

Evaluación energética de un edificio para el cálculo de un sistema fotovoltaico

Gilberto de Jesús López Canteñs

alelopez10@hotmail.com

Universidad Autónoma Chapingo, Mexico

Bonifacio Gaona Ponce

bgaonap@hotmail.com

Universidad Autónoma Chapingo, Mexico

Francisco Muñoz Gómez

franciscomg53@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma Chapingo, Mexico

Noel Chávez Aguilera

noelcha1@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma Chapingo, Mexico

Juan Carlos Olguín Rojas

juancarlosuam@hotmail.com

Universidad Autónoma Chapingo, Mexico

Resumen:

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos al realizar la evaluación energética de un edificio de la Universidad Autónoma Chapingo. Para llevarla a cabo, se utilizó un analizador de calidad en potencia eléctrica, marca Fluke, modelo 435. Con este equipo se determinaron los parámetros de voltaje, intensidad de corriente, potencia real, potencia aparente, potencia reactiva y factor de potencia, los cuales sirvieron de base para realizar los cálculos necesarios en el diseño de un sistema fotovoltaico suficiente para cubrir las necesidades energéticas del edificio. Los resultados de la evaluación indicaron con precisión la energía consumida a través del tiempo, por lo tanto, fue posible determinar, con base en ese comportamiento los periodos de mayor consumo de energía eléctrica. El sistema fotovoltaico propuesto es de tipo mixto, con interconexión a la red eléctrica y con un sistema de respaldo con capacidad para mantener en funcionamiento el sistema eléctrico de la instalación, hasta por cinco horas.

Palabras-clave: Energías renovables, potencia eléctrica, eficiencia energética.

Abstract:

In the present work, the results obtained when performing the energy evaluation of a building of the Autonomous University of Chapingo are shown. To carry it out, a quality electric power analyzer, brand Fluke, model 435 was used. With this equipment the parameters of voltage, current intensity, real power, apparent power, reactive power and power factor were determined, which they served as a basis to carry out the necessary calculations in the design of a sufficient photovoltaic system to cover the energy needs of the building. The results of the evaluation accurately indicated the energy consumed over time, therefore, it was possible to determine,

based on that behavior, the periods of greatest electric power consumption. The proposed photovoltaic system is of mixed type, with interconnection to the electrical network and with a backup system with capacity to keep the electrical system of the installation in operation, for up to five hours.

Keywords: Renewable energies, electric power, energy efficiency.

1 Introducción

Según informes de Greenpeace, la energía fotovoltaica podrá suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030 (GREENPEACE, 2008). Y según un estudio publicado en 2007 por el Consejo Mundial de Energía, para el año 2100 el 70 % de la energía consumida será de origen solar (World Energy Council, 2007).

Los paneles fotovoltaicos constituyen uno de los métodos más simples que actualmente se usan para transformar la energía del sol en energía eléctrica sin dañar al medio ambiente. Por tal motivo se considera una de las fuentes alternas de energía más importantes.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica son una alternativa prometedora en el futuro de las energías renovables.

La energía solar fotovoltaica está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesita generar la electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica o bien para generar energía a la red eléctrica (Alonso, 2008). Desde el punto de vista energético son eficientes, porque generan electricidad en el mismo lugar que se consume, atenuando significativamente las pérdidas por distribución (Liomnis, et al, 2016).

Actualmente, el Centro de Educación Continua (CEC) de la Universidad Autónoma Chapingo tiene un consumo energético de 63 kW/día, considerado como alto, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo diseñar un módulo formado por un sistema de captación de energía solar eléctrica tipo interconectado mixto. Con este módulo se pretende satisfacer el 100% de las necesidades de consumo de energía eléctrica de las instalaciones del CEC y al mismo tiempo disponer de los medios que apoyen la capacitación sobre el uso de sistemas fotovoltaicos que oferta el CEC.

2 Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Centro de Educación Continua, ubicada en la Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México- Texcoco km 38.5, Edo. de México. (Figura 1).

La metodología utilizada para el diagnóstico y posterior diseño del Sistema Fotovoltaico interconectado mixto, se basa en la investigación realizada por García y Mendoza (2016), es la siguiente:

1. Identificación de las actividades que se realizan en el CEC y cuáles son los componentes que generan un consumo energético.
2. Reconocimiento de las instalaciones eléctricas e identificación de las líneas principales y su tipo de carga.

Figura 1: Instalaciones del CEC.



3. Instalación del analizador de calidad de potencia eléctrica, marca FLUKE modelo 435, (Figura 2) y obtención de los parámetros eléctricos (voltaje, intensidad de corriente potencia real, potencia reactiva y factor de potencia). Además, se utilizaron multímetros. Los datos de los parámetros eléctricos se midieron durante una semana normal de actividades laborales.
4. Análisis del comportamiento del voltaje, intensidad de corriente, potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva y factor de potencia de cada una de las tres líneas medidas.
5. Calculo de la potencia real promedio y potencia reactiva promedio de cada una de las líneas, así como la potencia aparente real, mediante la siguiente ecuación (Barcells, 2016):

$$S_T = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

donde: S_T = Potencia aparente (VA), Q = Potencia reactiva (VAR), P = Potencia Activa (W).

Figura 2: Conexión del analizador de calidad de potencia eléctrica en las tres líneas.



Diseño del sistema fotovoltaico interconectado mixto para el CEC (Calculó del número de paneles y su inclinación, el número de baterías, el inversor y control de carga y el calibre de los conductores). El diseño propuesto se muestra en la Figura 3 y los elementos que lo forman se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

Número de Paneles (NP, adimensional)

$$NP = \frac{S_T}{(P_{panel})(horas\ aprov./día)} \quad (2)$$

$$Inclinación = Latitud \pm 10^\circ \quad (3)$$

Donde: P_{panel} = Potencia del panel (250 W/panel), horas aprov./día = Horas aprovechables por día (h/día)

Número de Baterías (NB, adimensional)

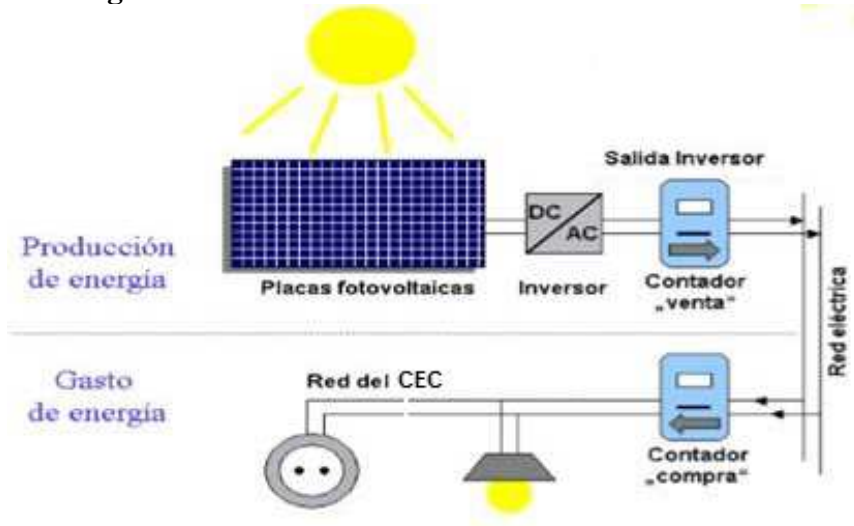
$$P_{diaria/panel} = P_{panel} * 5.5\ h/día \quad (4)$$

$$P_{bateria} = V_{bateria} * Ah_{bateria} \quad (5)$$

$$NB = \frac{(P_{diaria/panel} * NP)}{P_{bateria}} \quad (6)$$

Donde: $P_{diaria/panel}$ = Potencia diaria del panel (W/día), $P_{bateria}$ = Potencia de la batería (W), $V_{bateria}$ = Voltaje de la batería (12 V), $Ah_{bateria}$ = Capacidad de la batería (Ah).

Figura 3: Instalación fotovoltaica conectada a la red.



Inversor y control de carga (C, A)

$$C = \frac{\text{No. de paneles} * P_{\text{panel}}}{\text{Voltaje del control de carga}} \quad (7)$$

Calibre de los conductores

$$I = 1.10(NP * I_{cc}) \quad (8)$$

$$V_{1-2} = (\text{Dif de tensión de trabajo}) * (V_{TBaterias}) \quad (9)$$

$$S = 2 \left(\frac{L * I}{k * V_{1-2}} \right) \quad (10)$$

Donde: I = Intensidad máxima del sistema fotovoltaico (A), I_{cc} = Intensidad por corto circuito de un panel (8.75 A), V_{1-2} = Caída de voltaje (V) Dif. de tensión de trabajo = Diferencia de tensión de trabajo entre el panel fotovoltaico y el regulador (3 %), $V_{TBaterias}$ = Voltaje total de las baterías ($NB * V_{batería}$) (V), S = Sección del cable conductor (mm), L = Longitud del conductor (m), k = Material del conductor y su conductividad (cobre, 56 m/ohm.mm²).

3 Resultados y Discusión

3.1 Potencia instalada

El inventario de los componentes de consumo de energía del CEC se muestran en la Tabla 1.

La potencia total instalada en el CEC a partir de los dispositivos conectados diariamente a la red eléctrica es de 20330 W.

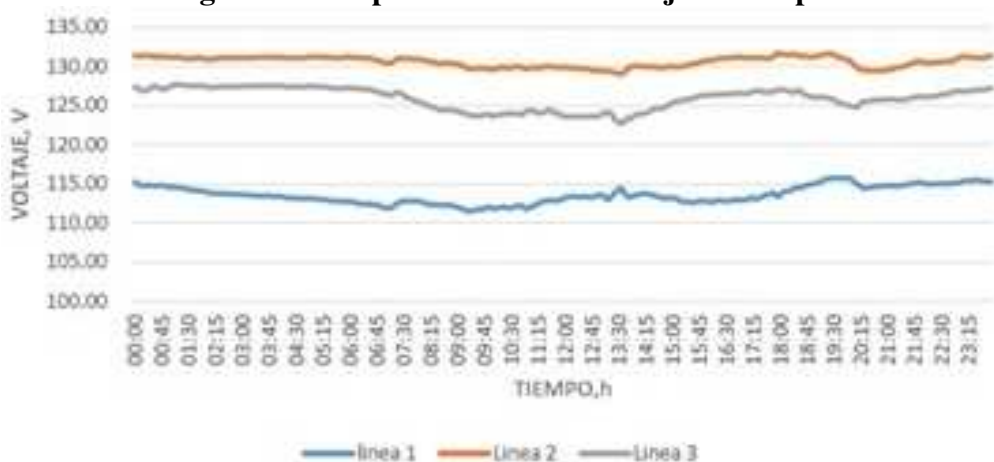
Tabla 1. Consumo energético del CEC por unidad instalada.

Áreas del CEC	Consumo energético (W) por unidad					
	Luminarias		Computadora 120 W	Impresora 150 W	Proyector 250 W	Cafetera 600 W
	250 W	70 W				
Estacionamiento	5	5				
Cercas	6	4				
Jardín		6				
Planta baja		38	30	7	4	2
Planta alta		34	12	5	5	2
Subtotal	2750	6090	5040	1800	2250	2400

3.2 Parámetros eléctricos de la instalación

A partir de las mediciones realizadas a las tres líneas que suministran corriente eléctrica al CEC, se obtuvo el comportamiento diario promedio del voltaje (Figura 4) y la intensidad (Figuras 5).

Figura 4: Comportamiento del voltaje vs tiempo.



El voltaje medido en las tres líneas muestra que no están equilibradas, puede deberse a la distancia que existe entre la subestación y la acometida del edificio del CEC o a la falta de mantenimiento en la subestación. En especial la línea 1 se observa con menor tensión que las demás.

La intensidad de corriente promedio medida durante 24 horas muestra un desequilibrio de cargas eléctricas en las tres líneas, la línea 1 y 3 están más descargadas que la línea 2. Además, ocurren fluctuaciones entre las líneas debido a la entrada y salida del personal, correspondiente a la jornada laboral de 9:00 a 15:00 horas, aproximadamente.

En la Figura 6 y 7 se muestra el comportamiento de la potencia real y la potencia reactiva, respectivamente.

Figura 5: Comportamiento de la intensidad de corriente vs tiempo.

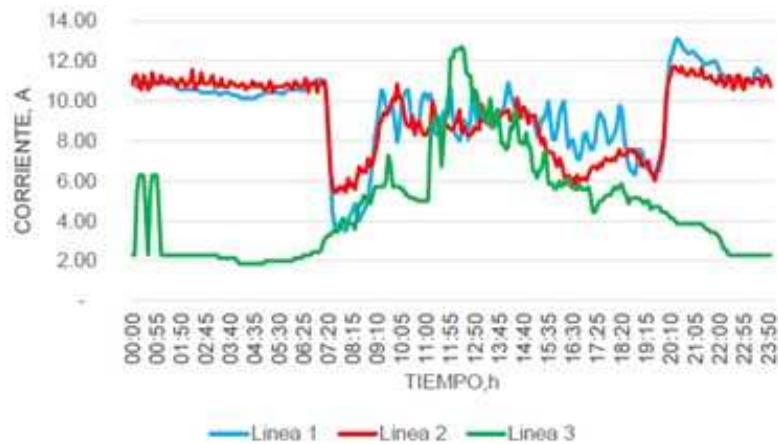


Figura 6: Comportamiento de la potencia real promedio vs tiempo.

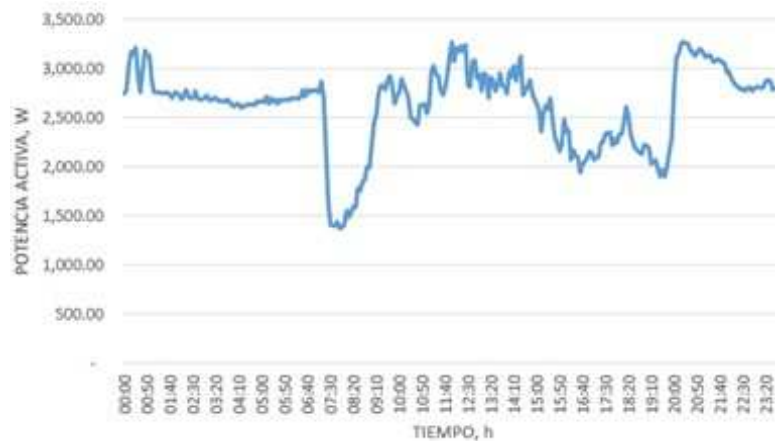


Figura 7: Comportamiento de la potencia reactiva vs tiempo.



En la Figura 6 se observa que durante la noche (de 20:00 a 7:00 horas) la potencia real es constante debido a que se mantienen encendidas las luminarias de la instalación, del jardín, del estacionamiento y de las cercas. En el transcurso del día el consumo es mayor, debido a que en ese periodo se desarrolla la jornada laboral.

En la Figura 7 se observa que en la línea 1 no hay gran variación en el consumo eléctrico, manteniéndose casi constante el comportamiento de la potencia reactiva. Mientras que en la línea 2 baja el consumo de 7:30 a 19:30 horas, debido a que están conectadas las luminarias que funcionan únicamente durante la noche. En cambio, de 19:30 a 7:30 horas aproximadamente, se observa que el comportamiento del consumo eléctrico aumenta, debido a que en ese periodo es cuando entran en funcionamiento las luminarias mencionadas.

En la línea 3 se puede observar que el consumo eléctrico, en el periodo de 11:15 a 17:15 horas, aumenta, esto se debe a que entran en funcionamiento los equipos eléctricos para el desarrollo de las actividades laborales.

Para el cálculo de la potencia activa y la reactiva de cada una de las líneas, se utilizó un total de 2019 datos, medidos cada 5 minutos, obteniéndose como resultado los valores que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Potencia real y potencia reactiva promedio.

Potencia (W)	Línea 1	Línea 2	Línea 3
Real	1016.71	1101.29	507.14
Total	2625.14		
Reactiva	50.17	219.43	110.31
Total	379.92		

A partir de las potencias promedio se calculó la potencia aparente, que fue de 63.65 kW/día.

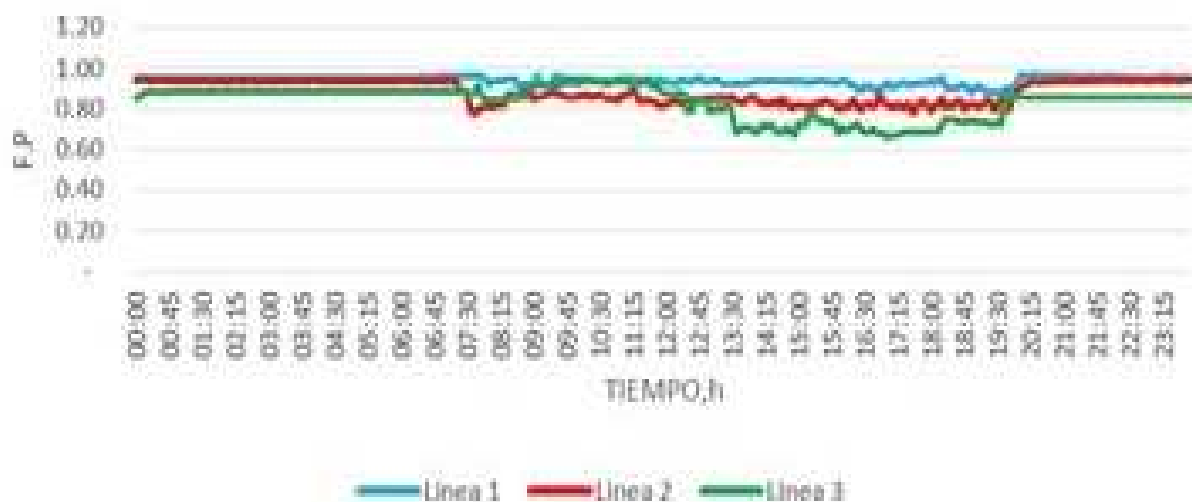
En la Figura 8 se muestra el comportamiento del factor de potencia en las tres líneas, el cual se encuentra muy cercanos a 1.

3.3 Sistema fotovoltaico interconectado

Con la información de la Estación meteorológica (período 2006-2016) ubicada en la Universidad Autónoma Chapingo con Latitud 19°30' N, Longitud 98°52' W y con una altitud de 2241 m, se obtuvo un promedio de 7.2 horas de sol aprovechables.

A partir de los parámetros de potencia aparente y las horas de sol aprovechables se determinó que se requieren 36 paneles solares. Y considerando la latitud del CEC que es de 19°30' N, deben instalarse los paneles solares con una inclinación entre 9.47 y 29.47°.

Figura 8: Comportamiento del factor de potencia vs tiempo.



El sistema fotovoltaico interconectado diseñado es mixto porque incluye baterías para suministrar electricidad a la instalación en caso de que ocurriese una falla eléctrica por la empresa suministradora (Comisión Federal de Electricidad, México) y la radiación solar presente no sea suficiente para generar electricidad.

A partir de la potencia diaria del panel y la de la batería que fueron 1800 W/día y 1380 W, respectivamente, se determinó que se requieren 47 baterías.

Para un sistema aislado-interconectado, se hace necesario evaluar la potencia total máxima que tendrá que conectarse al inversor, lo que significa que hay que utilizar un inversor cuya potencia nominal sea superior a la potencia demandada por el CEC; en general, los inversores deben de tener capacidad para mayor potencia que la nominal durante ciertos intervalos de tiempo, lo que se denomina capacidad de sobrecarga. (Méndez y Cuervo, 2011). Tomando en cuenta lo anterior, se necesitará un inversor con una potencia mayor a 63.65 kW.

Por lo tanto, se requiere un control de carga 440 A y 12 V, este controlador servirá para no sobrecargar las baterías y evitar una descarga total de las mismas.

Para la conexión de los diferentes dispositivos que forman el sistema fotovoltaico se requiere un conductor calibre AWG # 8.

4 Conclusiones

De acuerdo a la evaluación energética de las instalaciones del CEC el consumo energético es de 63.65 kW/día, obtenida a partir de los datos de potencia activa y reactiva.

Se identificó que durante el mediodía y parte de la noche hay mayor demanda energética, y para satisfacer esa necesidad de consumo energético es necesario un sistema fotovoltaico interconectado mixto que tenga los siguientes componentes: 36 paneles de 250 W, 10 baterías

de 12 V y 115 Ah para tener una reserva de 5 horas, un inversor trifásico que soporte una potencia mayor a 65 kW y un control de carga con capacidad de 440 A y 12 V.

5 References

- Alonso A. M. (2008). *Sistemas Fotovoltaicos*. CIEMAT. Madrid.
- Balcells, J. (2016). *Eficiencia en el uso de la energía*. Alfaomega. Barcelona.
- García, A. y Mendoza, J.C. (2016). *Evaluación energética del CEC para el cálculo de un sistema fotovoltaico*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola. Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 69 pp.
- GREENPEACE. (2010). *La energía solar puede dar electricidad limpia a más de 4.000 millones de personas para 2030*. Recuperado el 13 de septiembre de 2016, en: <http://www.greenpeace.org/espana/es/news/2010/November/la-energ-a-solar-puede-dar-ele/>.
- Liomnis, L. y Montero, R. (2016). *Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal*. *Ingeniería Energética*. XXXVII(1):45-50.
- Méndez, J. y Cuervo, R. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. 7a edición, Fundación Confemetal. Madrid.
- World Energy Council. (2007). *XXI Survey of Energy Resources*. World Energy Council. United Kingdom.

Authors Profiles:

Gilberto de Jesús López obtuvo el grado de doctor en la Universidad Autónoma Chapingo, México, en 2007. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es integrante del área académica en ciencias básicas y el tema de investigación principal está relacionado con el campo de la agricultura de precisión.

Bonifacio Gaona obtuvo el título de ingeniero mecánico agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, México, en 1997. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es integrante del área académica en ciencias básicas y el tema de investigación principal es las energías renovables.

Francisco Muñoz obtuvo el título de ingeniero mecánico electricista en la Universidad Nacional Autónoma de México, México, en 1987. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es integrante del área académica en ingeniería aplicada y el tema de investigación principal es el diseño de máquinas y el mantenimiento.

Noel Chávez obtuvo el grado de doctor en la Universidad Politécnica de Valencia, España, en 2016. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es integrante del área académica en ingeniería aplicada y el tema de investigación principal es el suelo y la maquinaria agrícola.

Juan Carlos Olguín obtuvo el grado de maestría Universidad Nacional Autónoma de México, México, en 2009. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es integrante del área académica en ciencias básicas y el tema de investigación principal es control inteligente.