

---

## Instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la RED en infraestructuras de instituciones de educación superior.

---

**Por:** Verónica Flores Sánchez, Jesús Juárez Borbonio, Carlos Alberto Ventura de la Paz.

**Año 3, Número 3. Mayo - Agosto, 2016.**

---

### Resumen

---

Este trabajo propone la metodología para integrar las energías solares en las instituciones académicas en el estado de Veracruz donde el recurso solar de esta zona se estima en  $4000 \text{ W/m}^2$ ; sin embargo, todavía tiene pocas aplicaciones.

El desarrollo del estudio se realiza en tres niveles de acción: primero se realizó la evaluación general de energía; después se diseñó un sistema fotovoltaico y finalmente, se evaluó el sistema. Este documento presenta la evaluación del consumo de energía en las instituciones académicas y la disponibilidad del recurso solar.

Se demuestra que la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos puede mejorarse implementando buenas prácticas en el uso de la energía en instituciones educativas.

**Palabras clave:** Consumo de energía, recursos de radiación solar, sistemas fotovoltaicos.

---

### Abstract

---

This article proposes the methodology to integrate solar energies in Academic Institutions in Mexico, the application of this study was conducted in the state of Veracruz. The state of Veracruz and the central area of the state have a good national record solar resource, estimated at  $4000 \text{ W/m}^2$ , but only a few applications solar technologies at large scale are listed.

The development of the study is suggested on 3 action levels: A General Energy Evaluation, APV Design and the Post-evaluation of the system. This paper includes the results of the first level action, corresponding to the Energy evaluation. This energetic evaluation refers to the evaluation consumption of the academic institutions and the energetic solar resources.

We show that the efficiency of the PV systems can be improved thanks to a previous energetic study offering a save energy plan, implementation of practices and the good evaluation solar potential energy resources.

**Keywords:** energyconsumption, solar radiation resources, PV systems.

---

### Introducción

---

Debido a los altos precios de la energía eléctrica, la mayoría de los gobiernos y población están buscando activamente soluciones en este aspecto; las economías emergentes de América Latina se ven particularmente afectadas por las necesidades energéticas, ya que, la demanda de energía representa un aumento de más del

5% para estas economías<sup>1</sup>. En el caso de México, que es una de las economías más importantes y representativas de esta zona, se observa un incremento de 6.1 % de la demanda eléctrica durante el año 2012<sup>2</sup>; considerando que la demanda de energía primaria en México es de alrededor de 9190 PJ y se espera alcanzar una producción de energía eléctrica de 270 PJ para el uso público y residencial. Por lo anterior, se deben desarrollar políticas energéticas para atender esta demanda, ya que las energías solares se presentan como la mejor alternativa de suministro de energía. México tiene el beneficio de ser uno de los países con mejores recursos solares debido a su situación geográfica y clima, ya que produce 2000 kWh/m<sup>2</sup> en los valores más bajos y el 78% en los días que son soleados. No obstante, las aplicaciones solares como los sistemas fotovoltaicos, que podrían ser una buena opción a gran escala para la producción de electricidad son casi inexistentes; por ejemplo, en este trabajo se presentan más de cinco aplicaciones a gran escala en los edificios públicos y áreas comunes<sup>3</sup>. Por ejemplo, Alemania con menos recursos solares, alrededor de 1000 kWh/m<sup>2</sup>, ha instalado más de 19.3 GW de producción energética en instalaciones fotovoltaicas<sup>4</sup>; mientras que en México solo existe 5.72 MW de capacidad de producción proveniente de los sistemas fotovoltaicos. En realidad, la ausencia de programas de evaluación energética y gestión tecnológica, impide que México sea reconocido como un país que utiliza energías renovables. Así, las instituciones académicas como universidades, escuelas secundarias y escuelas primarias en las que se genera y se comparte el conocimiento deben ser los primeros lugares en los que se fomente el uso de energías alternativas y en desarrollo.

Este estudio se desarrolló en el estado de Veracruz, con una población cerca de 7.643 millones de personas. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la factibilidad de implementar sistemas fotovoltaicos en las instituciones educativas.

Veracruz cubre una superficie de 71826 km<sup>2</sup> y por su geografía, el estudio debe ser dividido en varias zonas geográficas. Los resultados expuestos en este artículo se desarrollan sobre todo en la zona central del estado, en las coordenadas 18 ° 42 ' LN y 96 ° 28 ' LO a 380 m sobre el nivel del mar y cerca de la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental, el nivel de humedad que normalmente se registra es de 84 % y las precipitaciones anuales tienen entre 1400-2100 mm.

En esta zona del estado donde existen 20 universidades, 300 escuelas secundarias (públicas y privadas) y una población estudiantil de alrededor de 60000 personas<sup>6</sup>; la energía que se requiere para el buen funcionamiento de este servicio público puede alcanzar niveles de más de 25 % del consumo nacional de energía, además de las dificultades que tiene el sector público en general para cubrir el monto económico.

Los sistemas fotovoltaicos desarrollados en instituciones académicas podrían aportar soluciones energéticas; de hecho con el análisis se pueden identificar los puntos altos y críticos de consumo, así como el potencial de la energía solar que puede ser utilizado en los sistemas fotovoltaicos para optimizar la radiación solar y, finalmente, observar el impacto positivo en los indicadores energéticos; la evaluación, especialmente para las instituciones académicas en el estado de Veracruz refleja que no existe control energético y solo se estiman los recursos solares.

---

## Metodología

---

### Evaluación de recursos solares

Con el fin de lograr sistemas fotovoltaicos eficientes es necesaria la evaluación del recurso solar con precisión, y la identificación de las estaciones en la región<sup>5</sup> para estimar la capacidad energética de los sistemas fotovoltaicos en función del total de recursos.

El estudio se realiza con dos piranómetros SR20 de alta precisión, marca Hukseflux de clase II con un rango espectral de 300 a 2800 nm y con una sensibilidad nominal de 15 x10<sup>-6</sup> V/(W/m<sup>2</sup>). Los sensores se instalan en 12 metros del suelo, libre de la pantalla solar o reflexiones de alto nivel. Dos orientaciones diferentes se analizan con el fin de obtener la orientación óptima para recibir los valores máximos de irradiación.

Uno de los piranómetros está orientado a 18 ° 45 ' desde el plano horizontal en el sur de acuerdo a la siguiente relación simplificada:

$$\text{angulo} = \delta (1)$$

El otro se coloca a 0 ° desde el horizonte y se orienta hacia el sur geográfico. La irradiación solar global se captura cada 10 segundos, gracias a un dispositivo almacenador de datos, modelo C100, marca Datalogger de la empresa Campbell Cientific, programados para reconocer horas de sol, días y meses.

Las temperaturas son seguidas gracias a un sensor de Campbell científica 108 -L rango de temperatura de 5 a 95°C y una sensibilidad de 10-3 y corroboran con los valores de varias estaciones meteorológicas de la zona. Una simulación de los recursos de irradiación en diferente orientación por temporada y la traducción sol se realiza gracias a varios programas (METEONORM, TRNSYS), estos resultados son confrontados con las medidas reales que vienen por los sensores de irradiación.

### **Análisis del consumo de energía en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz**

El estudio del consumo de energía se realizó en dos etapas: el análisis del consumo general del edificio y la medición de los puntos estratégicos de consumo que permitieron identificar y comparar los datos puntuales de la demanda de puntos eléctricos. Esta estrategia permitió controlar mejor los puntos que absorben mucha energía y proponer un programa de economía de la misma.

Con el fin de obtener las estrategias de control es importante identificar y actualizar los esquemas eléctricos de la construcción, para ello, se proponen esquemas eléctricos especiales. En estos diagramas se pueden observar las cargas eléctricas divididas en tres grupos: climatización, iluminación y otros contactos (computadoras, aparatos electrónicos, maquinarias especiales).

La medición del consumo energético se realiza con un grupo de Vatímetros marca Typ - instrumentos, modelo MS2203 cuyo valor de la potencia máxima de 600 KW. Los datos se capturan cada 5 segundos y se grafican.

Los resultados obtenidos se compararon con las facturas eléctricas procedentes de la Comisión Federal de Electricidad y se confrontaron con los parámetros relacionados con el uso de la electricidad como la temperatura ambiente, el número de estudiantes, la iluminación.

## **Resultados**

### **La evaluación de los recursos solares**

Se realizó una simulación del recurso solar anual en las coordenadas en estudio, mediante el software Trnsys 16.0. Los datos solares utilizados para la simulación se toman del software Meteonorm y la simulación se realiza para diferentes ángulos de inclinación de la superficie de absorción.

Las fórmulas utilizadas por el software para la simulación se muestran a continuación.

$$\cos\theta = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos(h) (2)$$

Dónde  $\theta$  es el ángulo cenital solar,  $h$  es el ángulo horario,  $\phi$  es la latitud, la declinación  $\delta$ .

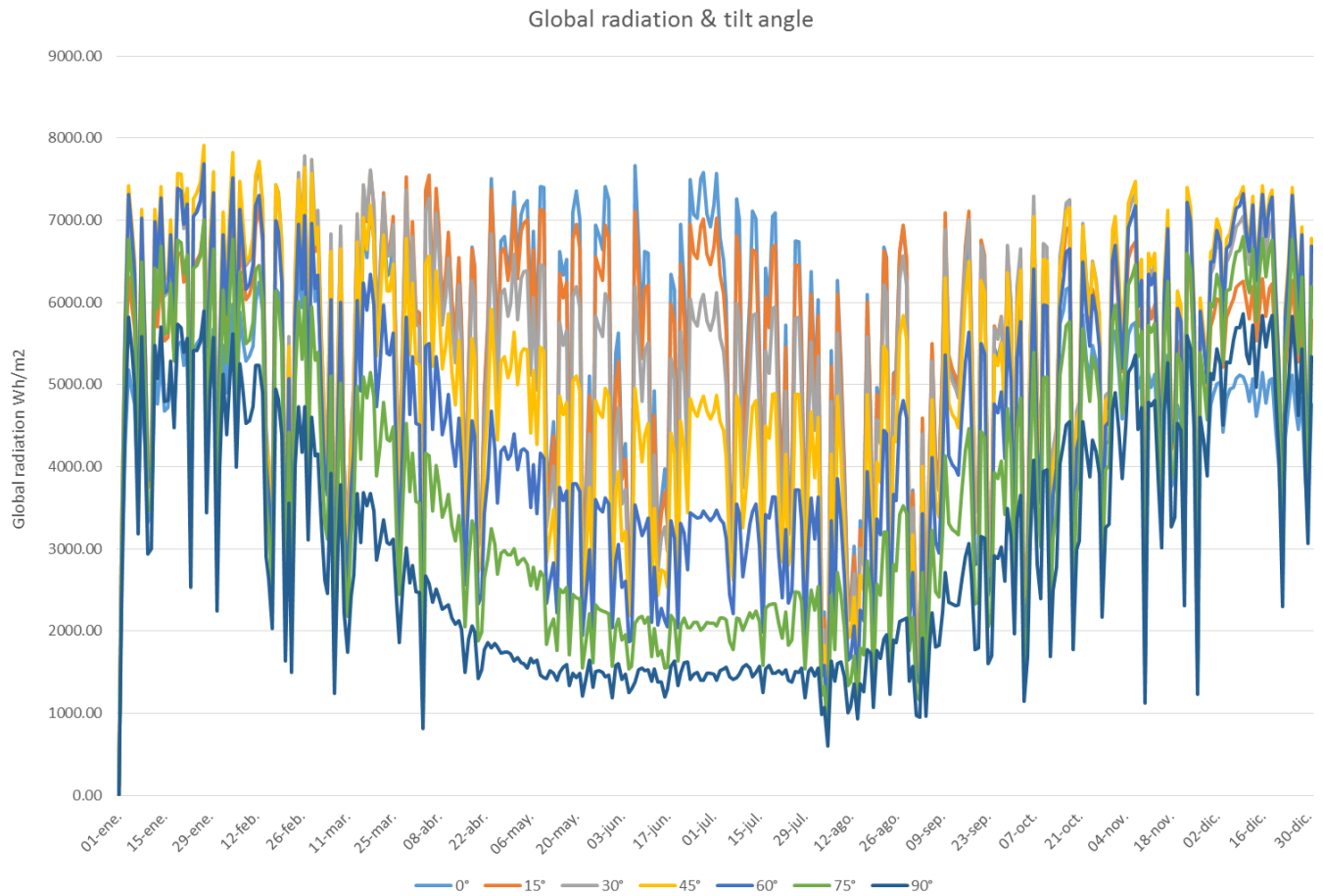
$\delta$  se obtiene mediante la ecuación<sup>7</sup>:

$$\delta = (0.006918 - 0.39912\cos\tau + 0.070257\sin\tau - 0.006758\cos2\tau + 0.000907\sin2\tau - 0.002697\cos3\tau + 0.00148\sin3\tau) \left(\frac{180}{\pi}\right) (3)$$

Donde:

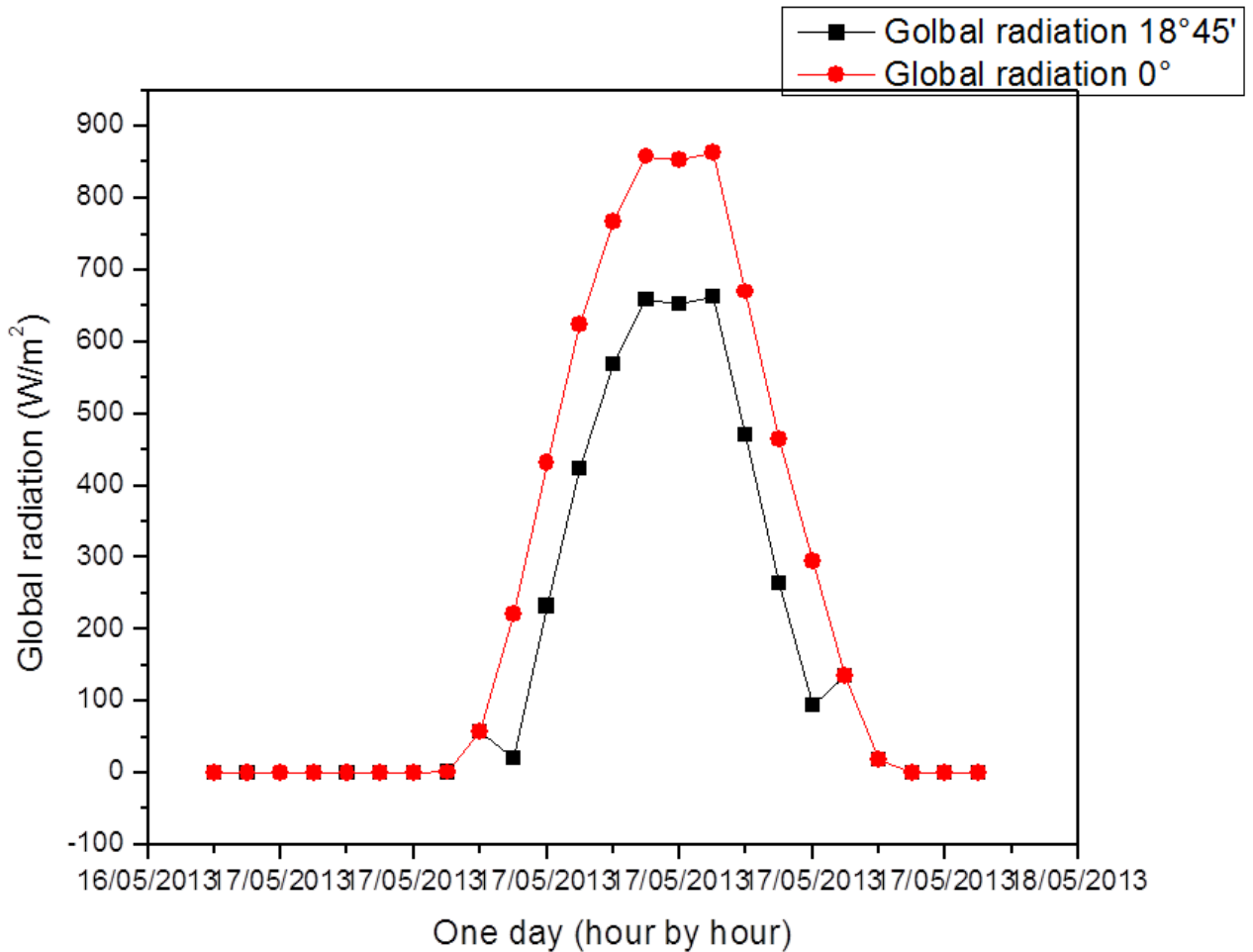
$$\tau = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} (4)$$

Teniendo en cuenta la trayectoria del sol durante el día y durante las cuatro estaciones del año, los resultados de la simulación se muestran en el siguiente gráfico.



**Figura 1.** Radiación global en diferentes ángulos de inclinación durante el año.

Los valores expuestos en la figura 2 corresponden a un análisis de un día de mayo de 2013 con un sensor colocado horizontalmente (sin inclinación). La variación de la radiación global con los ángulos de inclinación demuestra que es factible modificar los ángulos de orientación para optimizar la producción energética. Así, a 0° durante el período de verano la radiación global puede alcanzar los valores más altos. Sin embargo, durante las temporadas de invierno y otoño con el mismo ángulo de 0° el recurso solar aprovechado es mínimo y aún inclinando las superficies de absorción a los ángulos recomendados (un medio de la latitud del lugar), se observa una disminución de los valores de radiación. Esto se debe a que en esos meses aumenta el ángulo AM.

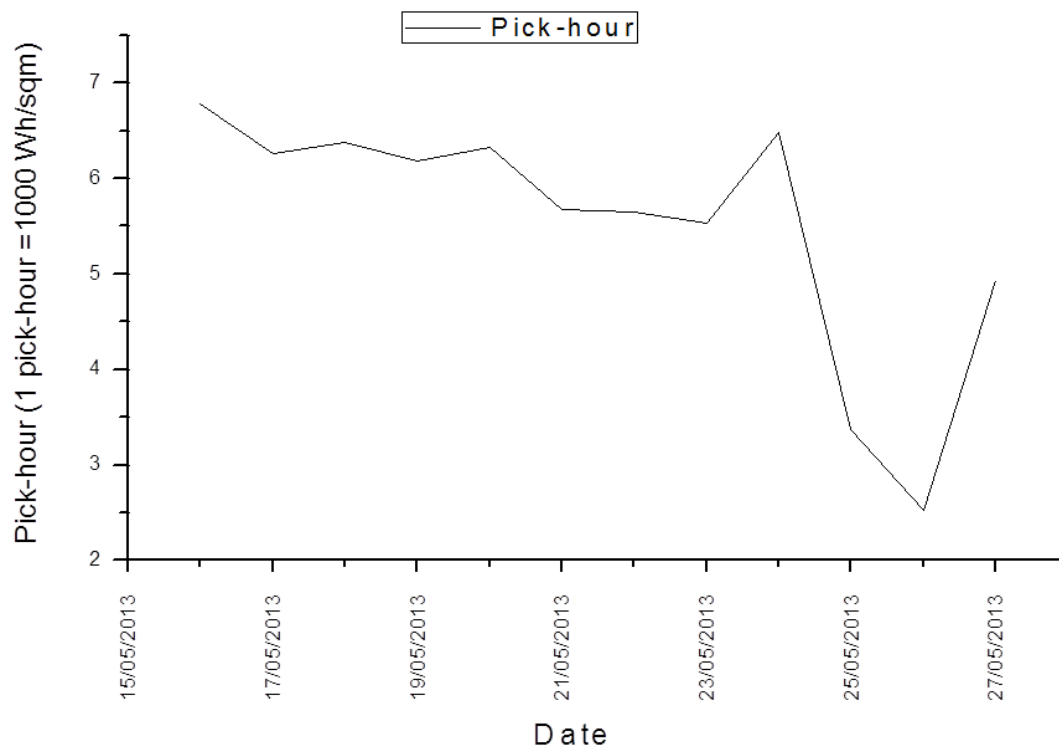


**Figura 2.** Valores de radiación global para un día en el mes de mayo del 2013

Como se observa en la figura 2, la radiación global puede alcanzar valores superiores a 800 W/m<sup>2</sup> durante algunas horas del día. También se observa que una inclinación de la superficie de absorción a 18°45' provoca una disminución de más del 20% en la producción de energía.

Los valores medios de la radiación global a 0° durante el período febrero-julio 2013 es de 800 W/m<sup>2</sup>, de tal manera que teniendo en cuenta las relaciones<sup>8,9</sup> se puede predecir con el valor de la radiación solar, las horas de producción fotovoltaica, es importante, tener presente que una hora de producción solar es igual a 1000 Wh/m<sup>2</sup>.

Dado que la radiación solar máxima es 1 kW/m<sup>2</sup>, el número de horas de sol pico es numéricamente idéntica a la insolación solar media diaria. Por ejemplo, integrando el área bajo las curvas de irradiación y la estimación de que la altura de la zona del rectángulo equivalente es igual a 1000 W/m<sup>2</sup>, la base de este rectángulo es el número de horas de sol pico eficaces para la producción de PV.



**Figura 3.** Irradiancia del mes de mayo del 2013 obtenida en horas solares- pico.

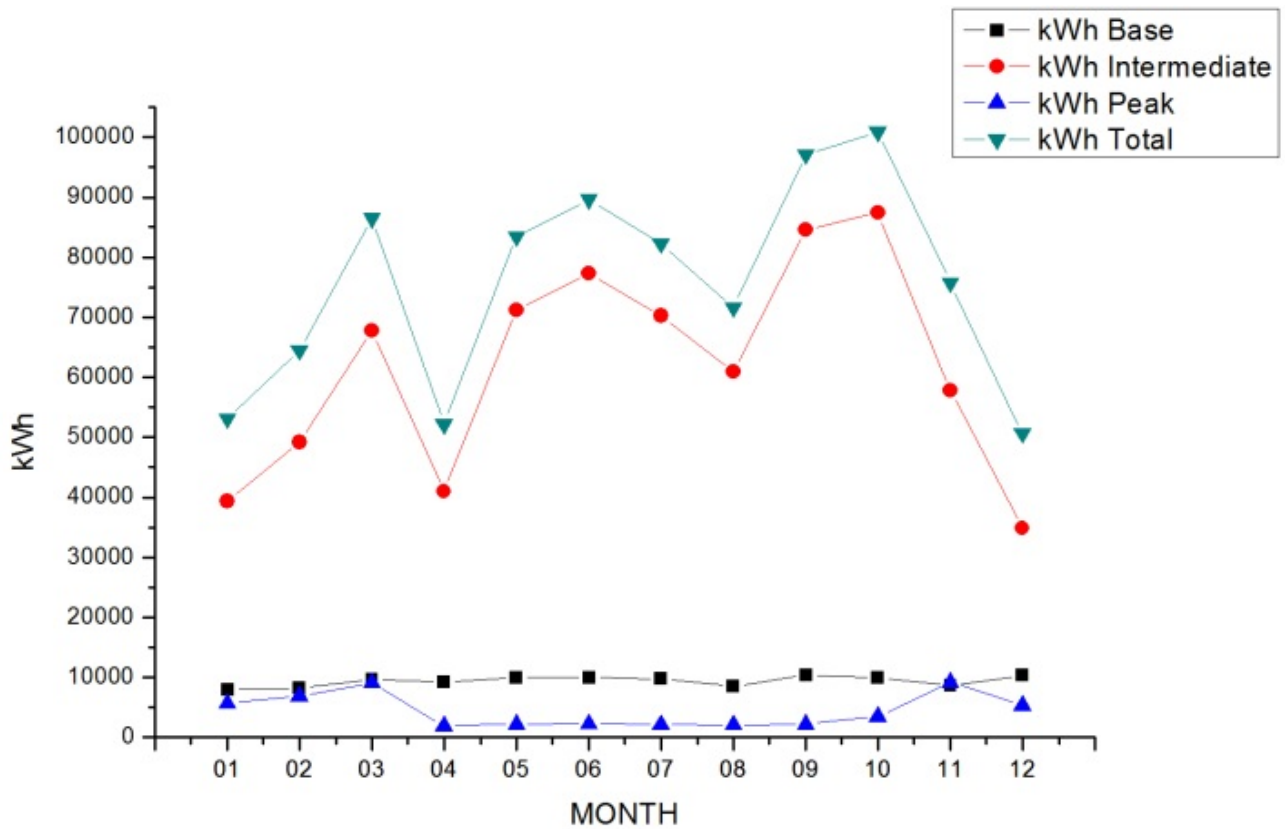
La figura 3 muestra un ejemplo de los valores obtenidos de la evaluación de las horas pico de sol. Los resultados obtenidos durante el periodo enero-mayo 2013 muestran un valor medio cercano a 7 horas pico de sol; para los días nublados, los valores más bajos son de alrededor de 2.5 horas solares pico.

---

### **Evaluación del impacto económico por el consumo de energía**

---

Se registraron los valores generales de consumo de energía eléctrica para los distintos meses del año 2012. La figura 4 resume la tasa de consumo y los niveles energéticos de cada uno de ellos.



**Figura 4.** Consumo energético del mes de mayo del 2013

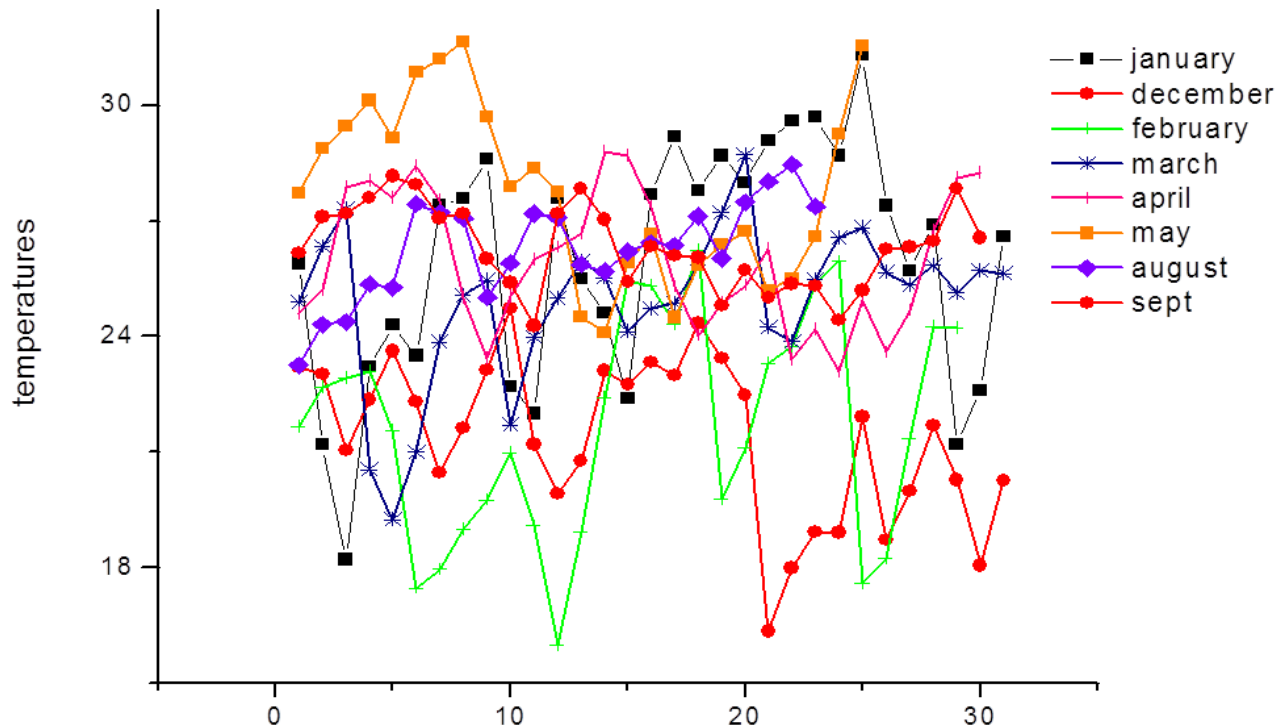
El consumo energético total alcanza un valor medio de 80000 kWh, que representa un valor alto considerando un conjunto de edificios públicos para usos académicos y una población estudiantil de alrededor de 300 instituciones de educación. La siguiente tabla muestra la relación entre las diferentes clases de tarifas de cobro de la compañía suministradora de energía y el porcentaje económico en la factura final.

**Tabla 1.** El consumo de energía de diferentes edificios y los valores del desequilibrio.

Energy	Normal rate	Efficiency rate	Peak rate	Taxes
Percentage final facture (%)	59	25	2	14

La relación de la eficiencia está relacionada con los niveles de exceso en el consumo energía.

Con el fin de comprender y detectar este consumo excesivo, debe realizarse un examen de los parámetros ambientales como la temperatura ambiente<sup>10,11,12</sup>. La figura 5 expone las temperaturas diarias que se registraron durante el año 2012; los valores diarios están cercanos a 3.45 kWh.



**Figura 5.** Las temperaturas registradas zona central de Veracruz durante 2012.

Uno de los parámetros más importantes en zonas tropicales como Veracruz es la temperatura ambiente. El mayor consumo de electricidad, por consiguiente, proviene de los sistemas de climatización, sorprendentemente las temperaturas que se registran durante el año se sitúan mayormente entre 26 y 22° C (fig. 5). Los niveles de consumo que se registran en la figura 4 (en relación con los aparatos de aire acondicionado) no son concordantes con estas temperaturas, lo que significa que, en particular, la climatización no ha sido empleada en forma correcta.

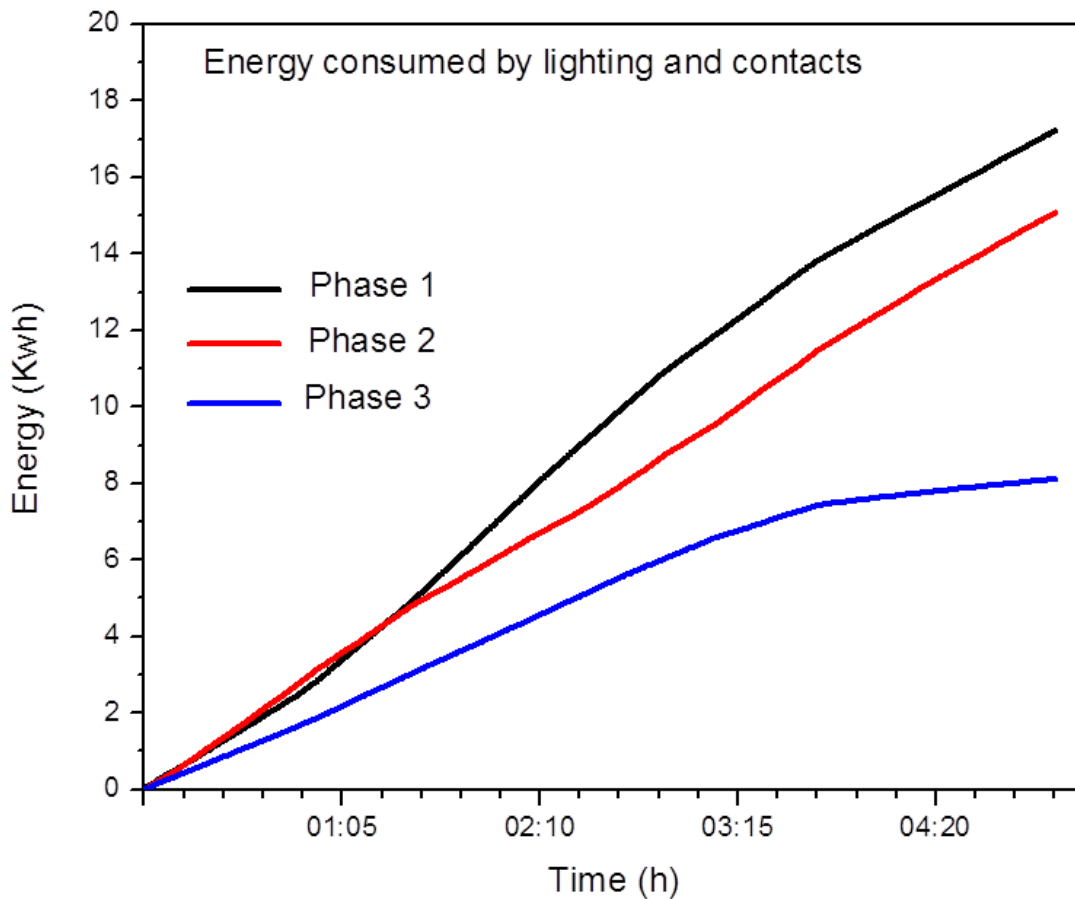
---

### Evaluación del consumo de energía

---

En la gráfica siguiente (Fig. 6) se presenta, el consumo de energía correspondiente a uno de los edificios de la zona, se observa el desequilibrio de consumo que existe entre las dos fases; es decir, se esperaría que cada fase consumiera la misma cantidad de energía lo que reflejaría una carga balanceada, que en este caso no ocurre.





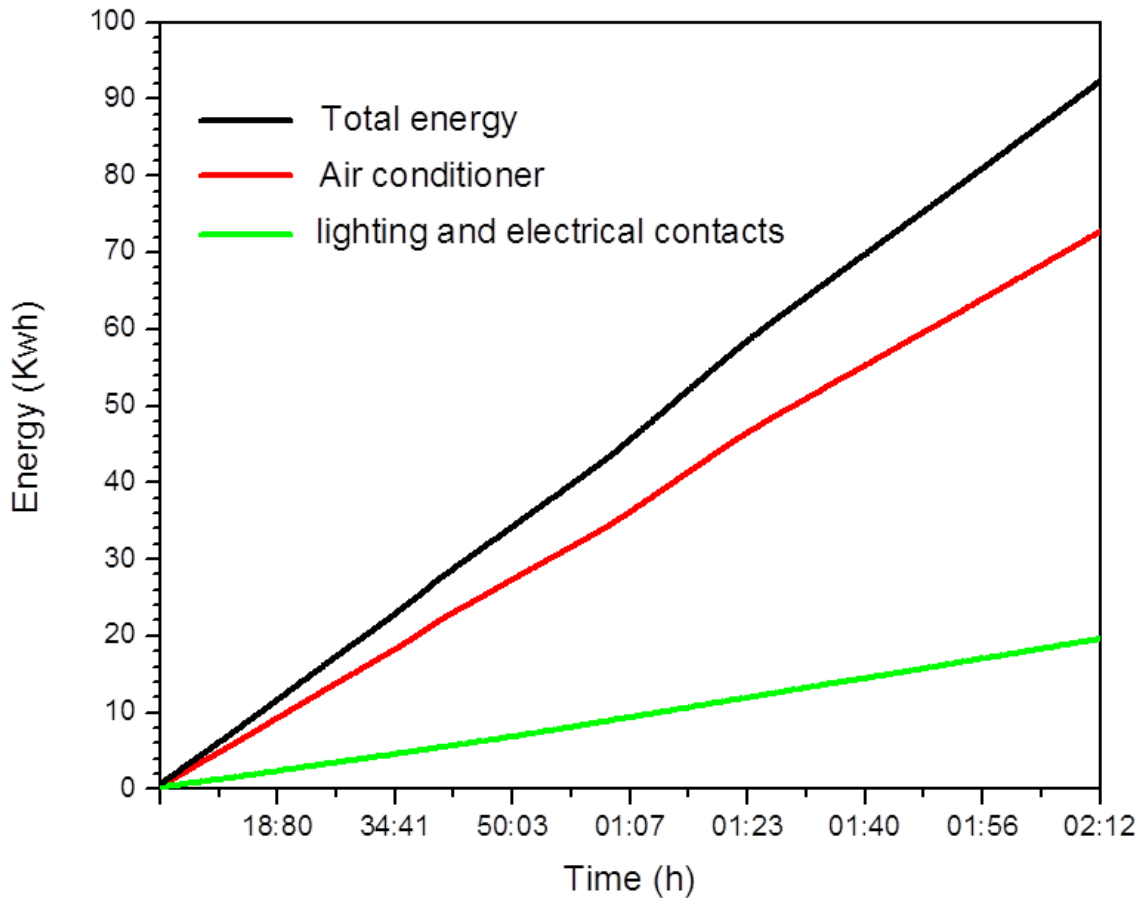
**Figura 6.** El consumo de energía de un edificio procedente de la iluminación y contactos.

**Tabla 1.** El consumo de energía de diferentes edificios y los valores del desequilibrio (B1, B2 son la identificación del edificio)

Buildings	Phase1(kW)	Phase 2 (kW)	Phase 3 (kW)	Imbalance %
Lighting and contacts B1,B2	36.32	32.05	17.3	52
Climatization B1	131	152	174	24
Climatization B2	100	144	92	36

Esta evaluación energética de las diferentes fases muestra en primer lugar, los valores de desequilibrio que pueden alcanzar más de un 50%. (Tabla 1). Este desequilibrio tiene consecuencias negativas: la disminución del factor de potencia (F.P) que aumenta el costo del consumo, lagos energéticos y la propagación de estos efectos en los demás puntos de la red; en segundo lugar, el consumo energético de cada punto de carga

puede alcanzar niveles importantes<sup>13,14</sup>. Como se sugirió anteriormente, el aire acondicionado presenta al menos un 75% por ciento del consumo total. Fig. 7.



**Figura 7.** El consumo de energía de un edificio procedente de la iluminación y contactos

El consumo total se divide en dos grupos principales: la iluminación y sistemas de aire acondicionado, la figura 7 es un resultado representativo del consumo habitual. Los acondicionadores de aire alcanzan la carga eléctrica más alta en las instituciones académicas, este comportamiento es el mismo en tres diferentes instituciones académicas estudiadas en la zona:

- 75% del consumo total corresponde al aire acondicionado.
- El 25 % restante corresponde a la iluminación y contactos.

---

## Discusión

---

Los resultados obtenidos por medio del análisis del recurso solar durante el período estudiado, demuestran el importante potencial que tiene la zona centro del estado de Veracruz para implementar sistemas fotovoltaicos. Los diferentes ángulos de inclinación de la superficie observada, arrojan datos experimentales de la radiación global que nos permite definir la mejor posición para la optimización del recurso solar.

El estudio realizado permite afirmar que la instalación fotovoltaica en el período de verano los paneles se deben colocar a 0°, mientras que en la época de otoño la superficie deberá estar en los ángulos entre 45 a 60°: los registros experimentales durante las temporadas de primavera-verano confirman esta tendencia.

Durante el experimento se observa que los valores de la radiación global son de 800 W/m<sup>2</sup> y que el valor medio de horas solares pico es de 7.5, siendo estos, los registros más altos para una producción de electricidad en sistemas fotovoltaicos óptimos.

Por otro lado, el análisis de las cargas eléctricas de consumo de las diferentes instituciones académicas estudiadas, muestra que el consumo durante los períodos fuera de la actividad escolar es bajo, además, el consumo de los aparatos de aire acondicionado no está de acuerdo con la temperatura ambiente de la zona. En todos los casos, el aire acondicionado representan el 75% de la cantidad total de energía consumida; por consiguiente, el control de estos aparatos significaría un ahorro considerable en la factura de energía. Los equipos de iluminación podrían permitir una disminución del 20% del consumo eléctrico y un mejor balanceo de cargas en cada línea de suministro eléctrico puede contribuir a disminuir el consumo en un 2%.

---

## Conclusión

---

Una visión general del contexto energético obtenido a través de este estudio demuestra que existen lagunas importantes en la gestión energética en las instituciones académicas y los edificios públicos del país. La estrategia recomendada es la creación de planes de identificación de los puntos de consumo por medio de esquemas eléctricos dividiendo las cargas de acuerdo con las tres clases de máximas: iluminaciones, acondicionadores de aire y contactos. En segundo término es necesario el control energético puntual para identificar el consumo "vicioso", debido a que las instituciones del estado de Veracruz, se encuentran en una zona cálida, los sistemas de aire acondicionado representan el sector que más energía demanda.

Con respecto al estudio de la disponibilidad de recurso solar se muestra que los sistemas fotovoltaicos diseñados racionalmente y mejorados deben ser parte de la estrategia energética.

A partir de este estudio, la factibilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos asociada con un buen programa económico energético puede ser aprobada ya que durante las temporadas de calor, la energía solar puede suministrar el exceso de consumo de los aparatos de aire acondicionado, suponiendo más de 7.5 horas-pico de sol. Finalmente, invertir en sistemas fotovoltaicos y desarrollar estrategias de arquitectura tales como "tragaluces", junto con los programas de gestión energética podría reflejar una rápida reducción el consumo de más del 50 % de la energía.

## Agradecimientos

Los investigadores desean agradecer al COVECyT por su apoyo financiero. La Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz agradece al Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca por dar todas las facilidades y el acceso a sus instalaciones para el desarrollo de este estudio.

---

## Referencias

---

1. MATTEINI, M. Why ISO 50001 and Energy management for developing countries and emerging economies industry [ref. 17 julio 2011]. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/home.html>
  2. SENER, Secretaría de Energía. *Balance Nacional de Energía* [en línea]. Secretaría de Energía. Disponible en: <http://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>.
  3. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). Solar energy: Key solution to CO2 challenges in the developing world, 2009. [ref. 10 enero 2012]. Disponible en: <http://www.solarpowereurope.org/home/>.
  4. CHOONG WENG Wai, ABDUL HAKIM Mohammed, LOW SHEAU Ting. "Energy management key practices: A proposed list for Malaysian universities". International journal of Energy and environment, Volume 2, Issue 4, 2011. p.749-760
  5. ISO International Organization for Standardization. ISO 50001: Energy Management System Requirements with Guidance for Use, 2011. [ref. 10 julio 2011]. Disponible en: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297).
  6. INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía-Veracruz: Atla educativo. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/descarga/?c=100>
  7. THUMANN, A. Energy Conservation in Existing Buildings Deskbook. Lilburn, GA: Fairmont Press. 1992.
  8. L.S. De Bernardeza, R.H. Buitragob, N.O. García. "Photovoltaic generated energy and module optimum tilt angle from weather data". International Journal of Sustainable Energy ,Vol. 30, No. 5, October 2011, p. 311–320.
  9. J. A. Duffie and W. Beckman, *Solar Engineering Thermal Processes* Wiley, Hoboken, NJ, 2006.
  10. FERNÁNDEZ DIEZ, Pedro. Procesos termosolares en baja media y alta temperatura. *Servicio de Publicaciones de la Escuela T. Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 1992.
  11. QUANHUA Liu, QINXIAN Miao, JUE J. Liu, WENLI Yang. *Solar and wind energy resources and prediction*. Journal of renewable and sustainable energy, 2009.
  12. HARTMANN, D.L. *Global Physical Climatology*. San Diego, C.A. Academic Press, 1994.
  13. HERRERO, A.C. *Harmonic analysis of monthly solar radiation data in Spain*. Ambient Energy. Vol 14,35.
  14. MASHBURN, W.H. *Effective Energy Management*. In Turner, W. C. (Ed.) Energy management handbook. Lilburn, Ga: Fairmont Press. 2005.
-

## Bibliografías

---

- ALARCO TOSONI, Germán. "Crecimiento económico y emisiones de CO2 por combustión de energéticos en México, economía mexicana", Nueva época, vol. XV, núm. 2, segundo semestre de 2006.
- Development of renewable energy sources in Germany 2011. Disponible en: <http://www.bmub.bund.de/>.
- TSUNG-YUNG Chiu, SHANG-LIEN Lo, YUNG-YIN Tsai. "Establishing an Integration-Energy-Practice Model for Improving Energy Performance Indicators in ISO 50001 Energy Management Systems". Energies, 2012, vol 5. p.5324-5339.

---

Fecha de recepción	Fecha de aceptación	Fecha de publicación
04/11/2015	12/01/2016	31/05/2016

---