

## **Instalación de un sistema fotovoltaico en las oficinas de la empresa VARMEX, TEHUACAN.**

Arroyo Luna Israel Benjamín <sup>1</sup>, Flores Rivera Norma Rosario <sup>2</sup>, Sánchez Armas Santa Esmeralda <sup>3</sup>

*# Departamento de energías renovables, Universidad Tecnológica de Tehuacán, Prolongación 1 sur No.1101 San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla, México, benjamin.arroyo@uttehuacan.edu.mx, norma.flores@uttehuacan.edu.mx, esmeralda.sanchez@uttehuacan.edu.mx*

**Resumen**— El presente trabajo fue realizado con el fin de diseñar y analizar la viabilidad de un sistema fotovoltaico interconectado a red, la cual permita satisfacer el consumo energético de la empresa materiales Varmex teniendo en un principio una tarifa 02. Como primera instancia se elaboró el cálculo de un sistema fotovoltaico sin realizar adecuaciones en las instalaciones, teniendo como prioridad el precio, calidad y eficiencia de los paneles e inversores. Posteriormente se realizó el cambio de luminarias obsoletas y con baja eficiencia por luminarias tipo LED económicas, delgadas y con un precio relativamente bajo, además de corregir daños en la instalación eléctrica los cuales provocaban el aumento del consumo de energía en algunos circuitos derivados. Por último, se realizó el cálculo del sistema fotovoltaico con las adecuaciones antes mencionadas, para poder hacer una comparativa entre ambos sistemas al igual que la disminución de costos inversión. Al realizar adecuaciones en las instalaciones eléctricas se obtuvo un ahorro del 13.1% únicamente refiriéndonos a las adecuaciones de primer nivel.

**Abstract**— The present work was carried out with the purpose of analyzing the viability of a photovoltaic system interconnected to the electrical net, which allows the consumption of energy in the company Varmex materials having an 02 electrical tariff. At first the calculation of a photovoltaic system is elaborated without making adjustments in the installations to make a comparison with the final installation, having the price, the quality and the efficiency of the panels and investors as priority. Subsequently, obsolete and low-efficiency luminaires are replaced with LED luminaires, in addition to fixing the electrical mistakes that caused the increase in energy

consumption in some related circuits. Finally, the calculation of the photovoltaic system is carried out with the previous adjustments, to make the comparison between both systems and observe the decrease in investment costs. It is observed that renewable energies in Tehuacán are economically viable since there is a very good incidence of radiation and therefore a higher rate of energy production. Focusing on the project, when making adjustments in the electrical installations, a saving of 13.1% is obtained only referring to the first level adjustments.

**Palabras clave** — Sistema Fotovoltaico, Consumo energético, Luminaria LED, Instalaciones eléctricas.

### **I. INTRODUCCIÓN**

El sol, la fuente de energía más grande que hasta ahora conoce la humanidad, cubre a nuestro planeta con suficiente energía para abastecer las demandas energéticas de todo el mundo por un año entero en tan sólo unas horas. La energía proveniente del sol, se denomina energía solar, aunque se conoce como radiación solar. La radiación solar, que recibe la tierra es del orden de 1,5 kilowatts (kW) por hora, esto se podría traducir en un suministro de energía capaz de soportar el consumo mundial. Ante estos datos, se podría decir que se dispone de una fuente de energía con un enorme potencial, además se trata de una energía renovable (Miguel Pareja, 2010).

Por ello es importante la obtención de energía a partir de las energías renovables ya que en la actualidad en México no existe un impuesto por obtención, al igual que la inversión de un

sistema fotovoltaico genera una rentabilidad a 5 años teniendo una vida útil mínima de 20 años.

El funcionamiento de una instalación fotovoltaica conectada a la red de distribución es sencillo, la energía es captada a través de los módulos fotovoltaicos y es convertida a los valores de la red eléctrica por medio del inversor, para ser conectada a la red eléctrica.

Teniendo en cuenta la geografía y clima de México, se tiene que nuestro país es uno de los 5 países donde es viable invertir en energía fotovoltaica ya que el promedio de radiación global diaria es mayor a 4.8 kWh/m2 dependiendo de estado de la república, en Tehuacán la radiación solar global diaria es de 5.91 kWh/m2 pudiendo generar más energía con un menor número de paneles solares.

El desarrollo del presente proyecto se realizó en la empresa de materiales para la construcción Varmex que presenta un pago excesivo de luz eléctrica (Tarifa 02 baja tensión), manteniéndose en el escalón excedente durante todos los bimestres dicho escalón es el de más alto costo, esto es provocado por el uso de tecnología obsoleta como es el caso de luminarias fluorescentes, computadoras de escritorio y televisiones de alto consumo, además de elementos como bomba de agua y refrigerador.

Por lo cual es necesario implementar nuevas tecnologías para poder reducir el consumo energético al igual que adecuar las instalaciones para evitar las fugas de falla a tierra.

La reducción del consumo eléctrico en la empresa materiales Varmex es de suma importancia ya que la tarifa 02 no presenta ningún apoyo gubernamental.

Como primera prioridad se tiene el cambio de tecnología basada en iluminación LED, y como segunda instancia se propone un sistema fotovoltaico interconectado a red para reducir el consumo de energía y por lo tanto reducir el costo en el pago de las facturas a CFE.

Para la realización de este proyecto se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Inspeccionar la instalación eléctrica.
- Seleccionar las luminarias óptimas para reemplazar las ya existentes.
- Realizar cambio de luminarias.
- Proponer un sistema fotovoltaico.
- Buscar proveedores para el sistema fotovoltaico.
- Análisis costo beneficio del sistema fotovoltaico.
- Gestionar los trámites ante Comisión Federal de Electricidad
- Instalar el sistema fotovoltaico.

A partir del cambio de luminarias en la empresa materiales Varmex se reduce a un consumo mínimo de 3.5 kWh diarios representando un ahorro bimestral de \$650.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se inició por realizar un cuadro comparativo de potencias el cual tiene como objetivo saber que aparatos consumen más energía eléctrica y realizar observaciones a cada una. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Cargas instaladas en la empresa materiales Varmex

| Descripción                             | Potencia (Watts) | Descripción | Potencia (Watts) |
|---|------------------|-------------|------------------|
| Computadora de escritorio               | 245              | 4           | 980              |
| Refrigerador 1/3 hp                     | 249              | 1           | 249              |
| Dispensador de agua                     | 100              | 1           | 100              |
| Bomba de agua 1 hp                      | 746              | 1           | 746              |
| Impresoras profesionales                | 2.5              | 2           | 5                |
| Lámparas de gabinete fluorescente 2x39  | 78               | 19          | 1482             |
| Lámparas de gabinete fluorescentes 1x75 | 75               | 14          | 1050             |
| Anuncio luminoso                        | 468              | 1           | 468              |
| <b>Total:</b>                           |                  |             | <b>5080</b>      |

Como podemos visualizar en la Figura de 1 las lámparas son las que representan un mayor consumo de potencia instantáneo por lo cual se realizara un cambio de las mismas.

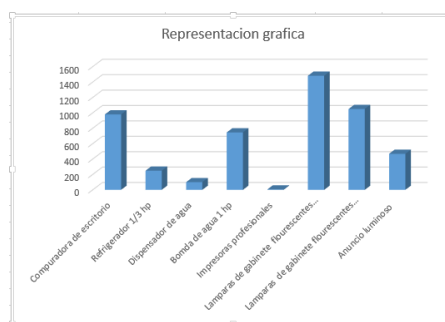


Figura 1. Representación grafica de consumo de cargas de la empresa Varmex.

Se realizó la primera propuesta para realizar un análisis de costos que tendría la instalación fotovoltaica sin sufrir adecuaciones en las instalaciones eléctricas, para posteriormente presentar una comparativa con una instalación con un sistema fotovoltaico con el replazamiento de luminarias.

Para este punto se realizará el cálculo de pérdidas por inclinación, radiación promedio mensual, cálculo de paneles e inversor.

Para realizar este cálculo se tomó en cuenta la latitud del lugar que es de 18.5 y el azimut que es de 5° ya que el edificio donde se montara el sistema no tiene un buen posicionamiento nort-sur.

$$Perdidas (\%) = 100[1.2 \times 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5} * \alpha^2]$$

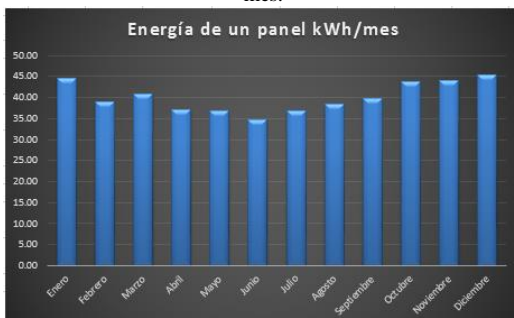
$$Perdidas (\%) = 100[1.2 \times 10^{-4} * (19 - 18.5)^2 + 3.5 \times 10^{-5} * 5^2]$$

$$Perdidas = 0.0905\%$$

Este cálculo nos dice que el panel teniendo un error de 1° de inclinación erróneo tendrá una pérdida por cada panel de 0.095%

Como se muestra en la Figura 2 Energía de un panel kWh/mes, la potencia generada mínima es de 35 kWh/mes mientras que la máxima es de 45 kWh/mes, estos datos nos ayudarán a calcular el número de paneles de acuerdo a un historial de consumo de 1 años.

Figura 2. Representación gráfica de energía producida por mes.



Para el cálculo del número de paneles solares se tomó en cuenta la energía producida por un panel en cada mes y la energía consumida en un año obtenida de los recibos de luz eléctrica proporcionados por Comisión Federal de Electricidad.

$$Np = \frac{Energía\ consumida\ en\ un\ año\ (kWh)}{Energía\ generada\ por\ un\ panel\ al\ año\ (kWh) * 0.95}$$

$$Np = \frac{6759}{481.26} * 0.95 = 13.34 \approx 14\ paneles$$

Para la selección del panel fotovoltaico e inversor se tomó como referencia las hojas técnicas proporcionadas por el fabricante. Con base a un análisis se seleccionó el Panel solar Canadian como se muestra en la tabla 2 y el Inversos Kaco como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2. Características panel solar Canadian solar 270 W

| Panel solar Canadian solar                       | 270W            |
|--|-----------------|
| Canadian solar                                   | Características |
| Potencia nominal máxima (P <sub>MAX</sub> )      | 270 W           |
| Voltaje de operación optimo (V <sub>MP</sub> )   | 30.8 V          |
| Corriente de operación optimo (I <sub>MP</sub> ) | 8.75 A          |
| Voltaje de circuito abierto (V <sub>OC</sub> )   | 37.9 V          |
| Corriente de corto circuito                      | 9.32            |
| Temperatura de operación                         | -40°C - +85°C   |

Tabla 3. Características Inversor Kaco 4 kW

| Inversor Kaco 4.0 LT 4 kW                          |                        |
|--|------------------------|
| Especificaciones                                   | Características        |
| Tensión de entrada máxima de CC                    | 600 V                  |
| Potencia pico máxima (MPP)                         | 185 V- 510 V           |
| Rango de servicio de CC (VCC)                      | 125 V- 550 V           |
| Tensión de inicio máxima de CC (VCC)               | 150                    |
| Corriente de servicio máxima de CC por canal (ADC) | 2 x 11 A<br>1 x 13.2 A |

Tensión máxima en el punto de máxima potencia.

$$V(a 0^{\circ}C) = V_{mp} + \frac{\beta * V_{mp}}{100} * (T_{min} - 25)$$

$$V(a 0^{\circ}C) = 30.8V + \frac{-0.4049 * 30.8 V}{100} * (0 - 25)$$

$$V(a 0^{\circ}C) = 33.91773 V$$

Tensión mínima en el punto de máxima potencia.

$$V(a 70^{\circ}C) = V_{mp} + \frac{\beta * V_{mp}}{100} * (T_{max} - 25)$$

$$V(a 70^{\circ}C) = 30.8V + \frac{-0.4049 * 30.8 V}{100} * (70 - 25)$$

$$V(a 70^{\circ}C) = 25.188086 V$$

Tensión máxima en circuito abierto

$$V(a 0^{\circ}C) = V_{oc} + \frac{\beta * V_{oc}}{100} * (T_{min} - 25)$$

$$V(a 0^{\circ}C) = 37.9 V + \frac{-0.4049 * 37.9 V}{100} * (0 - 25)$$

$$V(a 0^{\circ}C) = 41.7364275 V$$

Intensidad de corto circuito máxima

$$I_{scm} = I_{sc} * 1.25$$

$$I_{scm} = 9.32 A * 1.25$$

$$I_{scm} = 11.65 A$$

Calculando estos valores por el número de paneles se obtiene:

$$V_{oc} \text{ de } T_{min} = 41.74 V * 14 \text{ paneles} = 584.36 V$$

$$V_{pmp} \text{ de } T_{max} = 33.92V * 14 \text{ paneles} = 474,88 V$$

$$V_{pmp} \text{ de } T_{min} = 25.19 V * 14 \text{ paneles} = 352.66 V$$

Con estos datos podemos concluir que el inversor seleccionado es el óptimo por lo siguiente

$$V_{max} \text{ de entrada} > V_{oc} = 600 V > 584.36V$$

El  $V_{pmp}$  de  $T_{min}$  y  $T_{max}$  se encuentra dentro del rango de operación del inversor se encuentra entre los 185 V-550 V

La corriente de circuito máximo no rebaza la corriente de entrada del inversor.

I entrada del inversor  $> I_{SCMAX} = 13.6 A > 11.65$

Los materiales para la instalación fotovoltaica se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2 Materiales para la primera propuesta SFV

| Cantidad | Descripción                        | Precio unitario USD | Subtotal USD |
|----------|------------------------------------|---------------------|--------------|
| 14       | Panel solar Canadian solar         | \$ 159.73           | \$ 2,236.25  |
| 1        | Inversor solar Kaco 4.0            | \$ 1102.00          | \$1102.00    |
| 1        | Conector MC4 6.5 Paquete 10 piezas | \$17.24             | \$ 17.24     |
| 1        | Cable 12 AWG Negro (100 mts)       | \$ 96.18            | \$ 96.18     |
|          |                                    | TOTAL USD:          | \$ 3,451.67  |
|          |                                    | TOTAL MXN=          | \$ 72,485.07 |

Para realizar el retorno de la inversión se toman en cuenta dos factores el total a pagar sin/con una instalación fotovoltaica. Añadiendo un aumento de la tarifa eléctrica de 0.067%.

Teniendo en cuenta la gráfica anterior el ahorro con el sistema fotovoltaico sería de \$25,759.21 pagando por el sistema fotovoltaico \$ 72,485.07 para ello se elaboró esta tabla teniendo en cuenta una pérdida del SFV del 1% y un incremento en la tarifa eléctrica del 0.067% se obtiene el siguiente recuadro.

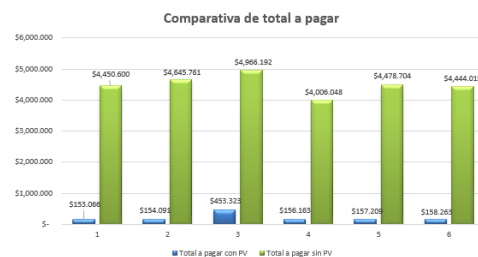


Figura 3. Representación gráfica de comparativa a pagar.

Para este sistema se conectará una rama de 12 paneles conectados en serie con un inversor fotovoltaico de 3.1 kW.

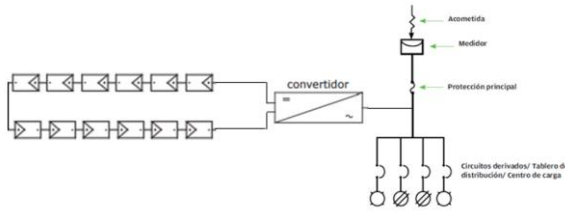


Figura 4. Diagrama de la conexión del sistema segunda presupuesta

Figura 7. Sistema instalado de 12 paneles Canadian solar de 270 W.



### III.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró reducir 3.5 kW en el consumo eléctrico de la empresa materiales Varmex cambiando luminarias obsoletas por luminarias tipo LED, representando un ahorro de 54%, que equivale a \$650 bimestrales.

Figura 5. Consumo eléctrico

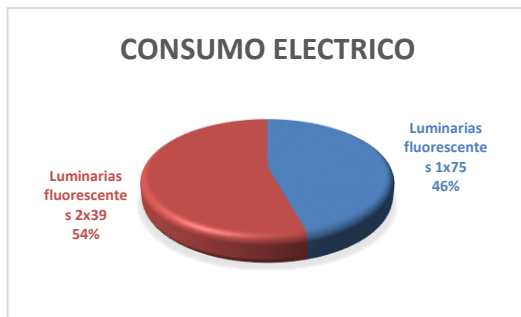
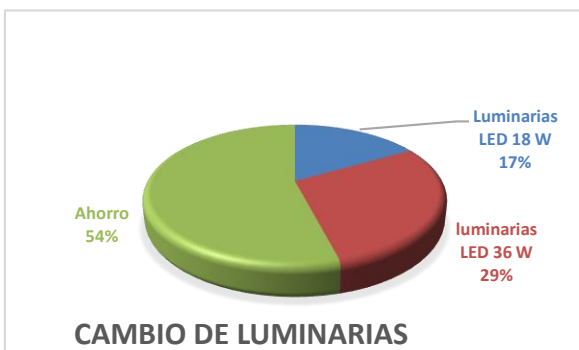


Figura 8. Instalación del Inversor marca KAKO de 3.0 Kw dentro del sistema.



El cambio de luminarias también ayudo directamente a comprar un sistema fotovoltaico de menor potencia al del inicio, ya que el ahorro que se generó en un bimestre era de 210 kW, como resultado se omitieron 2 paneles fotovoltaicos de 270 W con un costo de unitario de \$3354.33 y un inversor de 3.1 kW teniendo este n ahorro de \$2606.52. Obteniendo un ahorro total de \$9315.18

Figura 6. Cambio de luminarias



### REFERENCIAS

- [1] Alejandra Reguera. (2008). Metodología de la investigación lingüística: prácticas de escritura. Argentina: Brujas.
- [2] Mauricio Castillo Sánchez. (2004). Guía para la formulación de proyectos de investigación. Colombia: Magisterio.
- [3] Miguel Pareja Aparicio. (2010). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Barcelona, España: Marcombo ediciones técnicas.
- [4] Entrena González, Francisco José. (2013). Determinación del potencial solar. Málaga, ES: IC Editorial.
- [5] Bayod Rújula, Ángel Antonio. (2009). Energías renovables: sistemas fotovoltaicos. Zaragoza, ESPAÑA: Prensas de la Universidad de Zaragoza