

Universidad	Universidad Tecnológica de Pereira
Programa Académico	Ingeniería Eléctrica
Nombre del Semillero	Electrónica de Potencia y Conversión de Energía Electromecánica
Nombre del Grupo de investigación Investigación (si aplica)	Electrónica de Potencia
Línea de Investigación (si aplica)	Energías renovables
Nombre del Tutor del Semillero	Andrés Escobar Mejía
Email Tutor	<a href="mailto:andreses1@utp.edu.co">andreses1@utp.edu.co</a>
Título del Proyecto	Desarrollo de una metodología para determinar energía firme para el Cargo por Confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas
Autores del Proyecto	Valentina Triviño Castañeda
Ponente (1)	Valentina Triviño Castañeda
Documento de Identidad	1088327823
Email	<a href="mailto:valetrica@hotmail.com">valetrica@hotmail.com</a>
Ponente (2)	
Documento de Identidad	
Email	
Teléfonos de Contacto	3137488949
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Pregrado
MODALIDAD	PÓSTER <input type="checkbox"/> Propuesta de Investigación
Área de la investigación (seleccionar una- Marque con una x)	<input type="checkbox"/> Ciencias Naturales
	<input type="checkbox"/> Ingenierías y Tecnologías x
	<input type="checkbox"/> Ciencias Médicas y de la Salud.
	<input type="checkbox"/> Ciencias Agrícolas
	<input type="checkbox"/> Ciencias Sociales
	<input type="checkbox"/> Humanidades
	<input type="checkbox"/> Artes, arquitectura y diseño

# Desarrollo de una metodología para determinar Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas.

Valentina Triviño Castañeda

**Resumen:** El cambio climático, la creciente demanda, el alto costo de los combustibles fósiles entre otros factores, han llevado a pensar en generar energía con fuentes alternas, más amigables con el medio ambiente. En los últimos años se habla no sólo de energías renovables, sino además de su integración al sistema eléctrico nacional y su competición en el mercado mayorista de energía, sin embargo muchos han sido los problemas al tratar de integrar estas tecnologías a la matriz energética. Por estas razones se pretende desarrollar una metodología por medio de la cual las plantas solares fotovoltaicas se puedan integrar a la red y recibir el cargo por confiabilidad.

**Palabras clave:** Cargo por Confiabilidad, Energía Firme, Mercado Mayorista de Energía, Plantas solares fotovoltaicas

**Problema de Investigación:** Tradicionalmente los sistemas eléctricos de potencia son concebidos de una manera centralizada en donde las fuentes de generación están localizadas lejos de las fuentes de consumo y se requiere de largas líneas de transmisión y sistemas de distribución con el fin de llevar la energía generada a los centros de consumo. La operación del sistema de manera centralizada se ha caracterizado por ser eficiente, confiable y seguro, sin embargo, este modelo está dominado por plantas generadoras que emiten gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmosfera (e.g., CO<sub>2</sub>) y no permite una participación activa de los usuarios en el mercado eléctrico.

El creciente interés por explorar nuevas fuentes de generación que no empleen combustibles fósiles como fuente primaria de energía, y la necesidad de tener una red eléctrica más sostenible y versátil, ha motivado la introducción de fuentes de energías renovables a la red eléctrica (e.g., eólica y solar), así como la instalación de pequeños generadores, con potencias menores a los 10 MVA, a los largo de las redes de distribución. Esta motivación se ha convertido en un compromiso de los gobiernos con el medio ambiente y el desarrollo económico de los países.

Dado el interés por la introducción de plantas solares fotovoltaicas, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), a través del proyecto de resolución 227 de 2015 determina los criterios para establecer la Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad (EFICC) de las plantas solares fotovoltaicas [1].

La integración de energías renovables a la red eléctrica trae problemas de confiabilidad ya que no se puede garantizar una prestación continua del servicio, sin embargo, se debe buscar una metodología adecuada para integrar estas formas de energía limpias al sistema, aumentando así la participación de fuentes alternas de energía en el sector eléctrico.

El presente trabajo pretende determinar una metodología estadísticamente confiable que permita establecer las condiciones que requiere un sistema solar fotovoltaicos para asegurar su participación en el sector eléctrico.

## Referente Teórico:

El cargo por confiabilidad es un recargo colombiano, y su implementación en energías renovables aún no está en vigencia y por lo tanto no se tienen referencias de trabajos desarrollados en este tema. Sin embargo el desarrollo teórico de este proyecto se basa en las resoluciones emitidas por la CREG como la 071 de 2006 y el proyecto de resolución 227 de 2015. Así como en un estudio realizado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

La UPME realizó una investigación acerca de la integración de energías renovables no convencionales en Colombia, en donde se presentan algunas ventajas y desventajas de las mismas y algunos instrumentos que se han implementado a nivel mundial y nacional para promover la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables. En el caso particular de Colombia cabe mencionar la ley 1715 donde se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional [2].

En la resolución CREG 071 “*Por la cual se adopta la metodología para la remuneración del Cargo por Confiabilidad en el Mercado Mayorista de Energía*” se puede entender el marco regulatorio vigente para el mercado mayorista de energía colombiana y los fundamentos de la remuneración de dicho cargo. En la resolución 227 de 2015 “*Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas solares fotovoltaicas*” se presenta una propuesta por parte de la CREG con el fin de determinar energía firme y recibir el cargo por confiabilidad. En dicho proyecto de resolución se explican los requerimientos para declarar energía firme y poder adquirir el cargo por confiabilidad. En este proyecto se propone una metodología para realizar las mediciones necesarias con el fin de generar las series requeridas en dichas resoluciones.

### **Objetivos:**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una metodología para determinar la energía firme para el cargo por confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las variables necesarias que permitan establecer la cantidad de energía generada de un sistema solar fotovoltaico.
- Construir un sistema para la medición, adquisición y acondicionamiento de variables eléctricas.
- Emplear herramientas estadísticas que permitan analizar los datos obtenidos.
- Determinar la ENFICC para el sistema solar fotovoltaico.

### **Metodología:**

Se pretende desarrollar metodológicamente cada uno de los siguientes pasos con el fin de dar solución a cada uno de los objetivos planteados.

- En la resolución 227 de 2015, la CREG en desarrollo de sus facultades, establece la metodología para determinar energía firme en plantas solares fotovoltaicas, para lo cual se define la siguiente fórmula de energía:

$$EN [kWh/mes] = \frac{1}{I_{STC}} K_c \times K_{inc} \times V_m(TA) \times GHI_m \times (1 - IHF) \times POT_{dc}$$

Donde:

EN: Energía generada por hora en un mes [kWh/mes].

ISTC: Irradiación en condiciones constantes. ISTC=1kW/m<sup>2</sup>

Kc: Constante por pérdidas de un sistema solar fotovoltaico. Kc = 0.8957.

Kinc: Constante a elegir de acuerdo al tipo de tecnología de estructura de soporte.

$V_m(TA)$ : Valor por pérdidas debidas a temperatura ambiente según el tipo de módulo fotovoltaico utilizado del mes  $m$ .

$TA$ : Promedio de temperatura ambiente para cada mes  $m$  [°C].

$GHI_t$ : Irradiación horizontal agregada para el mes  $m$ , [kWh-mes/m<sup>2</sup>].

$IHF$ : Indisponibilidad Histórica Forzada.

$POT_{dc}$ : Potencia del conjunto de módulos fotovoltaicos [kW<sub>peak</sub>].

La ecuación correspondiente a las pérdidas por temperatura ambiente,  $V_m(TA)$ , es como sigue:

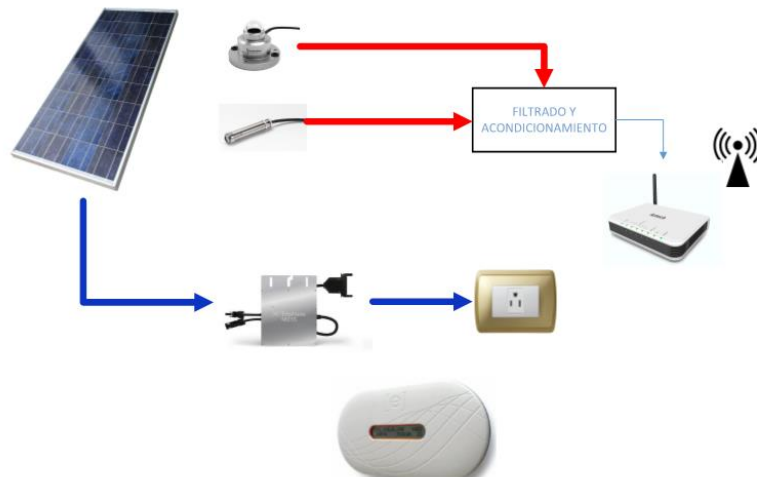
$$V_i(TA) = 1 - (a \cdot TA^3 + b \cdot TA^2 + c \cdot TA + d)$$

Las constantes  $a, b, c$  y  $d$  dependerán del tipo de tecnología y diseño, como se muestra a continuación:

Tipo módulo y estructura	a	b	c	d
Fija - cSi	3,80E-05	-0,0024	0,05224	-0,3121
Fija - TF	2,60E-05	-0,0017	0,0373	-0,2126
1Axis - cSi FLAT	1,10E-05	-0,0007	0,0185	-0,1157
1Axis - cSi TILT	1,10E-05	-0,0007	0,0185	-0,1157
1Axis - TF FLAT	-1,30E-05	0,0007	-0,0092	0,0501
1Axis - TF TILT	-1,30E-05	0,00074	-0,0092	0,05011
2Axis - cSi	3,70E-06	-0,0002	0,01032	-0,0615

Así se pueden identificar todas las variables necesarias para determinar la energía [KWh/mes].

- Para la toma de datos de radiación solar, temperatura, voltaje y corriente se propone la siguiente estructura:



- Se tendrá así una serie de datos de energía para cada mes y con los valores resultantes se construirá una curva de distribución de probabilidad ordenando los resultados de menor a mayor. El menor valor corresponderá al 100% de probabilidad de ser superado (PSS) y el mayor valor corresponderá al 0% de PSS. Por lo tanto ENFICC BASE Corresponderá a aquella generación que es capaz de entregar la planta en la condición del 100% de probabilidad de ser superada, PSS.

### **Resultados esperados:**

Con la implementación de la estación de medición de variables, se pretende tener información de temperatura ambiente y radiación solar necesarios para predecir una serie histórica de 10 años, planteando una metodología para determinar energía firme para el cargo por confiabilidad de plantas solares fotovoltaicas, según lo decreta la resolución CREG 227 de 2015. Dando la posibilidad de acreditación para la realización de dictámenes técnicos para todo aquel generador que desee recibir dicho cargo.

### **Impactos:**

En este proyecto se cuenta con un impacto ambiental positivo, ya que se pretende introducir a la red eléctrica energía proveniente de recursos renovables.

### **Bibliografía:**

[1] Resolución 227 de 2015. Diario oficial de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) “Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas solares fotovoltaicas”.

[2] UPME. “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia”, 2015. [Online] Available:

[http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

[3] A. Marinopoulos and P. Bakas, "Evaluation of a very large scale PV power system with energy storage for capacity firming," PowerTech, 2015 IEEE Eindhoven, Eindhoven, 2015, pp. 1-6.

[4] Endensa. (Marzo, 2016) Smart Grids [Online]. Available:

[http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-grid](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/smart-city/smart-grid)

[5] Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico colombiano, 2008 [Online] Available:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012062302008000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012062302008000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

# Desarrollo de una metodología para determinar Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas

Valentina Triviño Castañeda<sup>1</sup>, Andrés Escobar Mejía<sup>2</sup>

Department of Electrical Engineering  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Pereira, Risaralda, Colombia

<sup>1</sup>valenct@utp.edu.co, <sup>2</sup>andreses1@utp.edu.co

## Problema de investigación

Tradicionalmente los sistemas eléctricos de potencia son concebidos de una manera centralizada en donde las fuentes de generación están localizadas lejos de las fuentes de consumo y se requiere de largas líneas de transmisión y sistemas de distribución con el fin de llevar la energía generada a los centros de consumo. La operación del sistema de manera centralizada se ha caracterizado por ser eficiente, confiable y seguro, sin embargo, este modelo está dominado por plantas generadoras que emiten gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera (e.g., CO<sub>2</sub>) y no permite una participación activa de los usuarios en el mercado eléctrico.

Dado el interés por la introducción de plantas solares fotovoltaicas, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), a través del proyecto de resolución 227 de 2015 determina los criterios para establecer la Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad (EFICC) de las plantas solares fotovoltaicas [1].

La integración de energías renovables a la red eléctrica trae problemas de confiabilidad ya que no se puede garantizar una prestación continua del servicio, sin embargo, se debe buscar una metodología adecuada para integrar estas formas de energía limpias al sistema, aumentando así la participación de fuentes alternativas de energía en el sector eléctrico.

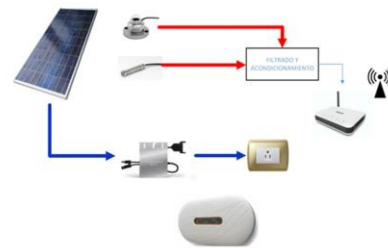
## Objetivos

### OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología para determinar la energía firme para el cargo por confiabilidad en plantas solares fotovoltaicas.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables necesarias que permitan establecer la cantidad de energía generada de un sistema solar fotovoltaico.
- Construir un sistema para la medición, adquisición y acondicionamiento de variables eléctricas.
- Emplear herramientas estadísticas que permitan analizar los datos obtenidos.
- Determinar la ENFICC para el sistema solar fotovoltaico.



- Se tendrá así una serie de datos de energía para cada mes y con los valores resultantes se construirá una curva de distribución de probabilidad ordenando los resultados de menor a mayor. El menor valor corresponderá al 100% de probabilidad de ser superado (PSS) y el mayor valor corresponderá al 0% de PSS. Por lo tanto ENFICC BASE Corresponderá a aquella generación que es capaz de entregar la planta en la condición del 100% de probabilidad de ser superada, PSS.

## Metodología

Se pretende desarrollar metodológicamente cada uno de los siguientes pasos con el fin de dar solución a cada uno de los objetivos planteados.

- En la resolución 227 de 2015, la CREG en desarrollo de sus facultades, establece la metodología para determinar energía firme en plantas solares fotovoltaicas, para lo cual se define la siguiente fórmula de energía:

$$EN [kWh / mes] = \frac{1}{I_{STC}} K_c \times K_{inc} \times V_m(TA) \times GHI_m \times (1 - IHF) \times POT_{dc}$$

Así se pueden identificar todas las variables necesarias para determinar la energía [KWh/mes].

- Para la toma de datos de radiación solar, temperatura, voltaje y corriente se propone la siguiente estructura:

## Resultados Esperados

Con la implementación de la estación de medición de variables, se pretende tener información de temperatura ambiente y radiación solar necesarios para predecir una serie histórica de 10 años, planteando una metodología para determinar energía firme para el cargo por confiabilidad de plantas solares fotovoltaicas, según lo decreta la resolución CREG 227 de 2015. Dando la posibilidad de acreditación para la realización de dictámenes técnicos para todo aquel generador que desee recibir dicho cargo.

## Bibliografía

[1] Resolución 227 de 2015. Diario oficial de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) "Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas solares fotovoltaicas".

[2] UPME. "Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia", 2015. [Online]. Disponible: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)