

# Aspectos técnicos y regulatorios para la implementación de generación eléctrica fotovoltaica a nivel residencial en Colombia

## Regulatory and technical aspects for the implementation of residential photovoltaic power generation in Colombia

Jose L. Melendez<sup>1</sup>, Oscar M. Cruz <sup>2</sup>, Juan D. Bastidas<sup>3</sup>, Oscar A. Quiroga<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: jose.melendez1@correo.uis.edu.co

<sup>2</sup>Grupo de investigación GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: oscar.cruz@correo.uis.edu.co

<sup>3</sup>Grupo de investigación CEMOS, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: jdbastir@uis.edu.co

<sup>4</sup>Grupo de investigación GISEL, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Email: oquirosa@uis.edu.co

RECIBIDO: abril 21, 2017. ACEPTADO: junio 02, 2017. VERSIÓN FINAL: noviembre 01, 2017

### RESUMEN

En Colombia, en el año 2014, el gobierno nacional formuló la Ley 1715, con el objetivo de integrar las fuentes de energía no convencionales al sistema energético nacional y diversificar la matriz energética. Una de las alternativas más atractivas es la energía solar fotovoltaica, dado que el país cuenta con un gran potencial solar, los precios de esta tecnología han venido disminuyendo año tras año y se pueden desarrollar aplicaciones a muy pequeña escala, como es el caso de las instalaciones residenciales.

Por lo anterior, en este artículo se revisa la regulación y normativa colombiana referente al tema de implementación de las instalaciones fotovoltaicas y se compara con la de otros países, identificando aspectos a mejorar. Así mismo, se analiza la viabilidad financiera de este tipo de instalaciones a nivel residencial.

El estudio realizado muestra que, con los precios actuales de la tecnología, la inversión en este tipo de instalaciones a muy pequeña escala resulta aún poco atractiva, por lo que los incentivos contemplados en la ley 1715 para este tipo de proyectos, entran a jugar un papel muy importante. Asimismo, la reglamentación y la normativa vigentes en Colombia requieren de actualización urgente para que se pueda lograr la implementación segura de la generación fotovoltaica a nivel residencial y se garantice su adecuada interacción con la red de distribución eléctrica convencional.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Solar Fotovoltaica, Fuentes no Convencionales de Energía, Instalaciones Residenciales, Consideraciones Técnicas, Consideraciones Financieras, Consideraciones Regulatorias.

### ABSTRACT

In Colombia, in 2014, the national government made the 1715 law with the aim of integrating unconventional energy sources into the national energy system and diversifying the energy matrix. One of the most attractive alternatives is the photovoltaic solar energy, since the country has a great potential solar. Moreover, the prices of this technology have been decreasing year after year and due to that applications can be developed on a very small scale as in the case of residential facilities.

Therefore, this article reviews regulation and Colombian standards relating to the implementation of photovoltaic facilities and compares them with other countries, identifying aspects to improve. Likewise, the financial viability of this type of residential facility is analyzed.

The study shows that with the current technology prices the investment in this type of facilities at a very small scale is still unattractive. Thus, incentives covered by 1715 law for this type of projects play an important role. In the same way, regulations in force in Colombia requires an urgent update so that, the safe implementation of photovoltaic generation can be achieved at the residential level and its adequate interaction with the conventional electrical distribution network can be guaranteed.

**KEYWORDS:** Photovoltaic Solar Energy, Non-Conventional Energy Sources, Residential Facilities, Technical Considerations, Financial Considerations, Regulatory Considerations.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el último informe del REN 21 la capacidad mundial de energía FV ha crecido exponencialmente, siendo 10 veces mayor que hace una década, alcanzando una potencia instalada de 227 GW a nivel mundial para el año 2015 [5]. Países como Alemania, España, y México han implementado generación fotovoltaica a diferente escala, destacándose la generación a pequeña escala por integrar a los usuarios residenciales, permitiéndoles generar su propia energía y en algunos casos inyectarla a la red local [5]. Con lo anterior, surge la necesidad de conocer el panorama colombiano y evaluar los aspectos técnicos y regulatorios que se exigen para la implementación de este tipo de energía a nivel residencial.

Para conocer a manera general el panorama nacional, se revisaron algunos aspectos relevantes, los cuales se detallan a continuación.

En la parte regulatoria se contempló el estudio de lo referente a generación fotovoltaica en la Ley 1715 de 2014, la cual entró a regular la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. En el mismo sentido se estudió la sección 690 del Código Eléctrico Colombiano [4], referente a la instalación de paneles solares y se comparó con el National Electric Code [3], buscando encontrar diferencias significativas, dado que la última actualización del código colombiano se hizo en 1998.

En las consideraciones técnicas se tuvieron en cuenta los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos usados en instalaciones residenciales, sin embargo, dadas ciertas ventajas, se planteó el diseño básico de un sistema fotovoltaico interactivo, con el fin de definir aquellos requerimientos que se deben tener en cuenta, como sus limitantes, los equipos necesarios y el mantenimiento.

El análisis financiero contempló casos de estudio particulares del departamento de Santander, donde se tuvo en cuenta el estrato socioeconómico y la radiación solar de la zona, en búsqueda de vislumbrar las posibles oportunidades económicas que presenta el uso de estos sistemas en instalaciones residenciales.

## 2. ANÁLISIS DE EL ENTORNO REGULATORIO Y NORMATIVO

A continuación se detallan los resultados obtenidos:

### 2.1. Entorno regulatorio y normativo colombiano

En la revisión del entorno regulatorio y normativo se encontró que es poco el desarrollo referente a generación

fotovoltaica, debido principalmente a la falta de políticas públicas, sin embargo, en el 2014 surge una coyuntura, pues con la expedición de la ley 1715[2] se integran formalmente las fuentes no convencionales al sistema energético nacional, las cuales no eran contempladas antes de esta fecha.

#### 2.1.1. Ley 1715 de 1014

El objetivo principal de la ley 1715 es establecer el marco legal y los instrumentos necesarios para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable. Para lograrlo ha delegado diversas funciones a diferentes entidades gubernamentales, entre las que se encuentran: El Ministerio de Minas y Energía, la CREG, la UPME, y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Así mismo se definió una política energética, donde se incluirán a los usuarios en el mercado de energía y se implementarán incentivos buscando que las FNCE sean atractivas económica mente.

#### 2.1.2. La Ley 1715 y la generación fotovoltaica

En lo que concierne a la generación fotovoltaica, en la Ley 1715 se encontró que se debe establecer una reglamentación específica acorde a la fuente y al tipo de instalación ya sea residencial, comercial o industrial.

También se plantea un escenario donde los usuarios puedan instalar paneles solares en sus casas, exportar los excedentes de generación a la red y bajo la figura de facturación neta, usando medición bidireccional, obtener un crédito para el consumo de energía en otro momento.

Por otro lado, se pretende evaluar la viabilidad de un proyecto donde se reemplazará el subsidio que reciben los estratos 1, 2 y 3 en su factura de electricidad, por la implementación de generación fotovoltaica.

#### 2.1.3. El RETIE y las instalaciones solares fotovoltaica

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas [6] establece que los paneles solares fotovoltaicos deben cumplir con un Certificado de Conformidad de Producto, y que la instalación eléctrica y el montaje deben hacerse conforme a la Sección 690 de la NTC 2050 por un profesional competente.

Por su parte, la norma NTC-2050, establece en su sección 690 los requisitos técnicos exigibles para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

#### 2.1.4. NTC-2050 vs NFPA-70 del 2014

La comparación de la norma NFPA-70 con la NTC-2050 en sus secciones correspondientes a sistemas

fotovoltaicos, permitió apreciar la desactualización de la norma colombiana. Destacándose una deficiencia a la hora de implementar un sistema fotovoltaico usando topologías y tecnología actual siguiendo los lineamientos de la norma colombiana, ya que se encontrará un vacío de carácter técnico, debido a que ésta basó sus lineamientos en la tecnología disponible en 1998 y se sabe que la tecnología en esta área ha avanzado considerablemente en los últimos años.

Por otro lado, se encontraron diferencias más ligadas al sistema eléctrico como tal, ya que en la NFPA-70 se considera el uso de niveles de tensión más elevados en ciertos casos, evidenciándose así, que, si bien Colombia ha tenido un crecimiento energético considerable, es imprescindible actualizar esta norma, conforme a su desarrollo y proyección en el uso de este tipo de sistemas.

### **3. CONSIDERACIONES DE CARÁCTER TÉCNICO**

Para la implementación y buen funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones técnicas relacionadas principalmente con la radiación solar de la zona, el tipo de sistema a implementar, el tipo de panel, las limitaciones de espacio y el mantenimiento.

#### **3.1. Potencial solar de la zona**

Tomando como referentes, el promedio de irradiación mundial de 3.9 kWh/m<sup>2</sup>/día y a su vez el promedio de irradiación de Alemania, que es un país que se encuentra a la vanguardia del desarrollo fotovoltaico y que tiene un promedio de 3.0 kWh/m<sup>2</sup>/día, se obtuvo un buen indicador de que Colombia cuenta con el potencial suficiente, ya que sus niveles de radiación de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día en promedio, son muy superiores a los niveles anteriormente mencionados.[1]

#### **3.2. Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Los sistemas de generación fotovoltaica tienen tres topologías características:

- Los sistemas aislados o autónomos
- Los sistemas híbridos,
- Los sistemas interactivos

Estas topologías se adaptan a diferentes escenarios que están definidos por las necesidades del usuario y el entorno en el que se implementen. En el caso residencial, los sistemas interactivos ofrecen ventajas atractivas, pues este permite funcionar en paralelo con la red local, y de esta manera contar con el respaldo de la misma.

#### **3.3. Elementos que conforman un sistema FV**

Los elementos más comunes en los que sustentan el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos a nivel residencial son,

- Los paneles solares
- los inversores,
- los rectificadores,
- los reguladores y baterías.

#### **3.4. Mantenimiento de paneles solares**

Dichos elementos son de fácil mantenimiento, considerando que no tiene partes móviles a excepción de se cuente con un sistema de seguidor solar, pero, aunque requieran un escaso mantenimiento, no se debe prescindir del mismo, pues se reduce la eficiencia y la vida útil de los mismos.

### **4. ANÁLISIS FINANCIERO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL**

En las consideraciones de carácter financiero, se determinó el periodo de retorno de la inversión de una instalación fotovoltaica residencial

Para este análisis, se tuvieron en cuenta los diferentes estratos socioeconómicos, y se tomó como referencia el consumo de energía de los usuarios de la ESSA[1]. Vale la pena aclarar que este análisis se hizo bajo el supuesto, que exista un escenario de facturación neta y medición bidireccional; contemplado en la Ley 1715

En primer lugar, se dimensiono el sistema FV de acuerdo con:

- El consumo promedio anual de energía
- La radiación solar promedio de Bucaramanga que corresponde a 4,9 kWh/m<sup>2</sup>/día
- Un panel solar tipo, con un área de 1,61 m<sup>2</sup>, una eficiencia de 13,86% y una potencia máxima de 225 W.

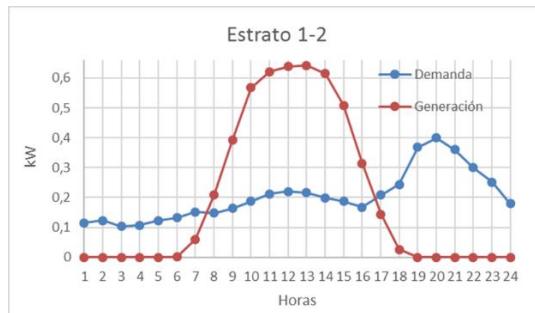
Con lo anterior se determinó el número de paneles necesarios, así como también la potencia instalada del sistema FV para cada estrato socioeconómico. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos, y se puede observar que se requieren entre 4 y 7 paneles para cubrir la demanda de los diferentes estratos.

**Tabla 1:** Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Estrato	1 - 2	3	4	5	6
Número de módulos FV necesarios	4	5	5	6	7
Potencia Instalada [W]	900	1125	1125	1350	1575

El sistema fue dimensionado con el objetivo de que la energía generada por los paneles sea igual a la energía consumida. Por ejemplo, en la Gráfica 1 podemos observar los perfiles de demanda y generación para los estratos 1 y 2. Estos no coinciden en el tiempo, sin embargo, el área bajo la curva de ambos es perfiles es aproximadamente igual; lo que significa que al final del mes podríamos tener una factura en cero.

**Gráfica 1:** Demanda vs Generación. Estrato 1-2



Una vez dimensionado, se determinó el costo del sistema fotovoltaico usando el costo promedio en Colombia de una instalación FV por kw instalado, que a la fecha de elaboración de este documento corresponde a 4,8 USA, aproximadamente 13920 COP. En la tabla 2 pueden observar los costos por estrato, los cuales oscilan entre 12 millones y 22 millones de pesos.

**Tabla 2:** Costo total del sistema fotovoltaico

Estrato	Costo
1-2	\$12.528.000
3	\$15.660.000
4	\$15.660.000
5	\$18.792.000
6	\$21.924.000

Posterior al costo, se calcularon los ingresos anuales del sistema FV en forma de facturas evitadas, aplicando las tarifas de la ESSA y teniendo en cuenta que la energía generada es retribuida al mismo precio que la paga el usuario, estos ingresos oscilan entre cuatrocientos sesenta y cuatro mil pesos y 1 millón setecientos mil pesos aproximadamente.

Finalmente, Para calcular el periodo de retorno de la inversión se usó el método “payback descontado”, donde se tuvieron en cuenta los ingresos durante la vida útil del

sistema fotovoltaico, aproximadamente 20 años y se usó una tasa de descuento anual del 4%.

**Tabla 3:** Ingresos del primer año del sistema FV

Estrato	Ingresos
1-2	\$464.406
3	\$772.040
4	\$1.052.938
5	\$1.395.668
6	\$1.666.693

Se observa en la Tabla 4 que no hay retorno de la inversión, excepto para los estratos 5 y 6, debido a que los ingresos de sus sistema FV son mucho más altos.

**Tabla 4:** Periodo de retorno de la inversión

Estrato	Años
1-2	No hay
3	No hay
4	No hay
5	18
6	17

Por otro lado, suponiendo que los costos por Watt instalado de tecnología FV se redujeran a 4 USD, costo mínimo de 2.6 USD, el periodo de retorno de la inversión para los estratos 4, 5 y 6 se reduciría a 8 años, tal como se observa en la Tabla 5; con lo que ya podría ser atractiva la inversión en energía solar fotovoltaica para los usuarios residenciales.

**Tabla 5:** Retorno de la inversión con el costo mínimo del sistema FV

Estrato	Años
1-2	No hay
3	14
4	9
5	8
6	8

## 5. CONCLUSIONES

- En Colombia se ha dado un gran avance en la inclusión de las fuentes no convencionales de energía con la Ley 1715 de 2014; aun así, este proyecto recién se pone en marcha, por lo que Colombia tiene todavía un gran camino por recorrer.
- En el momento de implementar un sistema fotovoltaico usando topologías y tecnología actual siguiendo los lineamientos de la NTC-2050, se encontrará un vacío de carácter técnico, por lo tanto, es imprescindible actualizar esta norma.
- Se evidenció que Colombia cuenta con un buen potencial solar, considerando que países que se encuentran a la cabeza del desarrollo de este tipo de energía tienen niveles de radiación solar menores a los de Colombia.
- Se resaltaron las ventajas de implementar un sistema fotovoltaico interactivo para alimentar cargas residenciales, entre la más importante se destaca que este tipo de sistema cuenta con respaldo de la red, lo que permite prescindir del uso de baterías y de esta forma reducir la inversión inicial.
- Los resultados de este estudio permitieron determinar que al reducir el costo del kW instalado de tecnología fotovoltaica se redujeron los períodos de recuperación a valores financieramente rentables, lo que muestra que, con incentivos por parte del gobierno, se puede hacer de la tecnología solar fotovoltaica una alternativa rentable para la producción de energía eléctrica a pequeña escala.

## 6. RECOMENDACIONES

- Si un particular o una entidad desea implementar un sistema fotovoltaico, se recomienda hacer uso de normas internacionales como la NFPA-70 que se encuentra actualizada en cuanto a los últimos avances tecnológicos.
- Antes de invertir en proyectos fotovoltaicos a nivel residencial se recomienda esperar a que se generen las normas, decretos y resoluciones establecidos por la Ley 1715 de 2014, pues allí se contemplan incentivos, y nuevos esquemas como la facturación neta que les permitirán a los usuarios obtener mayores beneficios.
- Al momento de diseñar un sistema FV a nivel residencial, se recomienda hacer un estudio más detallado del consumo real de los usuarios, para garantizar que el sistema fotovoltaico no se sobredimensione y se incurra en gastos innecesarios.

## 7. REFERENCIAS

- [1] ESSA, E. d. (26 de 12 de 2016). Obtenido de Formula Tarifaria:  
<http://www.essa.com.co/site/clientes/Nuetrastarifas/Formularifaria/tabid/564/LBGalleryID/19/LBModID/1699/edgpid/31/edgmid/1699/language/en-US/Default.aspx>
- [2] Ley 1715 - 13,Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. (Ley 1715 - 13, Mayo, 2014).
- [3] NFPA-70, U. S. (2014). *NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.NFPA 70.Reno NV. 2014.National Electric Code. 2014.*
- [4] NTC-2050, C. C. (1998). *Código Eléctrico Colombiano*. Bogotá: INCONTEC, 1998. 3p. : il. (NTC 2050) (NTC-2050 ed.).
- [5] REN-21. (2016). *Energias Renovables 2016* . Recuperado el 10 de 11 de 2016, de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)
- [6] RETIE,Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas,Ministerio de Minas y Energía. (RETIE,2013).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- ARENAS, O. A. (2009). Estudio Tecnico y Financiero de Implementacion de Paneles Solares Enfocado a Centros Comerciales. *Trabajo de grado Ingeniero Electricista* . Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- ATN/FM-12825-CO, C. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*.
- CAMPOS, M. (2016). *Manual de Mantenimiento*. Recuperado el 8 de 12 de 2016, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproj/5074/ficher/Volumen+5%252F9.+Manual+de+Mantenimiento.pdf>
- COLOMBIA, U. D. (2015). *Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2015 - 2029. p. 114*. COLOMBIA: .
- COLOMBIA, U. D.-U. (Resolucion No 281 del 2015(5junio,2015)). *Por la cual se define el limite maximo de potencia de la autogeneracion a pequeña escala*. Bogota,2015.

- Economipedia. (28 de 12 de 2016). *Economipedia.com*. Obtenido de Plazo de recuperacion descontado: <http://economipedia.com/definiciones/plazo-de-recuperacion-descontado.html>
- Eraso Checa Francisco, E. d. (2015). *Potencial Natural para el desarrollo fotovoltaico en Colombia. Pasto, 2014.* Institución Universitaria CESMAG. Programa de Ingeniería Electrónica.
- ESSA, E. d. (26 de 12 de 2016). Obtenido de Formula Tarifaria: <http://www.essa.com.co/site/clientes/Nuetrasta rifas/Formulatarifaria/tabid/564/LBGalleryID/19/LBModID/1699/edgpid/31/edgmid/1699/languaje/en-US/Default.aspx>
- Harper, E. (2014). *Instalaciones y Sistemas Fotovoltaicos*. Limusa.
- IDEAM, I. d. (20 de 11 de 2016). *IDEAM*. Recuperado el 2 de 12 de 2016, de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Distribucion-global-de-la-Irradiacion-Global-Horizontal.pdf>
- Instituto de Hidrología, M. y. (2016). *IDEAM*. Recuperado el 3 de 12 de 2016, de IDEAM: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.htm>
- Ley 1715 - 13, Por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. (Ley 1715 - 13, Mayo, 2014).
- Mancha, U. d.-L. (2016). Recuperado el 13 de 11 de 2016, de <http://edii.uclmes/~arodenas/Solar/componentes.htm>
- MANRIQUE, K. y. (2015). Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad de los Andes.
- NFPA-70, U. S. (2014). *NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION.NFPA 70.Reno NV. 2014.National Electric Code. 2014.*
- NTC-2050, C. C. (1998). *Código Eléctrico Colombiano. Bogotá: INCONTEC, 1998. 3p. : il. (NTC 2050) (NTC-2050 ed.).*
- OSMA, G. (Título de Maestría,2011). *USO RACIONAL DE LA ENERGÍA A PARTIR DEL DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES EN EL EDIFICIO ELÉCTRICA II DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*. Bucaramanga, Santander, Colombia: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
- PROYECTO DE DECRETO, C. E. (2016). *Por el cual se establecen lineamientos de política pública para incentivar la autogeneración a pequeña escala, la gestión de la demanda de energía eléctrica y la medición inteligente*. Obtenido de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiMjqnMxtbRAhVLySYKHfVFA YoQFggIMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.minminas.gov.co%2Fdocuments%2F10180%2F674559%2FProyecto%2Bde%2Bdecreto%2Bautogeneracion%2Ba%2Bpeque%25C3%2B>
- RAMOS, R. . (2016). *Mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos*. Recuperado el 8 de 12 de 2016, de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia22/HTML/articulo02.htm>
- RETIE,Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas,Ministerio de Minas y Energia. (RETIE,2013).
- S.A.S, M. (2016). *Energía solar fotovoltaica*. Recuperado el 11 de 11 de 2016, de <http://www.magrenas.com/energia-solar-fotovoltaica/>
- Sebastian, E. (2016). *Panel Solar Fotovoltaico*. Recuperado el 15 de 11 de 2016, de <http://eliseosebastian.tumblr.com/post/72414038287/cuidados-y-donde-instalar-las-baterias-solar>
- SUI, R. d. (26 de 12 de 2016). *Sistema Unico de Informacion de Servicios Publicos*. Obtenido de [http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele\\_com\\_094](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_com_094)
- Universal Technical Standard for Solar Home Systems, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.