

Generación de energía eléctrica solar: caso de estudio en Amealco de Bonfil, Qro.

José Alberto Cano Piña¹, Ezequiel Sánchez Reza¹, Mario Trejo Perea¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, 76010.

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Santiago de Querétaro 76010, México.

Correspondencia: esanchez80@alumnos.uaq.mx mtp@uaq.mx

RESUMEN

La amenaza del cambio climático debido al calentamiento global, provocado en gran parte por la quema de combustibles fósiles, ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables como el sol y el viento. Querétaro es un buen lugar para obtener energía solar, debido a su ubicación geográfica. Principalmente, se eligió como objeto de estudio una peletería-casa residencial en la que posteriormente determinamos la potencia que demanda, misma que nos permitió realizar los cálculos tanto del número de paneles solares como de temas de posicionamiento; una vez realizados los cálculos se procedió a la determinación del tipo de panel a utilizar y los elementos que consigo se requieren para realizar su instalación y por tanto su conexión en serie como la interconexión a la red eléctrica. Con el diseño e implementación del sistema fotovoltaico (PV) instalado, nos permitió tener una disminución en el cargo de energía eléctrica de \$20,000.00 pesos M. N. a \$8,998.00 pesos M. N., lo que representó un ahorro aproximado de hasta 50 % del cargo bimensual.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, red eléctrica, sistema fotovoltaico

ABSTRACT

The threat of climate change due to global warming (largely caused by the burning of fossil fuels) has prompted the search for renewable energy sources such as the sun and wind, Queretaro is a good place to obtain solar energy due to its geographical location. The main object of study was chosen as a residential house-fur in which we later determined the power demand, which allowed us, with this data, to calculate the number of solar panels and positioning issues; once the calculations were done, we proceeded to determine the type of panel to use and the elements that are required for installation and therefore its connection in series and the interconnection to the power grid. With the design and implementation of the photovoltaic (PV) system installed, we were able to reduce the electric energy charge from \$20,000.00 pesos M. N. to \$8,998.00 pesos M. N., which represented an approximate savings of up to 50 % of the bimonthly charge.

KEYWORDS: climate change, power grid, photovoltaic system

I. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía en el mundo; sin embargo, éstos recursos son finitos. La amenaza del cambio climático, debido al calentamiento global provocado en parte por la quema de combustibles fósiles, ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables como el sol y el viento. La energía solar es una fuente de energía sostenible, respetuosa con el medio ambiente y rentable, disponible en todo el mundo. Por esa razón, las tecnologías solares que utilizan PV han penetrado en el mercado de producción de energía eléctrica, con las ventajas adicionales de trabajar en silencio y con bajo costo de mantenimiento (Gil, et al., 2019). Es por ello que la energía solar fotovoltaica ofrece oportunidades para generar valor económico, reducir los impactos ambientales y, sobre todo, mejorar aspectos sociales como aumentar la calidad de vida y el acceso a la energía a precios asequibles. Por ejemplo, a nivel mundial, la capacidad de generación de energía ascendió a 6000 gigawatts (GW), de los cuales 1985 GW provinieron de fuentes renovables, de los cuales 222 GW son de los sistemas fotovoltaicos instalados. Así, la capacidad instalada de generación de energía renovable fue de sólo 13.5 % (Rosas, Zenón, Morillón, 2019).

Sucupira y Castro (2021) en su investigación realizada sobre los métodos de captura de energía solar expresan que la planificación correcta en el despliegue de paneles fotovoltaicos en ubicaciones exteriores con mayor incidencia solar alcanza un alto valor en la obtención de energía. Dicho lo anterior, aspectos como la latitud, el día del año, la pendiente o el ángulo de inclinación, el ángulo azimutal de la superficie, la hora del día y el ángulo de la radiación incidente son aspectos que afectan la radiación solar recibida en un módulo fotovoltaico. Sin embargo, los únicos factores controlables son el ángulo azimutal de la superficie y el ángulo de inclinación en un módulo fotovoltaico instalado correctamente (Božiková, et al. 2021; Dai y Bai 2021). En efecto, Alves y Ruttkay (2021) mencionan que factores como el comportamiento humano, el coste inicial de las medidas y las pérdidas físicas de las viviendas son factores que intervienen en cómo se comporta factores como el ahorro energético y el que se favorezca a la

eficiencia del sistema debido a que los consumidores valoran mucho el ahorro inmediato y no tienen en cuenta la importancia de ahorro futuro.

Por otra parte, la implementación de un sistema central de almacenamiento de energía (ESS) puede favorecer en aliviar variaciones de voltaje de la red en escenarios de alta penetración de sistemas fotovoltaicos (control de energía inyectada para mantener la variación de voltaje dentro de estándar), teniendo como ventaja energía disponible entregada a la red (Rodríguez et al. 2021).

El objetivo de la presente investigación es generar energía solar con el motivo de determinar en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, la cantidad de paneles solares que son necesarios para satisfacer las necesidades con las que cuenta el establecimiento, siendo éste, una peletería-casa residencial para así lograr disminuir el cargo por consumo de energía eléctrica, mismo que beneficiaría a la economía del propietario.

Se prevé para el establecimiento tener una reducción en el cargo por consumo de energía de la red eléctrica de hasta un 50 % de lo que se paga actualmente.

II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

México está ubicado en América del Norte dentro de la franja latitudinal desde 14 a 33°. Su territorio cubre aproximadamente 2.000.000 km^2 con una densidad de población de 57 habitantes por km^2 . El clima en el país es mayormente templado en el centro y tropical en las costas, donde la temperatura oscila entre 29 y 34 °C en verano y entre 5 y 8 °C en invierno. La irradiación solar media en todo el país es de 5.56 $\frac{kWh}{m^2}$ por día (Rosas et al., 2019); en el verano, la irradiación global en México es la más alta en el noreste y Península de Baja California, con valores promedio de 7 – 8 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En el resto del país, el promedio es de 5 a 6 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En invierno, la irradiación global presenta los valores más bajos en el norte del país y el Golfo de México, con valores que oscilan entre 2 y 2.5 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En la zona sur de México, estos valores incrementan un poco a medida

que la latitud disminuye, alcanzando valores altos de hasta $4.5 - 5 \frac{kWh}{m^2}$ por día (Figura 1).

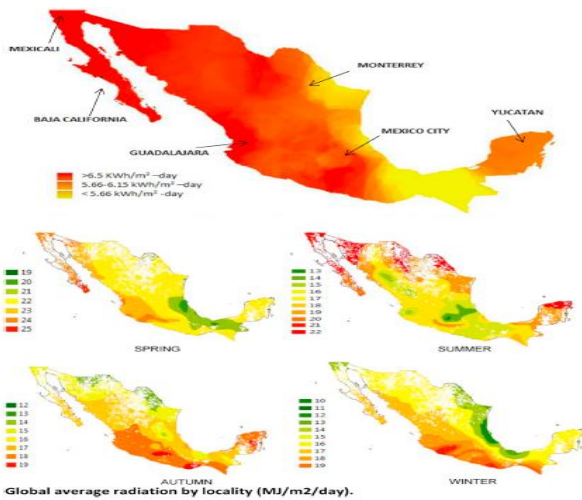


Figura 1. Radiación solar de México en distintas estaciones del año (Rosas et al., 2019).

Específicamente en la localidad de Amealco de Bonfil, Querétaro, se tiene que la peletería-casa residencial en cuestión se encuentra entre dos zonas con radiación solar óptimas para el correcto funcionamiento de los paneles, ya que se cuenta con una capacidad instalable de 105.13 Mega Watts (MW) y un potencial de generación de 261.94 Giga Watts hora anuales (GWh/a) en una zona 1 de 2.25 km^2 , (Figura 2), la segunda zona en un área de 16.29 km^2 existe una capacidad instalable de 762.37 MW y un potencial de generación de 1,895.98 GWh/a, (Figura 3) (Atlas Nacional de Zonas de con alto Potencial de Energías Limpias [AZEL])

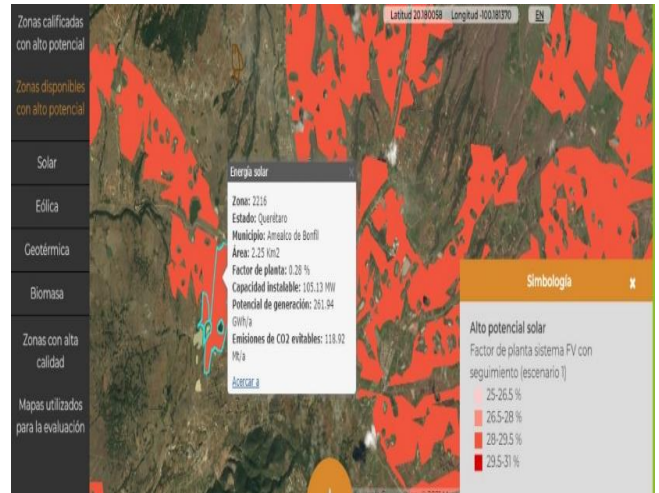


Figura 2. Capacidad instalable y generación de potencia. Fuente: elaboración propia.

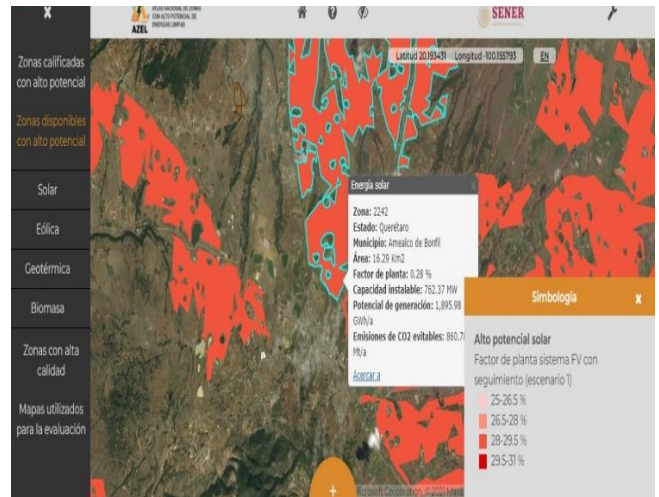


Figura 3. Capacidad instalable y generación de potencia. Fuente: elaboración propia.

Para la determinación del PV, se necesitan distintas consideraciones para ello se toma en cuenta el cálculo de consumo eléctrico (E). El consumo de energía para un uso final dado (i) puede describirse como un producto de tres parámetros: la intensidad energética del uso final (li), saturación de uso final (Si) y nivel agregado o unidad utilizada para expresar la intensidad energética (Z). La intensidad energética se define como el uso de energía per cápita o por hogar y, en consecuencia, Z sería la población total o número de hogares, respectivamente (Ecuación 1) (Rosas et al., 2019):

$$E = Z \sum_l \sum_k I_{ik} S_{ik} \quad (1)$$

La cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir el consumo eléctrico está en función del área geográfica, ya que depende de la radiación solar de la ubicación. La energía media mensual que deben suministrar los paneles (E_p), se puede calcular como (Ecuación 2) (Rosas et al., 2019):

$$E_p = \left(\sum_i E_i \right) + \text{perdidas} \quad (2)$$

Se consideran las horas pico de sol (HPS) como unidad, debido a que esta representa el valor numérico de la energía suministrada a 1 m^2 de superficie horizontal. La HPS se define como las horas de sol a una intensidad de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$. Esto se obtiene con (Ecuación 3) (Rosas et al., 2019):

$$HPS = \frac{\text{radiacion total diaria} \left(\frac{Wh}{m^2} \text{ dia} \right)}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (3)$$

Una consideración importante en el cálculo de los paneles va en función de la declinación solar (δ) la cual se calcula respecto del ángulo de oblicuidad de la elíptica (ϵ_{ob}), el cual tiene un valor constante, también va en función del día juliano (n_j) del año, donde 1 de enero es $n_j=1$ y 31 de diciembre $n_j=365$. Por ello la formula para conocer la declinación solar es (Ecuación 4) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\delta = \epsilon_{ob} \sin \left[\frac{360(284+n_j)}{365} \right] \quad (4)$$

En el cálculo de la inclinación adecuada intervienen factores como es el ángulo horario (ω), el cual está considerado bajo la siguiente tabla con relación a un horario basado en las horas donde el sol permitiría a los paneles solares captar radiación solar (Tabla 1).

Hora	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
------	------	------	------	------	-------	-------

ω	90°	75°	60°	45°	30°	15°
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
0°	-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°

Tabla 1. Relación entre la hora y el ángulo horario ω (Tejeda y Gómez, 2015).

De igual manera, se debe tener en consideración la altura solar (h) la cual está dada por, δ , la latitud (ϕ) y ω (Ecuación 5) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\sin h = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (5)$$

El acimut solar es importante al hacer la corrección de inclinación en una instalación de paneles solares, este está en función de δ , ω , h (Ecuación 6) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (6)$$

Para el cálculo del número de panel, generalmente, se utiliza el promedio de radiación en las diferentes estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) con la corrección de la colocación del panel en un plano inclinado óptimo por localidad con base en la información de la corrección se realiza con la ecuación relativa al ángulo de incidencia de la radiación del haz sobre una superficie, θ , con respecto a ϕ , δ , pendiente (β), es (Ecuación 7) (Rosas et al., 2019):

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (7)$$

El número de paneles a instalar será determinado por el valor del cociente de E_p y la energía que realmente es capaz de producir cada panel a lo largo del día o la temporada del año. El factor de corrección de 0.9 incluye las pérdidas adicionales, éstas debidas por posible suciedad en los paneles, reflexión en los momentos de incidencia oblicua y la potencia del panel P (Ecuación 8) (Rosas et al., 2019):

$$\text{Número de paneles} = \frac{E_p}{0.9 * P * HPS} \quad (8)$$

III. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto, se eligió como objeto de estudio una peletería-casa residencial en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, misma que nos permitirá conocer los alcances que puede tener la implementación de un PV. Es por ello que se busca tomar conciencia y demostrar a la población que actualmente tiene algún establecimiento similar o con mayor potencia de energía demandada, observar los beneficios que se pueden tener para así considerar si le es conveniente tomar alternativas que no dañen al medio ambiente y, por supuesto, favorecer la economía del propietario.

Es importante mencionar que, para la determinación de la cantidad de paneles solares, se debe tener en cuenta cual es la potencia instalada con la que cuenta el establecimiento al que se le adicionará el PV, para ello, se llevó a cabo la metodología mostrada en Figura (4):

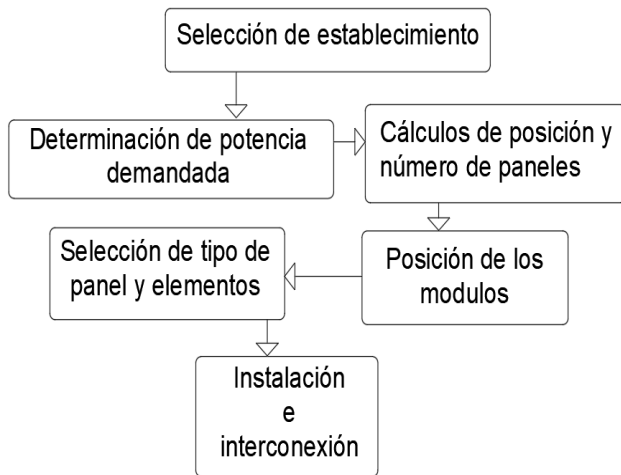


Figura 4. Metodología. Fuente: elaboración propia.

Para la determinación de la potencia que consume el establecimiento se utilizó como punto de referencia un recibo de energía eléctrica que nos fue proporcionado por el propietario (Figura 5), en él se puede observar claramente cuál es el consumo que se tiene, en tal caso de 2436 kilowatt hora (kWh), lo anterior es posible determinar realizando la suma de la demanda que tiene cada uno de los artículos instalados como son los refrigeradores, focos o cualquier otro artículo que necesite de energía eléctrica para su funcionamiento y la energía media

mensual que deben suministrar los paneles se determinó con la Ecuación (2), debido a que existen pérdidas en el momento de que se encuentran instalados, dicho de otra forma, en funcionamiento, es por ello que así se consideran en la ecuación.



Figura 5. Recibo de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia.

Posterior a la obtención de potencia, es necesario saber cuál es la radiación solar que se tiene en la localidad, para ello, se consideró como referencia la radiación promedio que menciona Rosas et al. (2019) con la que podemos determinar las HPS implementado la Ecuación (3). La razón para utilizar el concepto de HPS es que permite evaluar el rendimiento energético con mayor rapidez. Cabe mencionar que los experimentos de laboratorio y las pruebas de paneles fotovoltaicos se realizan generalmente bajo la condición de una intensidad solar máxima (1 kW / m²), y los resultados se expresan típicamente en función de esta condición. Por lo tanto, la potencia nominal de un panel se refiere típicamente a esta intensidad. Cabe aclarar que el resultado de HPS es puramente matemático y coincide con las definiciones de la HPS de acuerdo con los tiempos dados (Rosas et al. 2019). Posteriormente es necesario determinar la declinación solar implementando la Ecuación (4), la altura solar mediante la Ecuación (5), el acimut solar con la Ecuación (6), de igual forma el ángulo de incidencia de la radiación del haz sobre la superficie, Ecuación (7).

Posterior al trabajo de escritorio, la determinación de la posición de los paneles solares se refleja con los valores obtenidos de la implementación de las ecuaciones (4, 5, 6 y 7).

Una vez obtenidos los datos anteriores, la determinación del número de paneles que se utilizaron fueron determinados al implementar la Ecuación (8) la cual al realizar el cociente de E_p y la energía que es capaz de producir un panel a lo largo del día; en ella se considera un factor de corrección el cual hace referencia a la verdadera forma en que trabajan los paneles solares, hablando en términos de generación de energía a lo largo del día en presencia del sol en su posición tal que el panel trabaja con mayor eficiencia por lo tanto se calcularon un total de 35 paneles a necesitar con base en las demandas del usuario.

Para ello, el espacio donde se realizó el posicionamiento de los módulos fue en la azotea del establecimiento misma que nos favoreció dado que es propiedad privada y no tendría ningún caso que llegara a incidir sobre ellos la presencia de alguna sombra generada por algún obstáculo.

En tal caso, el panel que se tomó en consideración fue de la marca Eagle Plus 72 (Figura 6), 340-360 W con modulo mono cristalino, con una eficiencia del 18.57 % capaz de generar 340 W, con 10 años de eficiencia a su máximo rendimiento y 25 años más con rendimiento de 90 % a 80.2 %, el tipo de celda que emplea es Mono-crystalline PERC de dimensiones 156 x 156 mm, siendo un total de 72 celdas por panel, respecto al panel completo tenemos que sus dimensiones son 1956 x 992 x 40 mm, con un peso de 26.5 kg, en la parte superior del panel se tiene un vidrio anti reflejante de 4mm de espesor el cual ayuda a captar de mejor manera, también contiene una caja de conexión IP67 Rated ubicada en la parte trasera del panel.

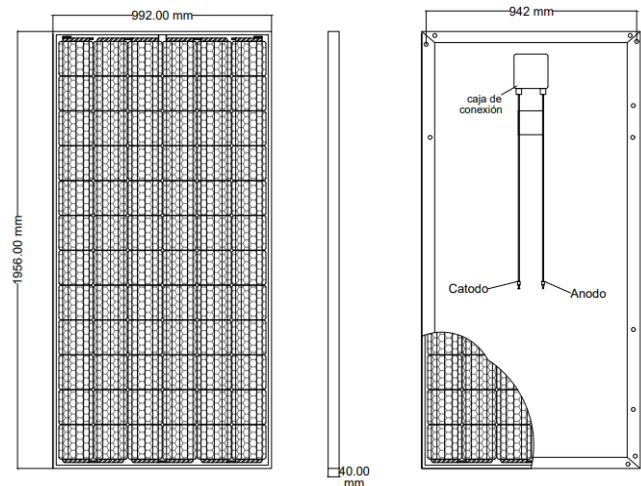


Figura 6. Dimensiones y Representación de panel fotovoltaico. (Eagle Plus, 2022)

El inversor de corriente considerado es de la marca Growatt MTPL-US, con una eficiencia máxima de 97.8 %; recibe un voltaje de corriente directa (CD) de hasta 600 V esto a cuanto entrada, de salida este inversor genera una potencia nominal de corriente alterna (CA) de 8000 W, con una corriente máxima de salida de 33.5 A, sus características físicas son que cuenta con dimensiones de 361 x 607 x 249 mm, un rango de temperatura de operación de $-25+60^{\circ}\text{C}$, una pantalla de LCD, número de MPPTs de 3, máxima corriente por MPPT de 9.5/19 A, máxima potencia FV por MPPT de 3250/6500 W. Para la bajada del cableado se seleccionaron tubos de 25.4 mm o 1"; y cajas ovales ROSC con entrada y salida a 45° con rosca, interruptor termomagnético.

Para la instalación de los paneles solares se utilizó una estructura de acero la cual fue unida por medio de implementación de soldadura misma que fue fijada en los apoyos utilizando tornillos. Los paneles solares que se utilizados se acomodaron en forma consecutiva para así no desaprovechar el espacio y que se albergaran de forma eficiente el total de paneles que se instalaron. Para su conexión, se realizó en un arreglo en serie; en la instalación, se utilizó tubo tipo *conduit* el cual dirige los conductores eléctricos que provienen de la azotea al tablero donde se realizó la conexión con el inversor. Para el caso de la interconexión que se realizó, en ésta se utilizó un interruptor termomagnético y posterior a ello se

encontraba el medidor de luz y la bajada proveniente de la red eléctrica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagrama de funcionamiento determinado, con base en las demandas del usuario y a su presupuesto, se comienza con la instalación de los paneles, después se procedió con la instalación de paneles en serie, debido a que así es más eficiente la captación de energía. Posteriormente, se sacan las líneas hacia el inversor, ya que como resultado del análisis se optó por no usar el banco de baterías, dicho inversor funciona como un puente entre la energía de los paneles y la energía suministrada por la red, para así poder proporcionar la corriente adecuada para todos los aparatos dentro de la peletería-casa residencial y la casa; el suministro de energía convencional proviene de la línea convencional, pasa en primer instancia por el medidor bidireccional para su registro, en dicho medidor se estará registrando la energía producida por los paneles para de igual forma tener un registro y así poder saber del consumo total que porcentaje provendrá de cada elemento (Figura 7).

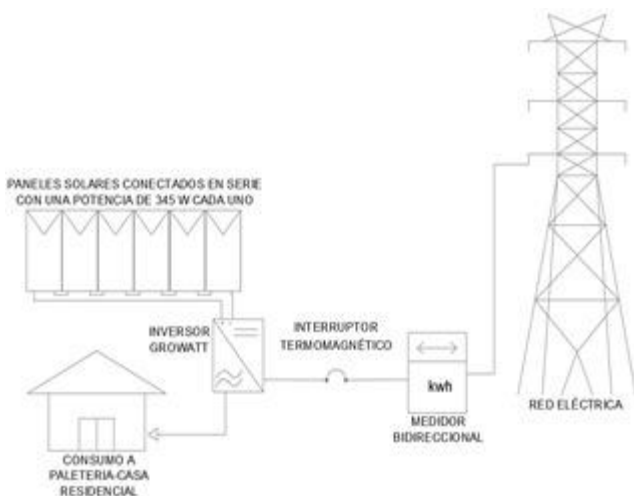


Figura 7. Diagrama de interconexión. Fuente: elaboración propia.

La ubicación del establecimiento es Calle Melchor Ocampo sin número, colonia la Loma, Amealco de Bonfil, Querétaro México. Con coordenadas 20° 11' 33.84" N y 100° 09' 19.05" W. La peletería lleva el

nombre de La Zacatecana perteneciente al señor Adrián Sánchez (Figura 8).



Figura 8. Fachada principal. Fuente: elaboración propia.

La instalación final de los paneles se hizo en tipo techumbre en la parte superior del establecimiento utilizando una estructura de acero como soporte basándonos en los cálculos de inclinación y del número de paneles requeridos, dándonos el siguiente resultado como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Instalación de paneles en la azotea. Fuente: elaboración propia.

La conexión de los paneles se realizó en serie conectando, desde la caja de conexión individual por panel, su ánodo y cátodo guiándolos hacia un costado en donde se juntaban todas las conexiones por cada línea de panel, convirtiéndolo en una sola línea para

poder hacer la bajada de energía hacia el inversor (Figuras 10a, 10b).



Figura 10. Instalación de los paneles: a) Caja de conexión y b) Conexión en serie. Fuente: elaboración propia.

Para la bajada del cableado, se instalaron tubos de 25.4 mm o 1" para hacer las vueltas del cableado se utilizaron cajas ovales ROCS con entrada y salida a 45° con rosca (Figuras 11a, 11b).



Figura 11. Conexiones: a) Bajada de cables y b) Caja oval ROCS. Fuente: elaboración propia.

Instalación del inversor con el cableado de los paneles proveniente de la parte superior, así como la línea por parte de la red eléctrica e interruptor termomagnético consolidando la interconexión de la energía solar y la convencional, dándonos como resultado el tablero listo para hacer la instalación eléctrica de la peletería-casa residencial (Figura 12).



Figura 12. Conexión de inversor e interruptor termomagnético. Fuente: elaboración propia.

Se colocó el medidor bidireccional el cual estará recibiendo el registro de energía proveniente de los paneles y de la corriente convencional (Figura 13).



Figura 13. Medidor bidireccional. Fuente: elaboración propia.

V. CONCLUSIÓN

El consumo generaba un costo de \$19,972.00 pesos M. N., tal como fue mostrado en el recibo antes de aplicar el descuento por el uso de los paneles solares, lo que nos indica cuánto era aproximadamente lo que se pagaba con anterioridad. No obstante, ese precio era variable dependiendo de muchos factores, como las condiciones climáticas, ya que esto altera principalmente las cámaras refrigerantes de la peletería. Actualmente, con la instalación fotovoltaica el costo disminuyó a \$8,998.00 pesos M. N. Por otro lado, el consumo de energía eléctrica disminuyó de un 60 a 62 %. Con la instalación de los paneles solares se tiene una aportación de \$10,974.00 pesos M.N. lo que da un descuento directo en el recibo de energía eléctrica pagado bimestralmente.

Tomando en cuenta que la instalación tuvo un total de inversión de \$450,000.00 pesos M.N. debido a los costos finales proporcionados por el proveedor. Si se considera que en promedio se estarán ahorrando aproximadamente \$10,974.00 pesos M.N., basados en el primer recibo que se tuvo por parte del usuario. Asimismo, si consideramos que la vida útil de los paneles instalados va de 12 años a su 100 % de eficiencia y otros 13 años de 90% a 80.2 % esto con base en la eficiencia del material de 18.57 % en

captación, podemos deducir que en los 12 años de eficiencia al máximo se pagaran aproximadamente 72 recibos con un ahorro considerado de \$10,974.00 pesos M.N. Lo anterior implica que se habrá tenido un ahorro de \$790,128.00 pesos M.N., lo que nos da ganancias frente al costo de inversión de los paneles, el cual se recuperará en los primeros 41 meses. Así, nos quedarían en los siguientes 12 años un ahorro libre del costo de inversión de \$340,128.00 pesos M.N. En cuanto a los otros 13 años a un promedio de eficiencia promedio de 85.1 %, se tendrá un ahorro estimado de \$9,253.77 pesos M.N. por recibo, bajo la idea de que en los 13 años se pagará un total de 78 recibos, el ahorro estimado en estos 13 años será de \$721794.06 pesos M.N. Así, habrá un ahorro final a lo largo de la vida útil de los paneles de aproximadamente \$1,061,922.06 pesos M.N. Por lo que podemos concluir que el proyecto fue un éxito y que la energía producida por los paneles puede ser costosa en cuanto a la instalación. Sin embargo, fue posible observar en el resultado de esta investigación que ésta no es más que una inversión a largo plazo debido a su alto beneficio. En conclusión, esta investigación nos permitió mostrar que la energía solar es, por mucho, una energía barata a largo plazo. Además, permite contribuir a evitar emisiones de CO₂ a la atmósfera, ahorrar en dinero y contribuir a la sociedad con el acceso a una energía más barata.

VI. REFERENCIAS

- Alves, R. M., y Ruttkay, F. O. (2021). Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil. *Energy and buildings*, 243. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111013.
- Atlas Nacional de Zonas de con alto Potencial de Energías Limpias (AZEL). Recuperado de: <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>
- Božiková, M., Bil'cik, M., Madola, V., Szabóová, T., Kubík, L., Lendelová, J., y Cviklovič, V. (2021). The effect of azimuth and tilt angle changes on the energy balance of photovoltaic system installed in the southern Slovakia region. *Appl. Sci.* 11(8998). DOI: 10.3390/app11198998
- Dai, Y., Bai, Y. (2021). Performance improvement for building integrated photovoltaics in practice: A review. *Energies*, 14(178). DOI: 10.3390/en14010178.
- Gil-Antonio, L., Saldivar, B., Portillo-Rodríguez, O., Ávila-Vilchis, J.C., Martínez-Rodríguez, P.R., Martínez-Méndez, R. (2019). Flatness-Based Control for the Maximum Power Point Tracking in a Photovoltaic System. *Energies*, 12(1843). DOI: 10.3390/en12101843

- Rosas, F. J., Zenón, O. E., y Morillón, G. D. (2019). Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic system using geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116(1094212). DOI: 10.1016/j.rser.2019.109412.
- Rodríguez, E., Vázquez, N., Arau, J., Osorio, R., Medina, F., y Hernández, C. (2021). Central energy storage system to reduce the harmful effects of PV systems under a high penetration scenario. *Electronics*, 10(2418). DOI: 10.3390/electronics10192418.
- Sucupira, L., Castro, G. J. (2021). Review of energy harvesting for buildings based on solar energy and thermal materials. *CivilEng*, 2, pp. 852-873. DOI: 10.3390/civileng2040046.
- Tejeda, M. A. y Gómez, A. G. (2015). Prontuario solar de México. Recuperado de: [http://www.ucoj.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-\(noviembre-de-2015\)_6.pdf](http://www.ucoj.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-(noviembre-de-2015)_6.pdf)