



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

# **Title:** Caracterización eléctrica de un sistema fotovoltaico de 3 kWp de potencia conectado a red eléctrica

**Author:** Nildia Y. MEJIAS BRIZUELA

**Editorial label ECORFAN:** 607-8324  
**BCIERMIMI Control Number:** 2017-02  
**BCIERMIMI Classification (2017):** 270917-0201

**Pages:** 12

**Mail:** [nmejias@upsin.edu.mx](mailto:nmejias@upsin.edu.mx)  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**

244 – 2 Itzopan Street

La Florida, Ecatepec Municipality

Mexico State, 55120 Zipcode

Phone: +52 1 55 6159 2296

Skype: ecorfan-mexico.s.c.

E-mail: [contacto@ecorfan.org](mailto:contacto@ecorfan.org)

Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			



# INTRODUCCIÓN

El sector de energía eléctrica ocupa el 2do lugar de emisiones de GEI (126,607.66 GgCO<sub>2</sub>e), por lo que se proponen metas de generación gradual a partir de fuentes renovables entre el 2018 (25%) y el 2024 (35%).



La tecnología solar fotovoltaica, contribuye con ello, mostrando desde 2015 a la fecha un crecimiento considerable a través de instalación de más de 56 MW en generación distribuida (SENER, 2016), capacidad de fabricación y exportación de PSFV, disminución considerable de costo de equipos (CEMAER, 2016), etc.



Es limitada por la intermitencia del flujo solar que recibe la tierra, la variación en intensidad solar (estaciones del año y lugar geográfico), sombras, temperatura y cumulo de sucio en la superficie del PSFV, lo que afecta considerablemente sus propiedades eléctricas que repercuten en baja producción energética.





# INTRODUCCIÓN

Por ello, la caracterización eléctrica de PSFV es fundamental, pues permite realizar estudios comparativos entre parámetros eléctricos de fabricación y bajo condiciones normales de trabajo, se puede predecir la cantidad de energía ideal y real, estudios de degradación e inferir problemas de carácter externo como sombras, contactos defectuosos, etc. (Chouder et al., 2012; Kaplanis y Kaplani, 2011; Makrides et al., 2012).



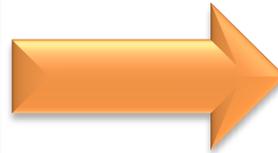
Por ello, el **OBJETIVO** de este trabajo es la caracterización experimental de las propiedades eléctricas de PSFV monocristalinos de 250 Wp y fabricación mexicana que conforman una instalación conectada a la red eléctrica de baja tensión con potencia nominal de 3 kW en la localidad de Mazatlán, Sinaloa, complementado con algunas estimaciones teóricas de otros parámetros físicos.



# METODOLOGÍA DESARROLLADA

## Primera Parte

Cálculos de geometría solar, estimación de las pérdidas por inclinación y orientación de PSFV y la generación de energía anual del sistema fotovoltaico



## Segunda Parte

Determinación experimental de parámetros eléctricos de los PSFV bajo condiciones variables de irradiación solar para la obtención de las curvas de corriente-voltaje y potencia-voltaje



# METODOLOGÍA DESARROLLADA (1ra parte)

La declinación:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{2(d_n+284)}{365}\right) \quad (1)$$

La altura solar:

$$h = \sin^{-1}(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) \quad (2)$$

El ángulo cenit:

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \delta \cos \omega \cos \phi + \sin \delta \sin \phi) \quad (3)$$

El ángulo acimut:

$$Z = \sin^{-1}\left(\frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h}\right) \quad (4)$$

El ángulo de inclinación de los PSFV

$$\beta = 180^\circ - (\textit{Altura solar}) - 90^\circ \quad (5)$$

La duración del día solar

$$D = \frac{2\omega_0}{15} \quad (6)$$





# METODOLOGÍA DESARROLLADA (1ra parte)

## 2.- Estimación de pérdidas eléctrica por inclinación y orientación:

Como método se empleó la ecuación diseñada por el Código Técnico de la Edificación de España (CTE, 2009) que contempla este tipo de pérdidas en instalaciones fotovoltaicas fijadas en techos con conexión a red eléctrica.

$$\% \text{ Pérdidas} = 100[1.2 * 10^{-4}(\beta - \quad + 10)^2 + (3.5 * 10^{-5} * Z^2)] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

## 3.- Estimación de la producción total anual de energía eléctrica:

Se estimó a partir de la ecuación de Wiginton, Nguyen y Pearce, 2010:

$$E = I_{md} * 365 * e * A_{pv} \quad (8)$$

$I_{md}$  = media diaria de irradiación solar global en un plano horizontal (para Mazatlán, corresponde a 5.02 kWh/m<sup>2</sup>d de acuerdo a la NASA, 2010);  $A_{pv}$  = área disponible para la instalación fotovoltaica respecto a la superficie total del terreno y  $e$  = eficiencia de los PSFV.



# RESULTADOS

**Tabla 1.** *Parámetros solares determinados para los solsticios 2017 en la localidad de la ISFCR*

Parámetro solar	Valor obtenido	
	Solsticio verano	Solsticio invierno
Declinación ( $\delta$ )	23.45°	-23.45°
Altura (h)	89.2°	43.3°
Cenit ( $\theta$ )	1.0°	46.7°
Acimut (Z)	0° (12:00), 64.3° E, 64.3° O	
Ángulo de inclinación ( $\beta$ )	0.7°	46.7°
Duración del día	13.5 h	10.6 h

Porcentaje de pérdidas por inclinación y orientación	1.2 %
--	-------

Producción total anual de energía sin pérdidas en cada rama fotovoltaica (kWh)	1,878.18
Producción total anual de energía sin pérdidas en toda la ISFCR (kWh)	3,756.36

# METODOLOGÍA DESARROLLADA (2da parte)

Determinación experimental de parámetros eléctricos (Curvas I-V, P-V):





# METODOLOGÍA DESARROLLADA (2da parte)

**Tabla 4:** parámetros eléctricos que caracterizan los PSFV que conforman el generador fotovoltaico bajo STC ( $I_r=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T_{\text{celda}}= 25^\circ\text{C}$ , Distribución espectral= AM 1,5 e Incidencia normal al panel).

Parámetro	Valor
Voltaje en circuito abierto ( $V_{oc}$ )	37.70 V
Corriente de Cortocircuito ( $I_{sc}$ )	8.80 A
Potencia máxima en SCT ( $P_{\text{máx}}$ )	250 W
Voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{\text{pmp}}$ )	30.0 V
Corriente en el punto de máxima potencia ( $I_{\text{pmp}}$ )	8.34 A
Temperatura de operación	-40° a 90°C
Eficiencia ( $e$ )	15.40 %
Numero de celdas	60 (6x10)

Las pruebas experimentales se realizaron durante el mes de mayo de 2017 bajo condiciones meteorológicas propias del lugar, relacionadas con la variación de irradiación solar y temperatura ambiente.

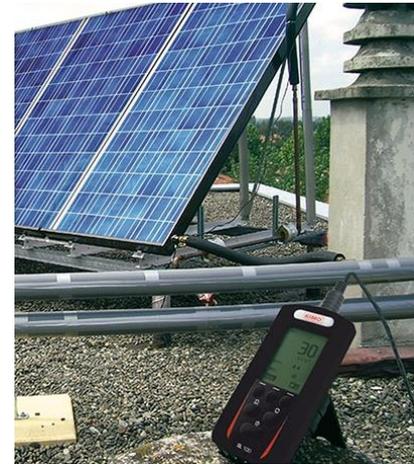


# METODOLOGÍA DESARROLLADA (2da parte)

La irradiación solar se determinó mediante un piranómetro fotovoltaico portátil Kimo.

Los datos eléctricos mediante un analizador de PSF Prova 210

La temperatura ambiente mediante una estación meteorológica Advantage Pro2.



Las medidas se realizaron considerando solo las variaciones de irradiación solar durante la media mensual de horas sol pico presentes en la localidad (NASA, 2010).



# METODOLOGÍA DESARROLLADA (2da parte)

Las curvas se obtienen empleando el modelo de un diodo, que para el caso de un PSFV, su característica eléctrica depende del número de celdas solares en serie y en paralelo que tenga. Suponiendo que, todas son iguales la  $I$  generada por el PSFV sería ( $I_p = I_c * N_p$ ) y el voltaje sería ( $V_p = V_c * N_s$ ).

$$I = N_p \left[ I_1 - I_0 \left( \exp \left( \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right) - 1 \right) - \frac{V}{N_s} + IR_s / N_p \right] \quad (9)$$

Finalmente, se realiza un control para el tratamiento de los datos mediante programa desarrollado en MATLAB<sup>®</sup>, donde los valores  $I_{SC}$  y  $V_{OC}$  se introducen bajo condiciones de irradiancia solar y temperatura en condiciones experimentales.

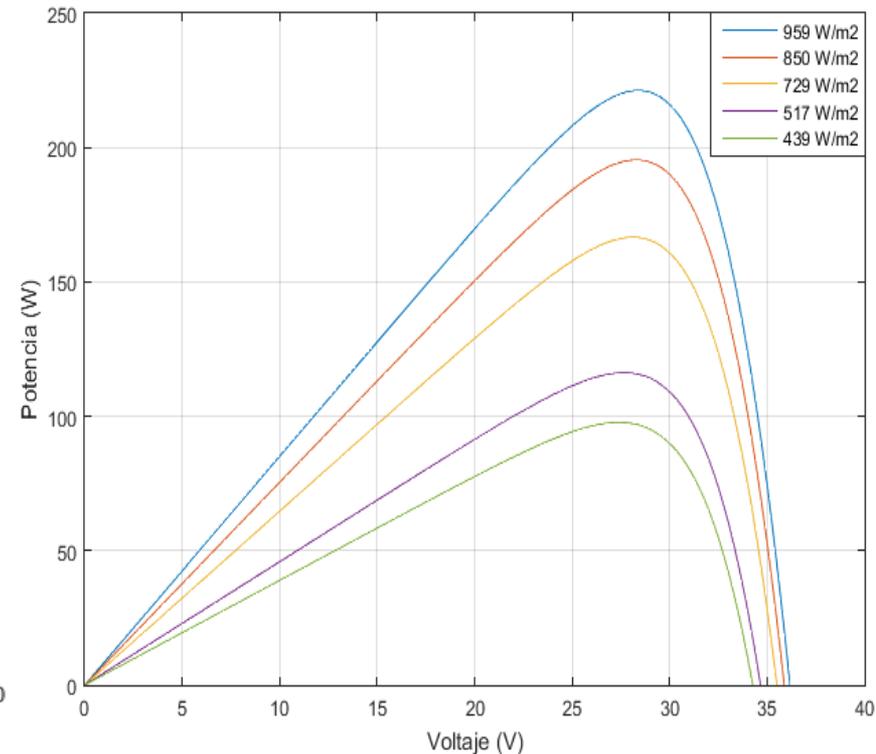
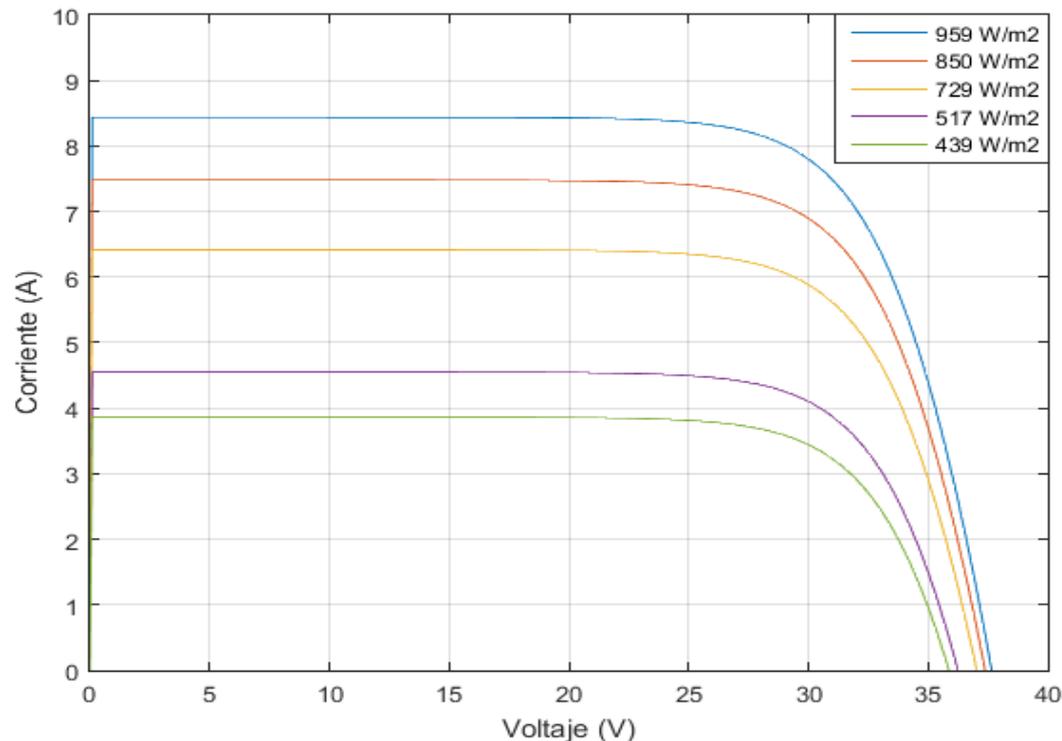


# RESULTADOS

**Tabla 4.** *Parámetros de PSFV obtenidos a la  $I$  máxima experimentada ( $959 \text{ W/m}^2$ ),  $\beta$  fijo y  $T$  ambiente promedio de  $29^\circ\text{C}$ .*

Parámetro	Valor obtenido a $I_{\text{Máx}}$ recibida
$V_{\text{OC}}$ (V)	33.76
$I_{\text{SC}}$ (A)	7.97
$V_{\text{pmp}}$ (V)	26.35
$I_{\text{pmp}}$ (A)	7.82
$P_{\text{máx}}$ (W)	206,0

**Curvas I-V y Curvas P-V de PSFV a diferentes valores de  $I$  solar con  $\beta$  fijo y  $T$  amb. promedio de  $29^\circ\text{C}$**





# CONCLUSIONES

El estudio realizado muestra diferencias en lo experimental respecto a los valores reportados bajo SCT, ya que la máxima irradiancia solar alcanzada fue de  $959 \text{ W/m}^2$  y la temperatura ambiente promedio mensual de  $29^\circ\text{C}$ , lo que conllevó a pérdidas, por no existir para el tiempo de medición una incidencia solar totalmente perpendicular, además los PSFV estudiados están presentando actualmente problemas de coloración amarillenta en algunas celdas solares fotovoltaicas. Las pérdidas tanto en  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $I_{pmp}$  y  $V_{pmp}$  no superan el 10 %, mientras que para la potencia es del 18 %.

Las pérdidas por inclinación y orientación están dentro del 10 % ajustado al tipo de instalaciones del generador fotovoltaico.

Trabajos a futuro conllevan a realizar mediciones en campo durante el verano y el invierno, para tener un histórico anual; a realizar la caracterización de los PSFV a las temperaturas que experimenten los mismos; a estudiar pérdidas eléctricas DC/AC por inclusión del inversor y finalmente, a estudiar el comportamiento eléctrico por daños presentes a causa del tiempo de uso de los PSFV respecto al tiempo de vida útil.





**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)