	XP500-HV-TL	600	1000	1091	220	780	500	1		98.5	STRING
35	KACO	XP500-HV-TL	660	1000	1200	220	858	550	1		98.5	STRING
36	ABB	PVI-275.0-TL	275	1000	123	320	505	305	1	3	98	IC
37	ABB	PVI-330.0	330	1000	123	400	480	366	1	3	96.7	IC
38	ABB	PVI-330.0-TL	330	1000	123	320	606	366	1	3	98	IC
39	ABB	PVI-134.0-TL	134	1000	123	380	203	148	1	3	98	IC
40	ABB	PVI-200.0-TL	200	1000	123	380	304	222	1	3	98	IC
41	ABB	PVI-267.0-TL	267	1000	123	380	405	296	1	3	98	IC
42	ABB	PVI-334.0-TL	334	1000	123	380	507	371	1	3	98	IC
43	ABB	PVI-400.0-TL	400	1000	123	380	608	440	1	3	98	IC
44	ABB	ULTRA-700.0-TL	700	1000	694	690	650	780	1	3	98.7	IC
45	ABB	ULTRA-1050.0-TL	1050	1000	694	690	975	1170	1	3	98.7	IC
46	ABB	ULTRA-1400.0-TL	1400	1000	694	690	1300	1560	1	3	98.7	IC
47	KOSTAL	PIKO 3.0	4.3	900	12.5	234.5	13.7	3	1	1	96.2	IOSP
48	KOSTAL	PIKO 10	10.8	1000	36	264	16.2	10	1	3	97.7	IOSP
49	KOSTAL	PIKO 12	12.9	1000	18	264	19.3	12	1	3	97.7	IOSP
50	KOSTAL	PIKO 15	16.9	1000	40/20	264.5	24.2	15	1	3	97.9	IOSP

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
51	KOSTAL	PIKO 17	19.2	1000	40/20	264.5	27.4	17	1	3	98	IOSP
52	KOSTAL	PIKO 4.2		950	13	230	6.1	3.68	1	3	96.5	IOSP
53	KOSTAL	PIKO 5.5	5.5	950	9	230	10.2	5	1	3	96.2	IOSP
54	KOSTAL	PIKO 5.5 10A	5.5	950	10	264.5	8	5	1	3	96.2	IOSP
55	KOSTAL	PIKO 7.0	7	950	12.5	230	10.2	7	1	3	97	IOSP
56	KOSTAL	PIKO 8.3	8.3	950	12.5	230	21	8.3	1	3	97	IOSP
57	KOSTAL	PIKO 10.1	10	950	12.5	230	21	10	1	3	97	IOSP
58	POWER ELECTRONICS	400VAC- FS01350CH	1350	1000	2700	230	2208	1530	1		98.6	STRING
59	POWER ELECTRONICS	400VAC- FS01500CH	1500	1000	3000	400	2454	1700	1	–	98.6	STRING
60	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS0435CH	435	1000	900	380	729	480	1	–	98.6	STRING
61	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS0580CH	580	1000	1200	380	972	640	1	–	98.6	STRING
62	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS0725CH	725	1000	1500	380	1215	800	1	–	98.6	STRING
63	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS0870CH	870	1000	1800	380	1459	960	1	–	98.6	STRING
64	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS1015CH	1015	1000	2100	380	1702	1120	1	–	98.6	STRING
65	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS1160CH	1160	1000	2400	380	1945	1280	1	–	98.6	STRING
66	POWER ELECTRONICS	380VAC-FS1305CH	1305	1000	2700	380	2188	1440	1	–	98.6	STRING

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
67	POWER ELECTRONICS	380VAC- FS1450CH	1450	1000	3000	380	2431	1600	1	–	98.6	STRING
68	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS0420CH	420	1000	900	360	722	450	1	–	98.6	STRING
69	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS0560CH	560	1000	1200	360	962	600	1	–	98.6	STRING
70	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS0702CH	702	1000	1500	360	1203	750	1	–	98.6	STRING
71	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS0840CH	840	1000	1800	360	1443	900	1	–	98.6	STRING
72	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS0980CH	980	1000	2100	360	1684	1050	1	–	98.6	STRING
73	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS1120CH	1120	1000	2400	360	1925	1200	1	–	98.6	STRING
74	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS1260CH	1260	1000	2700	360	2165	1350	1	–	98.6	STRING
75	POWER ELECTRONICS	360VAC- FS1400CH	1400	1000	3000	360	2406	1500	1	–	98.6	STRING
76	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0160CU	192	600	500	208	444	160	1	–	98.6	STRING
77	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0240U	288	600	750	208	666	240	1	–	98.6	STRING
78	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0320CU	384	600	1000	208	888	320	1	–	98.6	STRING
79	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0400CU	480	600	1250	208	1110	400	1	–	98.6	STRING
80	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0480CU	576	600	1500	208	1332	480	1	–	98.6	STRING
81	POWER ELECTRONICS	208VAC- FS0560CU	672	600	1750	208	1554	560	1	–	98.6	STRING

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
82	POWER ELECTRONICS	208VAC-FS0640CU	768	600	2000	208	1776	640	1	—	98.6	STRING
83	SMA	sunny boy 2000HF	2.1	700	12	220	11.4	2	1	1	95	IOSP
84	SMA	sunny boy 2500HF	2.6	700	15	220	14.2	2.5	1	1	95.3	IOSP
85	SMA	sunny boy 3000H	3.15	700	15	220	15	3	1	1	95.4	IOSP
86	SMA	Sunny Tripower5000TL	5.1	1000	11	280	7.3	5	1	3	98	STRING
87	SMA	Sunny Tripower6000TL	6.125	1000	11	280	8.7	6	1	3	98	STRING
88	SMA	Sunny Tripower7000TL	7.175	1000	15	280	10.2	7	1	3	98	STRING
89	SMA	Sunny Tripower8000TL	8.2	1000	15	160-280	11.6	8	1	3	98	STRING
90	SMA	Sunny Tripower9000TL	9.225	1000	15	160-280	13.1	9	1	3	98	STRING
91	SMA	Sunny Tripower10000TL	10.2	1000	33	160-280	16	10	1	3	98.1	STRING
92	SMA	Sunny Tripower12000TL	12.25	1000	33	160-280	19.2	12	1	3	98.1	STRING
93	SMA	Sunny Tripower15000TL	15.34	1000	33	160-280	24	15	1	3	98.2	STRING
94	SMA	Sunny Tripower17000TL	17.41	1000	33	160-280	24.6	17	1	3	98.2	STRING
95	SMA	Sunny Tripower15000TL	15.26	1000	36	160-280	24	15	1	3	98.5	STRING

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
96	SMA	Sunny Tripower20000T L	20.45	1000	36	280	29	20	1	3	98.5	STRING
97	SOLAR MAX	SolarMax330TS- SV	330	900	720	280	700	340	0.8	3	98	IC
98	SOLAR MAX	SolarMax660TS- SV	660	900	1440	280	1400	680	0.8	3	98	IC
99	SOLAR MAX	SolarMax990TS- SV	990	900	2160	280	2100	1020	0.8	3	98	IC
100	SOLAR MAX	SolarMax1320T S-SV	1320	900	2880		2800	1360	0.8	3	98	IC
101	SOLAR MAX	SolarMax360TS- SV	360	900	720	320	666	370	0.8	3	98	IC
102	SOLAR MAX	SolarMax720TS- SV	720	900	1440	320	1332	740	0.8	3	98	IC
103	SOLAR MAX	SolarMax1080T S-SV	1080	900	2160	320	1998	1110	0.8	3	98	IC
104	SOLAR MAX	SolarMax1440T S-SV	1440	900	2880	320	2664	1480	0.8	3	98	IC
105	OUTBACK POWER	FX2012T	2	12	-	-	40	4.8			90	ICS
106	OUTBACK POWER	FX2524T	2.5	24	-	-	50	6			93	ICS
107	OUTBACK POWER	FX3048T	3	24	-	-	50	6			93	ICS
107	OUTBACK POWER	FX3048T	3	24	-	-	50	6			93	ICS
108	OUTBACK POWER	VFX2812	2.8	12	-	-	40	4.8			90	ICS
109	OUTBACK POWER	VFX3524	3.5	24	-	-	50	6			92	ICS
110	OUTBACK POWER	VFX3648	3.6	48	-	-	50	6			93	ICS
111	OUTBACK POWER	GS8048A	8	48	33.3	70- 280	50	16.97			93	ICS

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
112	OUTBACK POWER	GS4048A	4	48	16.7	85-140	50	8.5			92.5	ICS
113	OUTBACK POWER	GS7048E	7	48	30	170-290	50	16.3			92	ICS
114	OUTBACK POWER	GS3548E	3.5	48	15.2	170-290	50	8.2			92	ICS
115	OUTBACK POWER	FX2012MT	2	12	80	80-150	40	4.8			90	ICS
116	OUTBACK POWER	FX2524MT	2.5	24	55	80-150	50	6			92	ICS
117	OUTBACK POWER	FX2532MT	2.5	32	35	80-150	40	4.8			92	ICS
118	OUTBACK POWER	FX2536MT	2.5	36	35	80-150	40	4.8			92	ICS
119	OUTBACK POWER	FX3048MT	3	48	35	80-150	50	6			93	ICS
120	OUTBACK POWER	VFX2812M	2.8	12	125	80-150	40	4.8			90	ICS
121	OUTBACK POWER	VFX3524M	3.5	24	85	80-150	50	6			92	ICS
122	OUTBACK POWER	VFX3232M	3.2	32	45	80-150	40	4.8			92	ICS
123	OUTBACK POWER	VFX3236M	3.2	36	45	80-150	40	4.8			92	ICS
124	OUTBACK POWER	VFX3648M	3.6	48	45	80-150	50	6			93	ICS
125	OUTBACK POWER	GFX1312	1.3	12	130	70-140	56	4.6			90	ICS
126	OUTBACK POWER	GFX1424	1.4	24	70	70-140	56	4.6			92	ICS

Continuación Anexo F.

Ítem	Marca	Serie	P _{DC} [KW]	V _{DC} [V]	I _{DC} [A]	V _{AC} [V]	I _{AC} [A]	P _{AC} [KVA]	FP	Φ	η %	Tipo
127	OUTBACK POWER	GFX1548	1.5	48	37.5	70-140	56	4.6			93	ICS
128	OUTBACK POWER	OBX-IC2014S	2	24	55	80-150	60	6			92	ICS
129	OUTBACK POWER	OBX-IC2524P	2.2	24	55	80-150	60	6			92	ICS
130	OUTBACK POWER	OBX-IC3524P	3.5	24	85	80-150	60	6			92	ICS
131	OUTBACK POWER	OBX-IC2024P	2	24	55	160-300	60	575			92	ICS
132	OUTBACK POWER	GTFX2524	2.5	24	50	80-150	50	6			92	ICS
133	OUTBACK POWER	GTFX3048	3	48	35	80-150	50	6			93	ICS
134	OUTBACK POWER	GVFX3524	3.5	24	85	80-150	50	6			92	ICS
135	OUTBACK POWER	GVFX3648	3.6	48	45	80-150	50	6			93	ICS

Anexo G. Datos técnicos nominales de los reguladores de carga comerciales.

Ítem	Marca	Serie	V _{SN} [V]	I _{NB} [A]	V _{ME} [V]	P _{EM} [W]	T _T [°C]	Dimensiones [mm]	Autoconsumo
1	HISSUMA SOLAR	PWM LS3024B	12/24	30	50	1500	-35 a 55	200,6x101,3x57	8,4 m A (12V) 7,8 m A (24V)
2	HISSUMA SOLAR	PWM LS2024B	12/24	20	50	1000	-35 a 55	159,6x81,4x47,8	8,4 m A (12V) 7,8 m A (24V)
3	HISSUMA SOLAR	PWM LS2024B	12/24	10	50	500	-35 a 55	138,6x69,3x37	8,4 m A (12V) 7,8 m A (24V)
4	HISSUMA SOLAR	MPPT Tracer 3215RN	12/24	30	32	390 (12 V) 780 (24V)	-35 a 55	242x169x91	< 10 m A (24 V)
5	HISSUMA SOLAR	MPPT eTracer ET6415N	12/24/ 36/48	60	150	800 (12 V) 1600 (24V) 2400 (36V) 3200 (48V)	-25 a 55	285x203x121	1,4 - 2,2 W
6	HISSUMA SOLAR	MPPT eTracer ET4415N	12/24/ 36/48	45	150	600 (12V) 1200 (24V) 1800 (36V) 2400 (48V)	-25 a 55	285x103x105	1,4 - 2,2 W
7	HISSUMA SOLAR	MPPT eTracer E3415N	12/24/ 36/48	30	150	400 (12V) 800 (24V) 1200 (36V) 1600 (48V)	-25 a 55	231x203x105	1,4 - 2,2 W
8	SUNSAVER MPPT TM	SS-MPPT-15L	12/24	15	75	200 (12V) 400 (24V)	-30 a 60	169x64x52	35 m A

Continuación Anexo G.

9	SOLARES SOLSUM	SOLSUM 10.10	12/24	10	47	-	-25 a 50	145 x 97,15 x 23,93	< 4 m A
10	SOLARES SOLSUM	SOLSUM 8.8	12/24	8	47	-	-25 a 50	145 x 97,15 x 23,93	< 4 m A
11	SOLARES SOLSUM	SOLSUM 6.6	12/24	6	47	-	-25 a 50	145 x 97,15 x 23,93	< 4 m A
12	SOLARES SOLSUM	SOLSUM 8.0	12/24	8	47	-	-25 a 50	145 x 97,15 x 23,93	< 4 m A
13	ZIGOR SOLAR	ZIGOR SOLAR VE2 20 20033	12/24	20	40	-	-25 a 50	175x105x45	< 5 m A
14	ZIGOR SOLAR	ZIGOR SOLAR SA6 60 20036	36/48	60	140	-	-25 a 60	190x335x100	< 30 m A
15	ZIGOR SOLAR	ZIGOR SOLAR SA6 30 20040	12/24	30	70	-	-25 a 60	190x112x59	< 1 m A
16	ZIGOR SOLAR	ZIGOR SOLAR SA6 20 20039	12/24	20	70	-	-25 a 60	190x112x59	< 1 m A
17	CONERGY SCC ECO	CONERGY eco 20A	12/24	20	-	-	-	163 x 105 x 44	< 4 m A
18	CONERGY SCC ECO	CONERGY Visión 40A	12/24	40	SR	-	SR	198 x 105 x40 mm	< 4 mA

Anexo H. Proyectos fotovoltaicos construidos en Colombia 2010-2014.

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Configuración
Electrificación a escuelas rurales	IPSE	Guajira, Chocó y Meta	2010		
SFV en el Municipio Nazareth	IPSE	La Guajira	2010	150	SFCH
SFV en Isla Fuerte	IPSE	Bolivar	2010	25	
Electrificación rural	IPSE	Unguia	2013	86,94	SFVCR con inversión descentralizada
Industrias PARTMO	SENNSSTECH SOLUCIONES	Bucaramanga	2011	30	SFVCR con inversión descentralizada
76 viviendas rurales	HIBRYTEC	Meta	2013	15,2	SFA con cargas AC y almacenamiento de energía
Bombeo de agua.	HIBRYTEC	Villavicencio	2011	5,94	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
Colegio Rochester	HIBRYTEC	Bogotá	2012	19,74	SFVCR con inversión descentralizada
SFV BIPV, restaurante La Fama	HIBRYTEC	Bogotá	2012	1,8	SFVCR con inversión descentralizada
SFV SENA Caldas	HIBRYTEC	Manizales	2012	2,1	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Antena repetidora EDATEL	HIBRYTEC	Antioquía	2013	0,54	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía.
Incolmotos-Yamaha	HIBRYTEC	Girardota	2013	35	SFVCR con inversión descentralizada
SFV SENA El Pedregal	HIBRYTEC	Medellín	2010	5	SFVCR con inversión descentralizada

Continuación Anexo H

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Configuración
Jardín botánico Joaquín Antonio Uribe	HIBRYTEC	Medellín	2010	3	SFVCR con inversión descentralizada
Universidad Pontificia Bolivariana – EPM	HIBRYTEC	Medellín	2013	6,27	SFVCR con inversión descentralizada
				0,78	SFVCR con derivación a cargas en DC
UNE-EPM	HIBRYTEC	Medellín	2013	11,76	SFVCR con inversión descentralizada
Universidad Pontificia Bolivariana	HIBRYTEC	Medellín	2013	4,9	SFVCR con inversión descentralizada
Electrificación de 12 escuelas	HIBRYTEC	Ituango	2012	12,5	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Bombeo de agua	HIBRYTEC	Capitanejo	2010	1,48	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
SFV SENA Santander	HIBRYTEC	El Playón	2012	4,8	SFA con cargas DC y AC almacenamiento de energía
Prototipo bioclimático, Universidad Nacional de Colombia	HIBRYTEC	Titumate	2012	1,5	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Ampliación del centro de acopio de pescadores de Isla Fuerte	IPSE, HIBRYTEC y UNAL	Bolívar	2012	2,25	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Biblioteca de Isla Fuerte	IPSE, HIBRYTEC y UNAL	Bolívar	2012	1	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía

Continuación Anexo H.

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Configuración
Bombeo de agua	HIBRYTEC	Lorica	2012	2,34	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
SFV híbrido cabañas Barú	HIBRYTEC	Barú	2010	1,5	SFVCH
Fundación Semana / Chevron	HIBRYTEC	El Carmen	2012	6,47	SFVCH
Electrificación rural comunidad indígena	HIBRYTEC	Sierra Nevada Santa Marta	2013	45	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Bombeo de agua	HIBRYTEC	Aguachica	2011	0,520	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
Bombeo de agua	HIBRYTEC	Uribí	2010	0,740	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
SFV SENA Guajira	HIBRYTEC	Riohacha	2012	5,64	SFVCH
SFV SENA Guajira	HIBRYTEC	Fonseca	2012	1,490	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
SFV para operar un congelador en la ranchería de Ishipa.	HIBRYTEC	Ishipa	2010	0,240	SFA con cargas DC sin almacenamiento de energía
Consorcio Odinsa	APROTEC	Santa Marta	2010	0,34	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Pacific Rubiales	APROTEC	Guaduas	2010	2,64	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Armada Nacional de Colombia y cabaña de Parques Nacionales	APROTEC	Malpelo	2010	1,8	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Electrificación rural	APROTEC	Popayán	2011	0,645	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Telecomunicaciones	APROTEC	Darién	2011	0,810	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía

Continuación Anexo H.

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Configuración
Electrificación a escuelas rurales	APROTEC	Humane Mar	2012	0,240	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Bombeo de agua	APROTEC	Palmira	2012	0,240	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Plantas Didácticas	APROTEC	Pereira	2013	0,240	SFA cargas AC Y DC con almacenamiento de energía
Electrificación Rural	APROTEC	El Cerriito		0,340	SFA cargas AC con almacenamiento de energía
Telecomunicaciones	APROTEC	Vichada		0,425	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Centro de telemetría de ECOPETROL	APROTEC	Popayán		0,650	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Centro de telemetría de ECOPETROL	APROTEC	Popayán		0,650	SFVCR con inversión descentralizada
SFCR Universidad Autónoma de Occidente	APROTEC	Cali		0,510	SFVCR con inversión descentralizada
Edificio Santa Mónica	APROTEC			1,3885	SFVCR con inversión descentralizada
Futurama	APROTEC			1	SFVCR con inversión descentralizada
Iluminación túnel Santa Rosa	ALTA INGENIERÍA	Dos Quebradas		20	SFA con cargas DC con almacenamiento de energía
Electrificación escuelas rurales	AMBIENTE SOLUCIONES	Antioquía	2013	1,8	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía

Continuación Anexo H.

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Configuración
Electrificación rural Isla Grande	HEMEVA	Islas Rosario	2010	0,825	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Circuito de vigilancia nocturna y súper-emergencia Falabella	HEMEVA	Bogotá	2010	1,5	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Circuito de vigilancia nocturna y súper-emergencia Falabella	HEMEVA	Medellín	2010	1,5	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Circuito de vigilancia nocturna y súper-emergencia Falabella	HEMEVA	Medellín	2010	1,5	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Electrificación rural	HEMEVA	Unguía	2011	16,56	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Circuito de vigilancia nocturna y súper-emergencia Falabella	HEMEVA	Barranquilla	2012	2,340	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía
Suministro de energía tienda Falabella	HEMEVA	Bogotá	2012	9,360	SFVCR con inversión descentralizada
Suministro de energía tienda Falabella	HEMEVA	Cartagena	2012	9,360	SFVCR con inversión descentralizada
Suministro energía Banco de la Republica	HEMEVA	Neiva	2012	16,650	SFVCR con inversión descentralizada
Implementación de siete SFV para el departamento de Vichada	HEMEVA	Vichada	2014	29,63	SFA con cargas AC con almacenamiento de energía

Continuación Anexo H.

Proyecto	Entidad	Lugar	Año	Carga kW	Solución Tecnológica
Integración arquitectónica edificio UDI	Universidad de Desarrollo e Investigación	Bucaramanga	2013	21	SFCR con inversión descentralizada
Integración arquitectónica edificio Universidad Tadeo Lozano	Universidad Tadeo Lozano	Bogotá	2013	6	SFVCH
Planta fotovoltaica conectada a red	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá	2010	3,6	SFVCR con inversión descentralizada
SFV residencial	ERCO	Medellín	2014	0,25	SFVCR con inversión descentralizada

Anexo I. Encuestas para la caracterización de los SFV en Colombia.

ÍTEM	PREGUNTAS	Respuestas	
		Si	No
1	¿Cuál de los siguientes componentes fotovoltaicos comercializa su empresa?		
A	Paneles Fotovoltaicos	8	2
B	Inversores de señal DC/AC	7	2
C	Reguladores de carga	8	2
D	Baterías	7	2
2	¿A cuál tecnología corresponden los módulos que comercializa su empresa?		
A	Silicio monocristalino	8	2
B	Silicio policristalino	6	4
C	Telurio de Cadmio	2	
D	CIGS o Diseleniuro de Cobre-Indio-Galio	2	
E	Silicio amorfo	4	
F	Micro-cristal de silicio	1	
G	Concentración fotovoltaico o tándem	0	
3	¿De qué tipo de tecnología son los inversores que comercializa su empresa?		
A	Inversores de conmutación forzada	7	
B	Inversores de conmutación natural	4	
C	Micro-inversores	2	
D	Inversores cargadores	2	
4	¿De qué tipo son los reguladores de carga que comercializa su empresa?		
A	Control lineal serie PWM	8	
B	Control lineal paralelo PWM	8	
C			
5	¿A qué tecnología corresponden las baterías que comercializa su empresa?		
A	Plomo-ácido	6	
B	Plomo-ácido GEL	3	
C	Plomo-ácido AGM	2	
D	Níquel-cadmio	1	

Continuación Anexo I.

ÍTEM	PREGUNTAS	Respuesta	
		Si	No
1	¿Considera usted, que la tecnología fotovoltaica puede aportar soluciones energéticas a la demanda actual de energía eléctrica en Colombia?	3	1
2	Teniendo en cuenta la tendencia global de implementar fuentes de energías renovables, ¿Cree que la empresa en la que usted trabaja, invertiría en tecnología fotovoltaica para generar electricidad a gran escala, con el objetivo de interconectarse a la red de distribución de energía eléctrica?	4	0
3	¿Cree usted, que el gobierno nacional debería regular la implementación de los sistemas fotovoltaicos en Colombia?	4	0
4	¿Porque razón cree que la empresa a la que usted pertenece, no invertiría en tecnología fotovoltaica?		
a	No está regulada	4	0
b	No es rentable		
c	No es confiable		
d	Todas las anteriores		

Continuación Anexo I.

ÍTEM	PREGUNTAS	Respuesta	
		Si	No
1	¿Considera que la tecnología fotovoltaica, puede aportar soluciones energéticas a la demanda actual de energía eléctrica en Colombia?	19	0
2	¿Conoce alguna resolución CREG referente a los sistemas fotovoltaicos? ¿Cuál?	6	13
3	¿Cree usted, que Colombia está preparado socialmente para la implementación masiva de sistemas fotovoltaicos?	10	9
4	¿Considera usted, que Colombia está preparado tecnológicamente para la implementación masiva de sistemas fotovoltaicos?	10	9
5	¿Cree usted, que la tecnología fotovoltaica puede convertirse en un renglón estratégico del sector energético que ayude a incentivar el crecimiento de la economía del país?	15	4
6	¿Confía usted, en los servicios de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos que hay en Colombia actualmente?	13	6
7	¿Cree usted, que la tecnología fotovoltaica es una oportunidad de desarrollo empresarial en Colombia?	18	1
8	¿Considera usted, que Colombia está en la capacidad de desarrollar innovación y alta tecnología en sistemas de generación de energía eléctrica a partir del estado actual de la tecnología fotovoltaica?	13	6
9	¿Considera usted, que es necesario que en Colombia se invierta en investigación orientada al desarrollo e implementación de tecnología fotovoltaica?	19	0
10	Teniendo en cuenta la tendencia global de implementación de fuentes de energías renovables, considera usted que, ¿el gobierno nacional debería apoyar e incentivar la implementación de sistemas fotovoltaicos?	18	1

Continuación Anexo I.

ÍTEM	PREGUNTAS	Respuesta	
		Si	No
1	¿Sabe usted, que es un panel fotovoltaico?	68	32
2	¿Invertiría usted, en un sistema fotovoltaico para su autoabastecimiento de energía eléctrica?	80	20
3	¿Por qué razón, usted invertiría en tecnología fotovoltaica?		
a	Cuidado al medio ambiente	80	20
b	Autonomía de generación de energía eléctrica	35	65
c	No paga servicio de energía eléctrica	29	71
d	Economía	44	56
4	¿Por qué razón, usted no invertiría en tecnología fotovoltaica?		
a	Falta de una norma legal nacional que regule y controle su implementación	29	71
b	Muy costosa	41	59
c	Poca eficiencia	10	90
d	No le interesa	11	89
5	¿Considera usted, que el gobierno nacional debería apoyar e incentivar la implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia?	91	9
6	¿Confía usted, en los servicios de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos que hay en Colombia actualmente?	33	67
7	¿Considera usted, que la tecnología fotovoltaica es una oportunidad de desarrollo empresarial en Colombia?	91	9
8	¿Considera usted, que la tecnología fotovoltaica puede aportar soluciones energéticas a la demanda actual de energía eléctrica en Colombia?	94	6
9	¿Considera usted, que la tecnología fotovoltaica puede convertirse en un renglón estratégico del sector energético que ayude a incentivar el crecimiento de la economía del país?	75	25