



Title: Sistema de enfriamiento y limpieza para mejorar la eficiencia en paneles fotovoltaicos en la zona sur de Veracruz

Author: Javier, GARRIDO-MELENDEZ, Pablo, REYNA-GUERRA, Beatriz, ESCOBEDO-TRUJILLO, Eladio, FLORES-MARTÍNEZ

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 25
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
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Introducción

Las energías limpias según ERENOVABLE (2016), son sistemas de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación.

La eficiencia de los Paneles Fotovoltaicos (PF) tiende a disminuir debido a las impurezas que se alojan en la superficie de los mismos y a causa de las altas temperaturas a los que están expuestos.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Objetivo

- Diseñar y construir un sistema de enfriamiento y limpieza que mejore la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (PF) causados por la acumulación de polvo y arena en la superficie de los PF, así como bajar la temperatura de la superficie de los paneles.



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Metodología

- Investigar, calcular y medir la disminución en la eficiencia de los PF debido al contacto con polvo, salitre y otras impurezas que obstruyan el paso de la radiación solar así como debido a las altas temperaturas.
- Diseñar y construir un sistema de enfriamiento y limpieza para mejorar la eficiencia en los PF
- Realizar pruebas y mediciones de temperatura, voltaje y corriente para poder calcular la eficiencia de los mismos.
- Comparar la eficiencia de los PF con el sistema de limpieza y enfriamiento contra los PF sin el sistema de limpieza.



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Antecedentes

- Diferentes trabajos relacionados en mejorar la eficiencia en los paneles Fotovoltaicos se presentan en (Krauter, 2004), (Colt, 2016), (Santos, 2017), (Bahaidarah, 2015), (Dousoky, 2011) y (Mokhtari, 2009), el trabajo presentado por (Prudhvi, 2012) propone un sistema de enfriamiento activo de PF al hacer recircular agua sobre la superficie de los mismos con ayuda de una bomba, asegurando una mayor eficiencia, la diferencia con respecto al trabajo presentado es en el diseño del sistema de enfriamiento y la forma de operación de la bomba.



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Antecedentes

Debido a la ubicación geográfica de la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz, es factible el uso de PF para la generación de energía eléctrica, ya que por su latitud y longitud se puede alcanzar una radiación promedio solar diaria de 1102 W/m^2 según la (Estación Meteorológica DAVIS 6153 VANTAGE PRO2, 2017) y una irradiación hora solar pico (HSP) de $4.87 \text{ kW/m}^2/\text{día}$, una temperatura promedio de 29.24 °C , y se presentan en promedio 50 frentes fríos al año, los cuales arrastran grandes cantidades de arena de playa hacia dentro de la ciudad.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Cálculos para conocer la eficiencia y potencia de los PF con respecto a la temperatura ambiente.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana



Cálculo de temperatura y eficiencia de los PF de la UV Campus Coatzacoalcos.

Datos	Valores	Unidades de medida
Latitud (ϕ)	18.15	Grados Norte ($^{\circ}$ N)
Hora del día en decimal (t)	13.5	Horas (Hrs)
Insolación horizontal (I_{hor})	345	Wh/m ²
Día Juliano (n_j)	285	Días
Angulo del panel con respecto a la horizontal (β)	18	Grados ($^{\circ}$)
Reflectancia (ρ)	0.2	S/U
Temperatura ambiente (T_a)	29	Grados Centígrados ($^{\circ}$ C)
Temperatura Nominal (Noct)	46	Grados Centígrados ($^{\circ}$ C)
Eficiencia de referencia del panel (η_{ref})	14.90	Por ciento (%)
Coefficiente de corrección de temperatura (β_{ref})	0.30	Por ciento (%)
Temperatura estándar del panel (T_{stc})	25	Grados Centígrados ($^{\circ}$ C)
Irradiación en condiciones de prueba estándar (G_{stc})	1000	W/m ²
Número de PF utilizados en la instalación fotovoltaica	7	S/U

Datos de referencia para el cálculo de eficiencia de PF con pérdidas por temperatura



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática



Universidad Veracruzana

- Declinación solar (δ)

$$\delta = 23.45^\circ \text{sen} \left(360 \frac{284+nj}{365} \right) \quad (1)$$

- Ángulo horario (ω).

$$\omega = \frac{360(12-t)}{24} \quad (2)$$

- Ángulo cenital (θ_z).

$$\text{Cos} \theta_z = \text{cos} \varphi \text{cos} \delta \text{cos} \omega + \text{sen} \varphi \text{sen} \delta \quad (3)$$

- Altitud solar (h).

$$h = 90 - \theta_z \quad (4)$$



Universidad Veracruzana

- Ángulo de incidencia solar (θ)

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos\alpha \quad (6)$$

- Constante de radiación solar directa sobre la superficie inclinada (R_b):

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (7)$$

- Constante de radiación solar difusa sobre la superficie inclinada (R_d):

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (8)$$

- Constante de radiación solar reflejada sobre la superficie inclinada (R_r):

$$R_r = \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (9)$$



Universidad Veracruzana

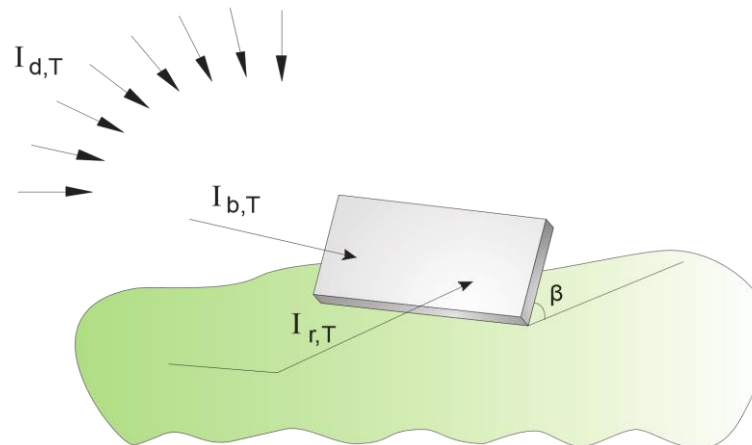


- Radiación directa horizontal (I_b),
- Difusa horizontal (I_d) y
- Reflectancia del plano horizontal (I_ρ) en Wh/m^2 :

$$I_b = 0.34 \times I_{hor} \quad (10)$$

$$I_d = 0.66 \times I_{hor} \quad (11)$$

$$I_\rho = I_{hor} \times \rho \quad (12)$$





Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

- Irradiación solar total

$$I_{tilt} = I_b R_b + I_d R_d + I_p R_r \quad (13)$$

- La temperatura de la célula T_c

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} I_{tilt} \quad (14)$$

- La eficiencia de un módulo fotovoltaico se puede calcular como:

$$\eta_{PV} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{stc})] \quad (15)$$

- La potencia de salida de un módulo fotovoltaico:

$$P_{output} = P_{max, stc} \left(\frac{I_{tilt}}{G_{stc}} \right) [1 - B_{ref} (T_c - T_{stc})] \quad (16)$$



Universidad Veracruzana



Resultados de temperatura de la celda fotovoltaica, eficiencia y potencia con pérdidas por temperatura.

			Resultados			
Datos Requeridos	Valores	Unidades de Medida	Grados Solares		Radiación Difusa Horizontal	
ϕ =latitud	18.15	°N	δ	-8.48	I_d	227.7 Wh/m ²
t= tiempo hrs	13.5	hrs	ω	-22.50		
lhor	345	Wh/m ²	θ_z	34.68	Radiación Directa Horizontal	
I_d	0.66	S/U	h	55.32	I_b	117.3 Wh/m ²
I_b	0.34	S/U	α	-41.70		
Día juliano (nj)	285	S/U	θ	24.02	Radiación Reflejada	
β =angulo panel	18	°			I_p	69 Wh/m ²
p=reflectancia	0.2	S/U	Radiación Solar Directa		Irradiación Solar Total Reflejada En La Superficie Inclineda Por Hora	
Ta= temp ambiente	29	°C	R_b	1.11	I_{tilt}	354.10 Wh/m ²
Noct	46	°C	Radiación Solar Difusa		Temperatura De La Celda Solar	
angulo a	23.45	°	R_d	0.98	T_c	40.51 °C
angulo b	360	°	Radiación Solar Reflejada		Eficiencia Del Panel Solar Con Perdidas Por Temperatura	
Datos Requeridos PF			R_r	0.02	η_{pv}	14.21%
ρ_{ref} del panel	14.90%	%	Radiación Solar Reflejada			
ρ_{ref} = coefic de correccion de temp	0.30%	%				
Tstc=Temp estandar	25	°C				
Datos Requeridos PF y Gsc					95.3	%
Gsc	1000	W/m ²			163	Watts perdidos
					4.7	% de eficiencia perdida

Datos	Resultados
Temperatura de la célula (Tc)	40.51°C
Eficiencia de los PF con pérdidas por temperatura (η_{pv})	14.21%
Potencia de salida de los PF (P_{output})	1181.69 Wh



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Sistema de enfriamiento y limpieza de los PF



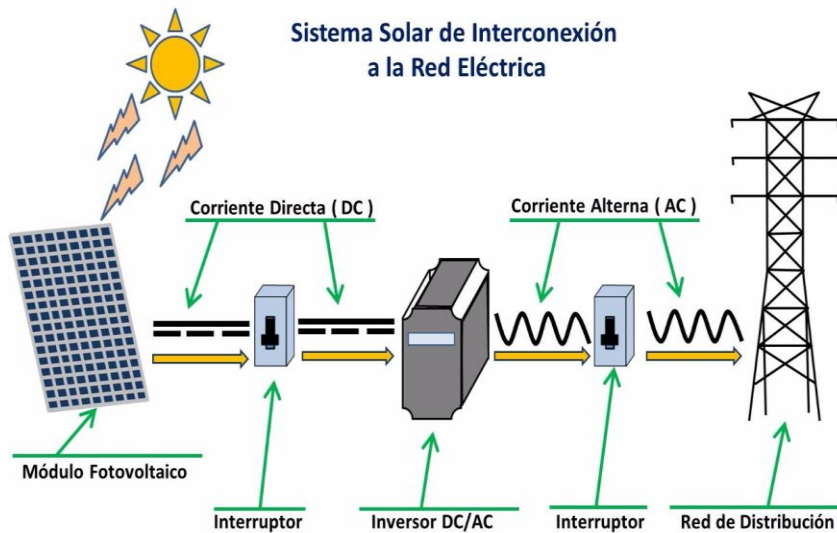
**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana

Desarrollo experimental.

El sistema Fotovoltaico consiste en 14 PF con una potencia total de 3500 W los cuales están configurados en 2 circuitos en serie de 7 paneles cada uno, generando un voltaje de 220 V de CD, los cuales se conectan a un inversor Blueplanet 3502xi-US.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

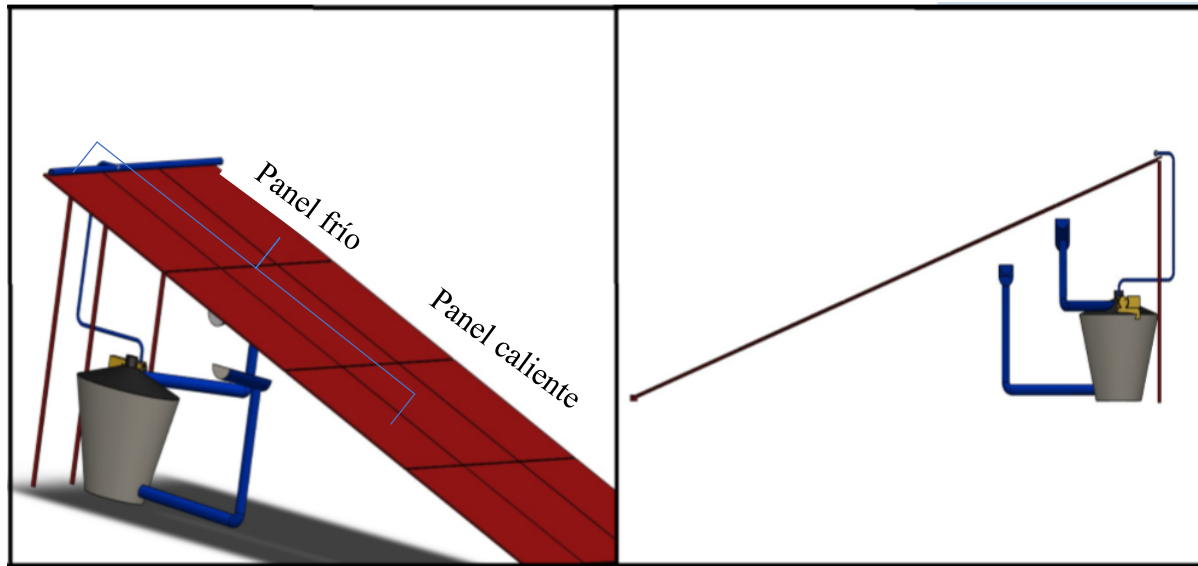


Universidad Veracruzana



Sistema de enfriamiento y limpieza.

Se utiliza un sistema de enfriamiento el cual consiste en la recirculación de agua, mediante el uso de una bomba, el cual suministra una cortina de agua en la parte superior de los paneles.





Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

El sistema de enfriamiento arranca al conectar la bomba de 174.4 W, 120 V de CA cuando las celdas estén por arriba de 35°C, se enciende 24 segundos (40%) y 36 segundos (60%) se mantiene apagado.



Sistema de recirculación de agua sobre la superficie de los PF de la UV Campus Coatzacoalcos



Vista paneles limpios contra paneles sucios



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

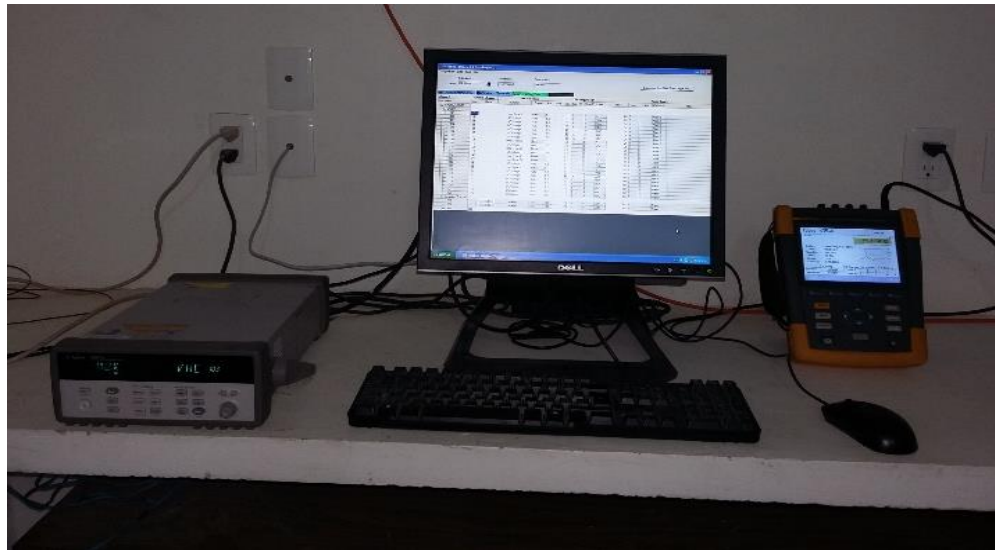


Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Mediciones de las variables

Para comprobar la eficiencia de los paneles, se utilizó un adquisidor de datos agilent 34972A para medir las variables de temperatura ambiente y de la superficie de los paneles, los voltajes y corrientes de CD generados por los PF, voltajes y corrientes de CA generados a la salida del inversor, se calcularon las potencias y se compararon.





Universidad Veracruzana

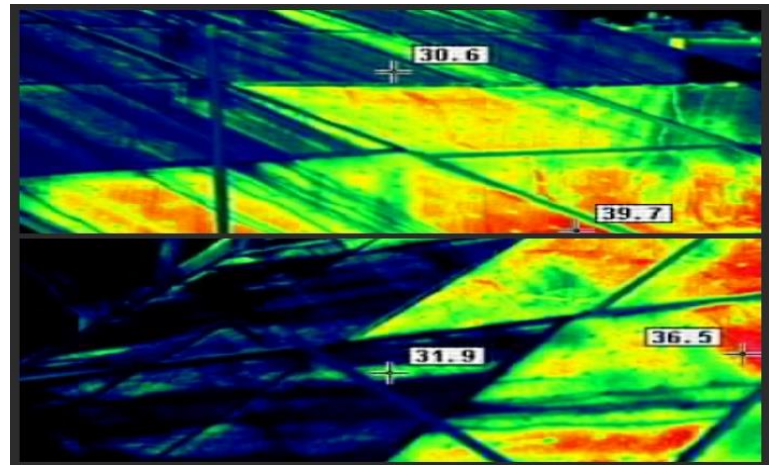


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL SURESTE DE VERACRUZ

Se midió la energía consumida por la bomba (174.4W) con la ayuda de un wattmetro sanelec 4346.



También, se utilizó una cámara termográfica, esto con el fin de apreciar la reducción de temperatura de los PF con el sistema de enfriamiento y sin el sistema de enfriamiento fotovoltaico.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

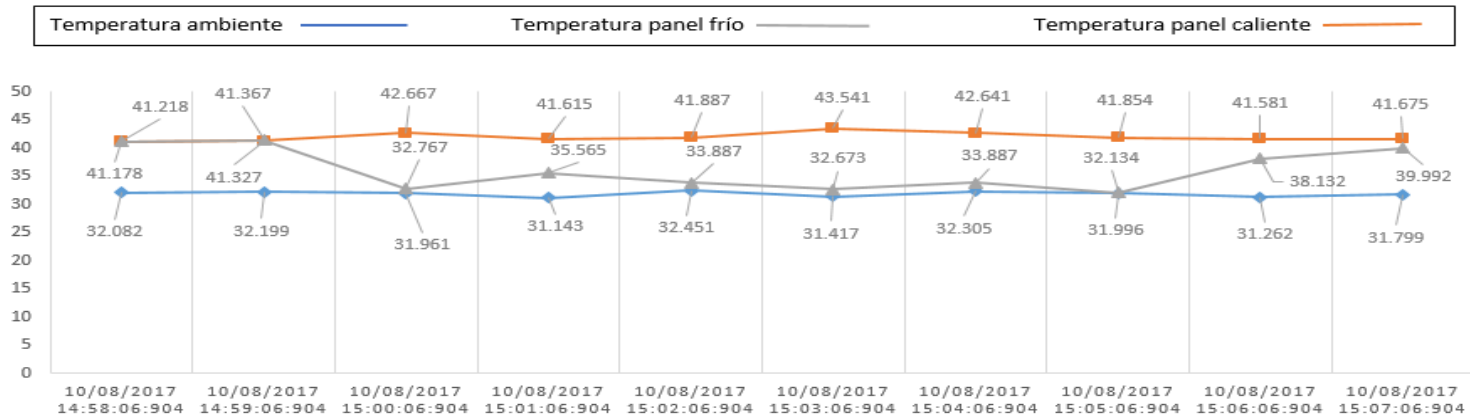


Universidad Veracruzana

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se hizo una recopilación de datos de temperatura ambiente y la temperatura en los PF y se comprobó que el sistema de enfriamiento reduce la temperatura en la superficie del panel frío en promedio 10 °C (los paneles que cuenta con el sistema de recirculación de agua), comparado con la del panel caliente (los paneles que no cuentan con el sistema de recirculación de agua).

COMPARACIÓN, TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURAS DE LOS PANELES CON EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN VS PANELES SIN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN



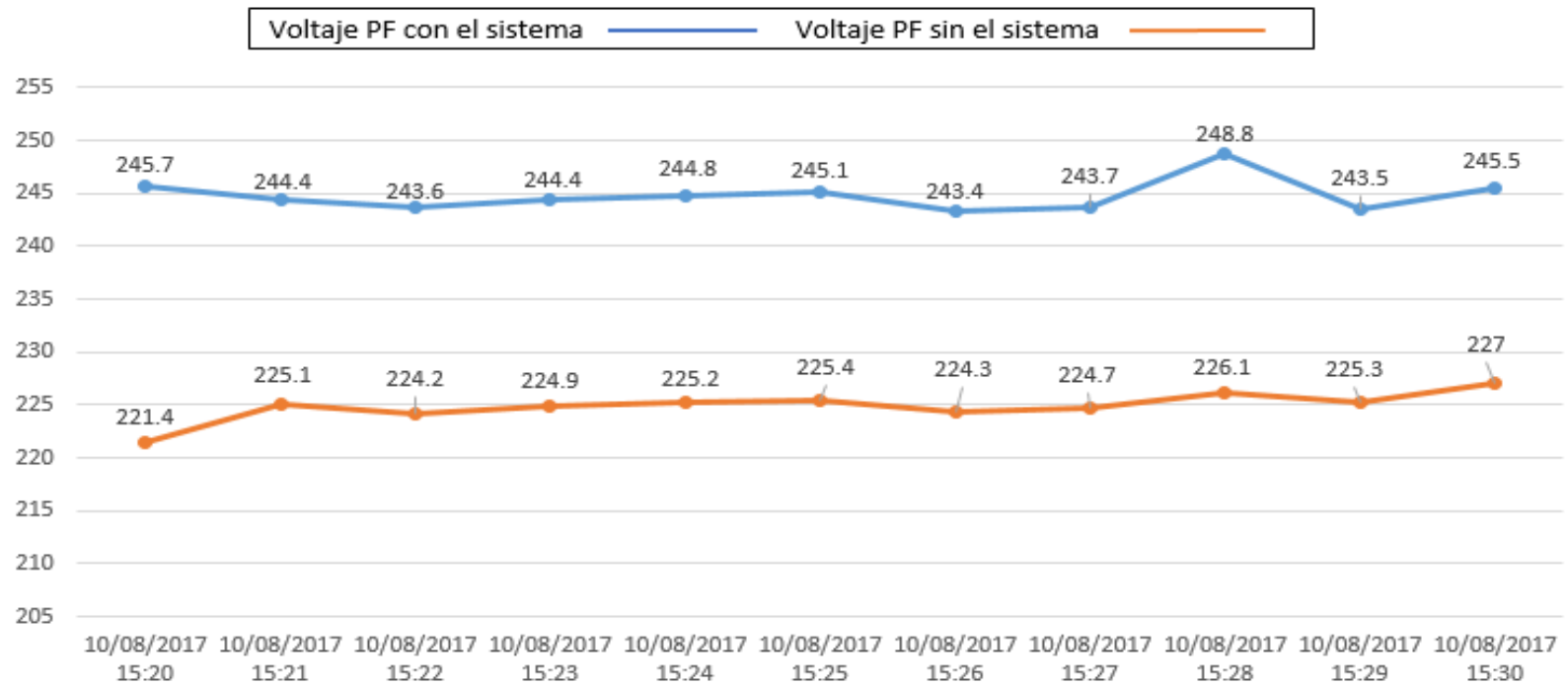
Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática



Universidad Veracruzana



PRUEBA DE VOLTAJE CON PANELES UTILIZANDO EL SISTEMA DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO VS PANELES SIN EL SISTEMA



Gráfica de voltaje



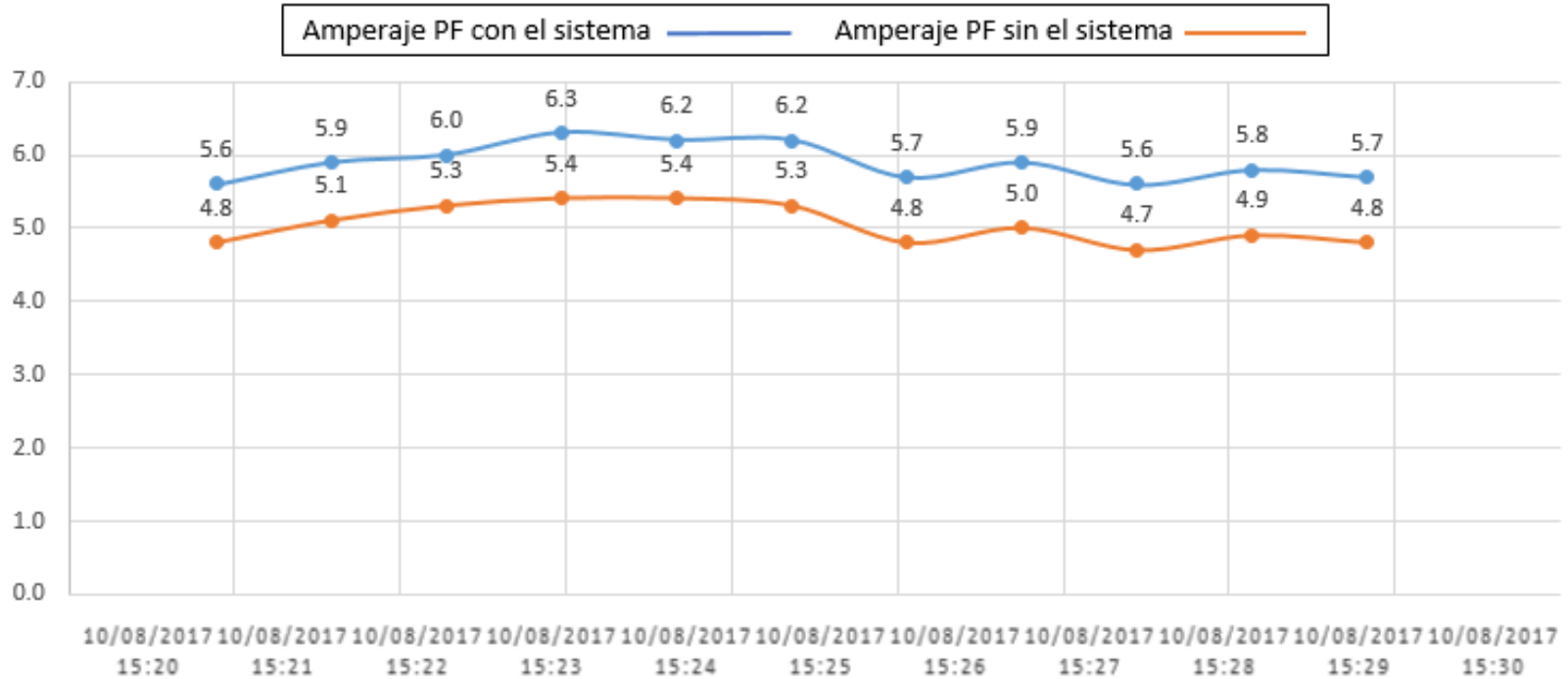
Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática



Universidad Veracruzana



PRUEBA DE CORRIENTE CON PANELES UTILIZANDO EL SISTEMA DE LIMPIEZA Y ENFRIAMIENTO VS PANELES SIN EL SISTEMA



Gráfica de amperaje





Universidad Veracruzana

Resultados de potencia útil de los PF

Dato	Resultados
Potencia útil de salida de los PF con el sistema de enfriamiento y limpieza	1.374 KWh
Potencia útil de salida de los PF sin el sistema de enfriamiento y limpieza	1.135 KWh
Diferencia	0.239 KWh

Resultado de eficiencia de los PF

Dato	Ganancia (Eficiencia)	Ganancia (Potencia)
Eficiencia final de los PF con el sistema de enfriamiento y limpieza.	21.14%	0.239KWh

Teniendo una mejora promedio mensual de 79.29 KWh/mes y al año de 951.46 KWh/año



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática



Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL SURESTE DE VERACRUZ

Referencias

- Bahaidarah, H. M. S. (2015). Experimental performance investigation of uniform and non-uniform cooling techniques for photovoltaic systems. Paper presented at the 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- Cabanillas, R. E., & Munguía, H. (2011). Dust accumulation effect on efficiency of Si photovoltaic modules. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 3(4), 043114.
- Colţ, G. (2016). Performance evaluation of a PV panel by rear surface water active cooling. Paper presented at the 2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE).
- Hee, J. Y., Kumar, L. V., Danner, A. J., Yang, H., & Bhatia, C. S. (2012). The Effect of Dust on Transmission and Self-cleaning Property of Solar Panels. *Energy Procedia*, 15, 421-427.
- Melis, W. J. C., Mallick, S. K., & Relf, P. (2014). Increasing solar panel efficiency in a sustainable manner. Paper presented at the 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON).
- Nahar, N. M., & Gupta, J. P. (1990). Effect of dust on transmittance of glazing materials for solar collectors under arid zone conditions of India. *Solar & Wind Technology*, 7(2), 237-243.
- Okoye, C. O., & Solyali, O. (2017). Optimal sizing of stand-alone photovoltaic systems in residential buildings. *Energy*, 126, 573-584.
- Prudhvi, P., & Sai, P. C. (2012). Efficiency improvement of solar PV panels using active cooling. Paper presented at the 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering
- Zorrilla-Casanova, J., Philiouline, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora, L., Sidrach-de-Cardona, M. (2011). Analysis of Dust Losses in Photovoltaic Modules. Paper presented at the World Renewable Energy Congress - Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Swede.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**



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. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)