

# RADIACIÓN SOLAR: FACTOR CLAVE PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## SOLAR RADIATION: KEY FACTOR FOR DESIGN OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Sergio Sepúlveda<sup>1</sup>

### RESUMEN

La radiación solar es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Esta radiación varía geográficamente debido a condiciones climatológicas. Por este motivo, se vuelve relevante contar con un sistema que permita monitorizar la radiación solar de un sitio para poder diseñar óptimamente un sistema fotovoltaico. En este artículo se presenta una introducción a la radiación solar, un breve análisis del espectro solar y de la respuesta espectral de un piranómetro para medir la radiación del Sol. Se presenta además un sistema propuesto basado en un piranómetro, microcontroladores, módulos de radio-frecuencia y un computador para medir la radiación solar de la ciudad de Cúcuta. Los datos obtenidos se podrán utilizar para la validación y escogencia de modelos de radiación solar. Se describe al final el estado actual de esta investigación.

**PALABRAS CLAVE:** microcontrolador, piranómetro, radiación solar, sistema fotovoltaico.

### ABSTRACT

Solar radiation is a key for sizing photovoltaic systems parameter. This radiation varies geographically due to weather. Therefore, it becomes important to have a monitoring system that allows solar radiation from place to optimally design a photovoltaic system. This article presents an introduction to solar radiation, a brief analysis of the solar spectrum and the spectral response of a pyranometer to measure the Sun's radiation. It also presents a proposed system based on a pyranometer, microcontrollers, modules radio-frequency and a computer to measure solar radiation Cúcuta. The data obtained may be used to validate models and choice of solar radiation. Described at the end the current state of this research.

**KEYWORDS:** microcontroller, pyranometer, solar radiation, photovoltaic system.

---

1. Docente e investigador adscrito al departamento de Electricidad y Electrónica, Universidad Francisco de Paula Santander, Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada GIDMA, [sergio.sepulveda@ufps.edu.co](mailto:sergio.sepulveda@ufps.edu.co).

# RADIACIÓN SOLAR: FACTOR CLAVE PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

## 1. INTRODUCCIÓN

La radiación electromagnética proveniente del sol representa la fuente de energía más abundante disponible para satisfacer la demanda energética mundial. En promedio, el sol irradia a la Tierra una potencia de Esto significa que en menos de una hora, la energía proveniente del Sol en forma de radiación, es suficiente para abastecer el consumo energético de todo el planeta durante un año [1].

En forma directa o indirecta el sol es la fuente de otros tipos de energía convencionales. Por ejemplo, los combustibles fósiles tienen su origen en la materia orgánica que se transformó con ayuda de la fotosíntesis producida por el Sol hace miles de años. Asimismo, las plantas hidro-eléctricas dependen del ciclo del agua ocasionado por el Sol. Por otra parte, las corrientes de viento aprovechadas en la energía eólica son producidas por la diferencia de temperatura y presión que genera la radiación solar [2].

La principal forma de aprovechar la energía solar en forma directa es por medio de sistemas fotovoltaicos. En este tipo de sistemas, la radiación del sol es convertida en un voltaje por los paneles solares a través de un fenómeno descubierto por Einstein llamado efecto fotoeléctrico [3].

Para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es indispensable conocer la potencia requerida por la carga y la radiación solar. Este último parámetro representa el recurso energético disponible en una ubicación geográfica específica. Si no se conoce la radiación solar promedio de un sitio es posible subdimensionar o sobre-dimensionar el sistema fotovoltaico, ocasionando pérdidas económicas y/o un des-aprovechamiento del recurso solar.

Medir la radiación solar de forma permanente en cada sitio es inconveniente. Durante años, se han propuesto modelos para estimar la radiación solar a partir de datos meteorológicos satelitales [4] [5]. Sin embargo, los modelos deben ser validados con datos reales.

Por esta razón, es importante medir en campo la radiación solar de un sitio particular. De esta manera se pueden validar los modelos existentes y escoger uno para determinado lugar.

A continuación se presenta un sistema para la monitorización de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta. En primera instancia se muestra el espectro solar; se describe el instrumento para medir la radiación solar y se explica el sistema propuesto con sus respectivos avances. Por último se presentan las conjeturas del trabajo realizado hasta la fecha.

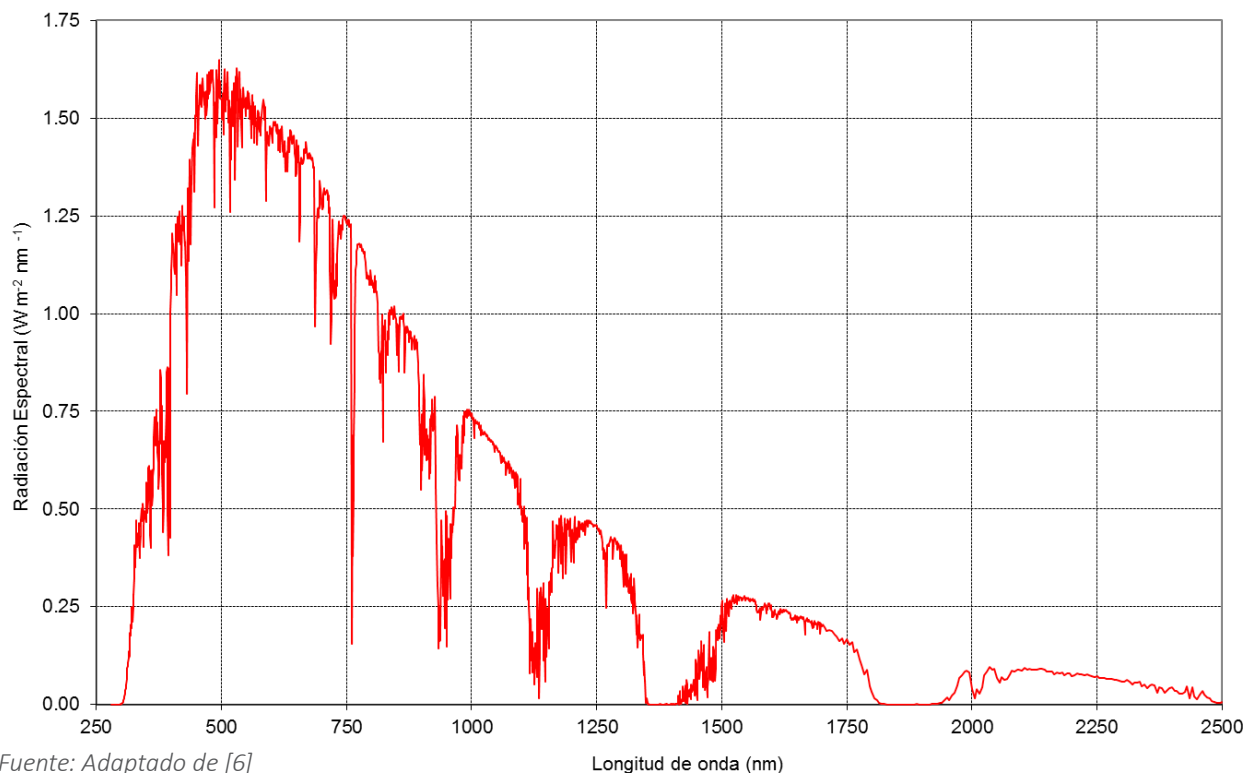
## 2. SISTEMA PARA MONITORIZAR LA RADIACIÓN SOLAR EN CÚCUTA

Se propone un sistema para medir la radiación solar en Cúcuta. Este sistema basado en microcontrolador y un sensor de radiación podrá ser utilizado para validar modelos de radiación y para diseñar sistemas fotovoltaicos.

### 2.1 Espectro solar

La luz del Sol está compuesta por un rango de longitudes de onda que van desde los rayos ultravioleta, pasando por el espectro visible hasta la luz infrarroja [6]. Este espectro solar varía si se mide por fuera de la atmósfera terrestre o después de atravesarla. La Figura 1 muestra el espectro del Sol medido a AM1.5, que significa una y media veces la longitud de la atmósfera terrestre.

Figura 1. Radiación espectral del Sol



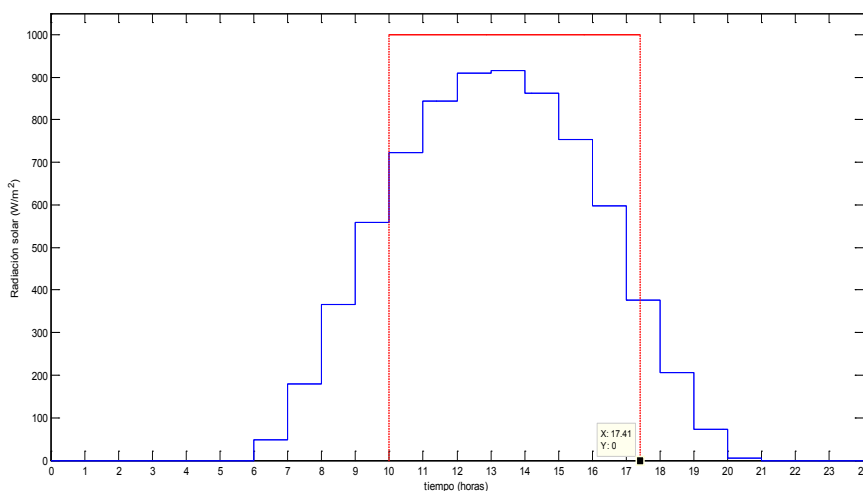
## 2.2 Horas pico de sol

A partir de la radiación solar se puede determinar las horas pico de sol. Este parámetro representa el número de horas equivalentes en que el sol irradió a CITATION Wen07 \l 1033 [7].

A manera de ejemplo, en la Figura 2 se aprecia la radiación solar estimada para el día 12 de julio de 2010

en la ciudad de Wilmington, Delaware, USA. Los datos están disponibles de forma gratuita en Internet por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos (National Renewable Energy Laboratory, NREL) [8]. El área bajo la curva azul en la Figura 2 es igual al área bajo la línea roja. Por lo tanto, en este caso particular, es como si el sol saliera a plenitud a las 10am y se ocultara instantáneamente a las 5:41pm, lo cual equivale a 7.41 horas pico de Sol.

Figura 2. Ejemplo de radiación solar diaria



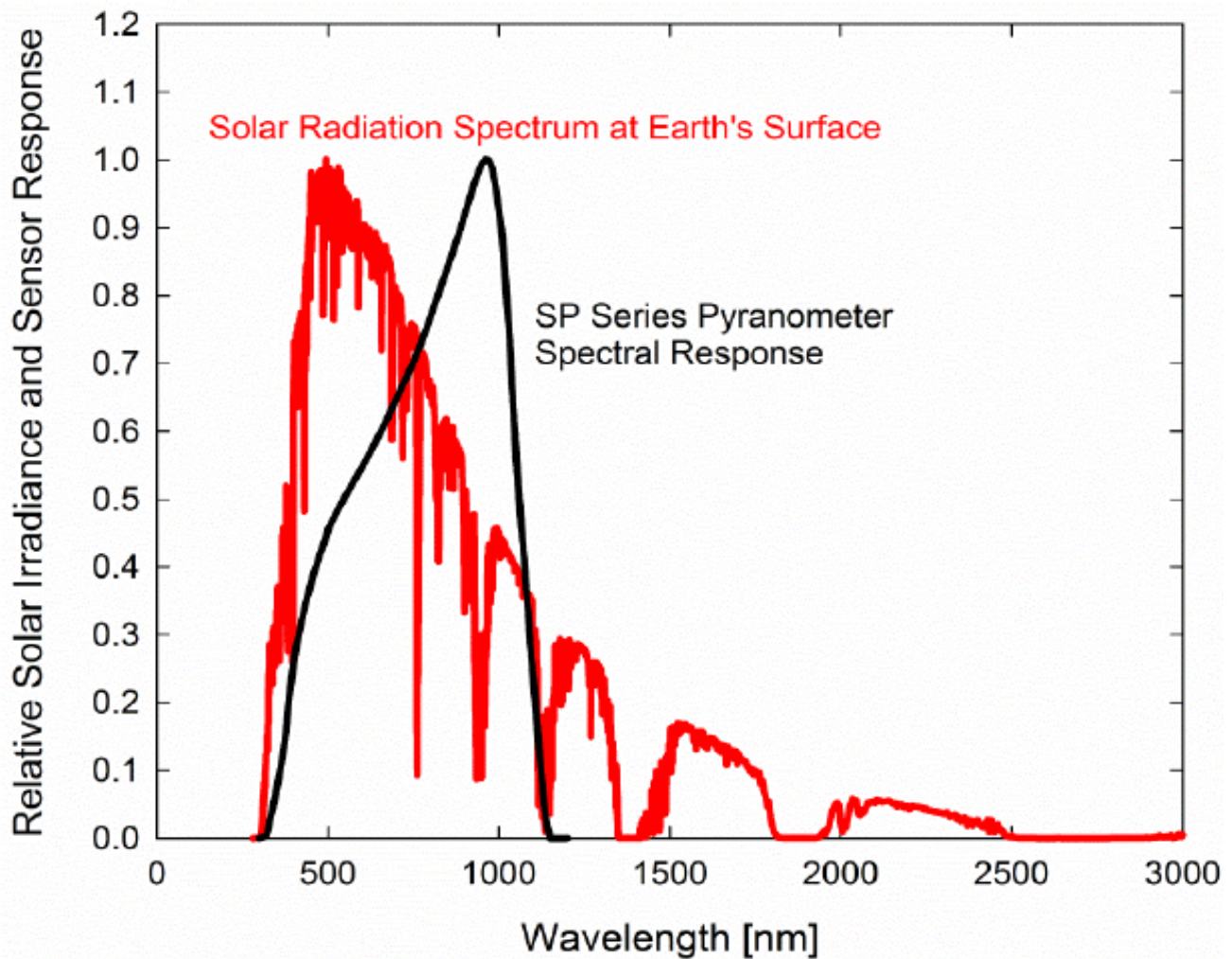
Fuente: Adaptado de [8]

### 2.3 Piranómetro

El instrumento capaz de medir la radiación solar global se denomina piranómetro [9]. Es necesario contar al menos con un piranómetro y almacenar los datos de radiación en algún medio magnético. Esto con el fin de procesar los datos posteriormente, ya sea para validar un modelo o para generar una base de datos con registros históricos reales.

Para el sistema propuesto se adquirió el piranómetro SP-110 del fabricante Apogee Instruments. En la Figura 3 se presenta la respuesta espectral del piranómetro suministrada por el fabricante. A pesar que hay una porción del espectro que el sensor no detecta, no es muy relevante puesto que los paneles solares tampoco convierten esta sección del espectro solar en electricidad.

Figura 3. Respuesta espectral del piranómetro SP-110



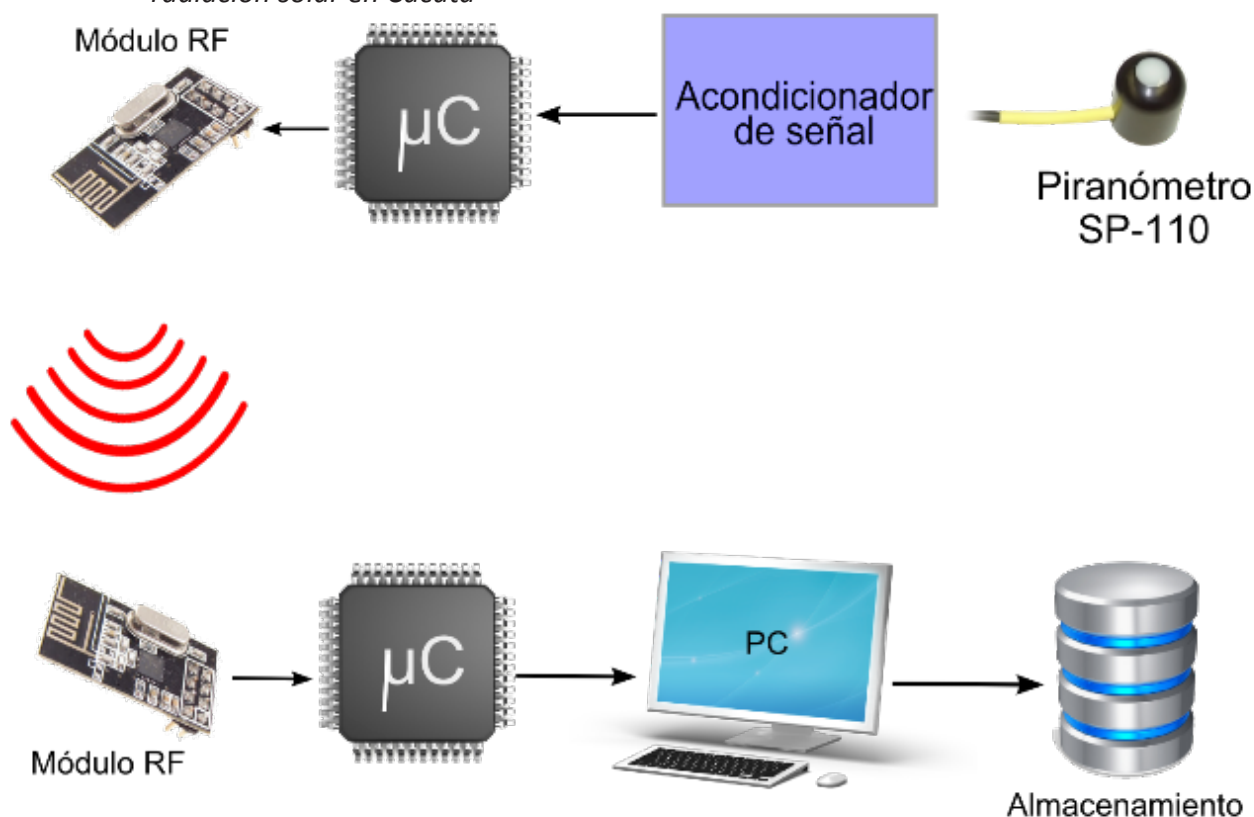
Fuente: tomado de [10]

## 2.4 Sistema propuesto

La figura 4 es un diagrama que describe gráficamente la arquitectura del sistema propuesto. Básicamente, la radiación solar es captada por el piranómetro, transmitida y almacenada en un medio magnético que se encuentra en un Computador Personal (Personal Computer, PC) remoto.



Figura 4. Sistema para monitorizar la radiación solar en Cúcuta



El piranómetro convierte la radiación del Sol en una señal de voltaje analógico, del orden de los milivoltios. Esta tenue señal se amplifica y acondiciona con un circuito eléctrico para que pueda ser leída por el conversor análogo/digital de un microcontrolador; este último envía la señal de forma inalámbrica a través de un módulo externo de radio-frecuencia.

En otro lugar físico se recibe la información. El microcontrolador receptor interpreta la señal de radio-frecuencia con la ayuda de otro módulo externo. El microcontrolador envía la información a un PC a través del Protocolo Serie Universal (Universal Serial Bus, USB). El PC contiene un aplicativo en Java que se encarga de recibir los datos y almacenarlos de forma segura.

Actualmente, el prototipo se encuentra en la etapa de caracterización del piranómetro y desarrollo de algoritmos.

## 3. CONCLUSIONES

El diseño de sistemas fotovoltaicos confiables requiere información del recurso solar en el sitio particular donde se desea implementar.

Los datos reales de radiación solar se requieren para validar y escoger modelos de radiación que permitan predecir la producción energética de un sistema fotovoltaico.

El piranómetro es un instrumento robusto y de fácil implementación para obtener medidas de la radiación solar instantánea. Su respuesta espectral es efectiva para el análisis de sistemas fotovoltaicos.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

[1] T. Markvart, «Electricity from the Sun,» de Solar Electricity, Chichester, John Wiley & Sons, 2000, pp. 1-4.

[2] J. M. Méndez y R. Cuervo, «Energía Solar Fotovoltaica,» de Energía Solar Fotovoltaica, 7ma ed., Madrid, Fundación Confemetal, 2012, pp. 17-52.

[3] A. Einstein, «The Photoelectric Effect,» Ann. Phys, vol. 17, p. 132, 1905.

[4] C. Gautier, G. Diak y S. Masse, «A Simple Physical Model to Estimate Incident Solar Radiation at the Surface from GOES Satellite Data,» Journal of Applied Meteorology, vol. 19, nº 8, pp. 1005-1012, 1980.

[5] D. Cano, J. M. Monget, M. Albuissou, H. Guillard, N. Regas y L. Wald, «A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data,» Solar Energy, vol. 37, nº 1, pp. 31-39, 1986.

[6] National Renewable Energy Laboratory (NREL), «Reference Solar Spectral Irradiance: Air Mass 1.5».

[7] S. Wenham, M. M. W. Green y R. Corkish, «The Characteristics of Sunlight,» de Applied Photovoltaics, London, Earthscan, 2007, pp. 3-30.

[8] National Renewable Energy Laboratory (NREL), «National Solar Radiation Data Base: 1991- 2010 Update».

[9] M. Iqbal, «Solar Radiation Measuring Instruments,» de An Introduction to Solar Radiation, Elsevier, 1983, pp. 354-357.

[10] Apogee Instruments, «Owner's Manual Pyranometer Model SP-110 and SP-230,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.apogeeinstruments.com/content/SP-110manual.pdf>. [Último acceso: 27 Mayo 2014].