

Dimensionado de una estación para carga de dispositivos móviles a base de energía solar fotovoltaica

Carlos Felipe Ramírez Espinoza¹, Carlos Ponce Corral¹, Raúl Ñeco Caberta¹, Luz Angélica García Villalba¹, María Magdalena Hernández Ramos¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En este proyecto se presenta el dimensionado de un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) para un caso práctico, que consiste en una estación de carga para dispositivos móviles tomando como Referencia geográfica Ciudad Universitaria (UACJ) en Ciudad Juárez. Considerando el peor mes en Cuanto a captación de radiación solar en el área. En este documento también se realiza una introducción acerca de los diferentes tipos de energías renovables, que permiten combatir la dependencia a los hidrocarburos con el uso de recursos amigables con el medio ambiente. Como parte del dimensionado se realiza un análisis técnico de los componentes de un SFA, tales como: El generador, las baterías, el inversor y el regulador, realizando una selección de dispositivos en base a una gama de diferentes tipos en el mercado para la conformación de la estación de carga. La implementación de este sistema y otros similares puede brindar grandes beneficios a los usuarios que los utilicen, tales como la no contaminación del medio ambiente, que es infinitamente renovable y puede reducir la utilidad de costos a Largo plazo [1].

Palabras Clave: Energía solar, inversor, sistema de almacenamiento, regulador de carga.

Introducción

La energía renovable proviene de fuentes naturales inagotables, por lo que no se explotan recursos como los hidrocarburos, por ejemplo, que además de presentar un riesgo por contaminación alto para el planeta llegarán a agotarse eventualmente de manera inevitable. Una de las fuentes de dicha energía más viables

en la actualidad es la energía solar, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética del sol por medio de captadores, como helióstatos, colectores térmicos o celdas fotovoltaicas, pudiendo transformar dicha radiación en energía eléctrica o térmica. El uso de la energía solar, entre otras

¹ Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

energías renovables, puede reducir los efectos que el uso de hidrocarburos ha causado respecto al cambio climático, que se define como una alteración a los patrones locales o globales del clima en base a causas naturales o influencia antrópica. El daño ocasionado por las actividades realizadas por el hombre se da a través de la tala de árboles, emisión de gases causantes del efecto invernadero, daños al suelo y otros. Por la cantidad de luz solar que recibe y su posición geográfica, México se ubica como el cuarto país más atractivo del mundo para invertir en proyectos de energía solar fotovoltaica, después de Australia, Singapur y

China, respectivamente. La radiación solar promedio que recibe México es de 5.5 kWh/m², teniendo su punto más alto en la zona noroeste de México, recibiendo 5.78 kWh/m² en promedio en Ciudad Juárez. De acuerdo al Inventario Nacional de Energías Renovables (INER), México tiene los recursos para generar energía renovable y limpia, y tiene el potencial probado para generar más de 16,161 GWh de electricidad anualmente (ver Tabla 1.1). El gobierno federal tiene como meta lograr que el 35% de la energía del país sea procedente de tecnologías limpias para el 2024.

Metodología

El dimensionado de un sistema fotovoltaico tiene el propósito de calcular los elementos del sistema para así poder determinar de manera segura el consumo eléctrico y poder satisfacerlo. Un dimensionamiento apropiado presenta una relación entre los tamaños de los sistemas de generación y acumulación, esto para evitar desperdicios energéticos o daños estructurales al sistema [14]. Este proceso depende directamente de la radiación solar

- Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares.
- Dimensionado del sistema de acumulación.
- Dimensionado del generador fotovoltaico.
- Dimensionado del regulador de voltaje.
- Dimensionado del inversor.
- Dimensionado del cableado.

Estimación del consumo

En este paso se determina la energía que diariamente va a ser necesaria por parte de la estación. Dado que es posible que sean alimentados dispositivos en CA y CD, se debe hacer un estimado de ambos casos. El cálculo de la energía en CD requerida por día se estima con:

$$E_{CD} = \sum P_{(CD)i} \cdot t_{di}$$

disponible en el lugar donde se vaya a instalar la estación, con dos cuestiones clave: La energía solar disponible, con su variación a lo largo del día y año, y la inclinación de los paneles fotovoltaicos para poder captar la máxima radiación solar posible [15]. El método que se sigue para este proyecto es el “Método del Mes Peor”, el cual se basa en los cálculos para el mes en que el sistema tendrá su peor rendimiento, que consiste esencialmente en los siguientes siete pasos:

$$E_{CD} = \sum P_{(CD)i} \cdot t_{di}$$

Dónde: P (CD) i es la potencia nominal del equipo i en Watts; t_{di} es el tiempo diario de uso en horas.

- Estimación del consumo.

El cálculo de la energía en CA requerida por día se estima con:

$$E_{CA} = \sum P_{(CA)i} \cdot t_{di}$$

Dónde: P (AC) i es la potencia nominal del equipo i en Watts; t_{di} es el tiempo diario de uso en horas.

A partir de este punto es posible calcular el total del consumo diario en Wh, esto con:

$$E_T = \frac{E_{CD}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{CA}}{\eta_{BAT} \cdot \eta_{INV}}$$

Dónde: η_{BAT} es la eficiencia de la batería; η_{INV} es la eficiencia del inversor.

Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares

A pesar de que un panel tiene la capacidad de generar electricidad en ausencia de luz solar directa se busca que esta sea

captada de manera directa, lo que aunado a una orientación apropiada del panel nos permite tener un máximo aprovechamiento del recurso. Se recomienda orientar el panel hacia el sur si la ubicación del sistema es en el hemisferio norte y orientarlo hacia el norte si se ubica en el hemisferio sur. Es esencial para el cálculo del ángulo óptimo de inclinación, saber cuál es el mes en el que se presenta el peor escenario respecto a la cantidad de luz solar que puede captarse, considerando no solamente la baja insolación, sino una posible alta demanda energética, pues es para este peor escenario posible que el sistema es diseñado. En la Figura 1 se muestra la radiación solar promedio a lo largo del año en Ciudad Juárez, con coordenadas 25.3917, -103.6875, siendo diciembre el mes en que se capta la menor radiación solar (3.84 kWh/m²/día).

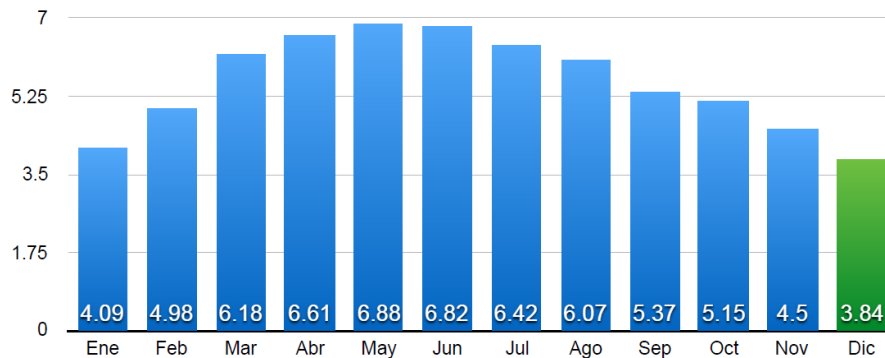


Figura 1. Radiación solar promedio a lo largo del año en Ciudad Juárez. Fuente NASA Surface Meteorology and Solar Energy: RETScreen Data

Dimensionado del sistema de acumulación

Para dimensionar el sistema de acumulación se deben considerar antes los siguientes parámetros:

Máxima profundidad de descarga: Es el nivel máximo de descarga permitido para la batería antes de la desconexión del regulador; los días de autonomía (D), son el número de días que el sistema debe ser capaz de operar cuando no haya luz solar y el factor global de

rendimiento de la instalación (R), que se calcula con:

$$R = 1 - \left[(1 - k_b - k_c - k_v) k_a \frac{N}{P_D} \right] - k_b - k_c - k_v$$

Dónde: K_b es el coeficiente de pérdidas por rendimiento, 0.1 para casos desfavorables; K_a es el coeficiente de auto descarga, (0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido); K_c es el cociente de pérdidas en el convertidor (al usarse solamente para algunos aparatos se

supondrá valor cero, incluyendo en este caso las pérdidas del convertidor en el cálculo precio del consumo de los aparatos que afecte); Kv es el coeficiente de otras pérdidas (0,15 considerando rendimiento global, efecto Joule, etc.); PDmáx; es la profundidad de descarga máxima, es el porcentaje de carga extraído de un acumulador plenamente cargado en una descarga, que en baterías a base de ácido-plomo, así como en las de Níquel Cadmio, suele tener un valor de entre el 60% y 80%, depende de la PDmáx el número de ciclos de carga y descarga que la batería tendrá a lo largo de su vida útil. En el caso específico de baterías de plomo-ácido se considerará de 0.6; N son los días de autonomía. Al conocer la estimación de consumo (ET) y los días de autonomía que se pretende que tenga el sistema, se puede obtener la energía real recibida por los paneles solares, dada por:

$$E = \frac{E_T}{R}$$

Para medir la capacidad que las baterías deben tener para poder asegurar los días de autonomía del sistema, se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar tanto en Wh, como en Ah:

$$C_u(Wh) = E \cdot N$$

$$C_u(Ah) = \frac{C_u(Wh)}{V_{Batería}}$$

$$C = \frac{C_u(Ah)}{P_{Dmáx}}$$

Donde: C es la capacidad nominal de la batería en Ah; Cu es la capacidad útil (Wh o Ah). Vbatería es la tensión nominal de la batería. Finalmente tras determinar la capacidad útil de la batería, se define el número de baterías que serán conectadas en paralelo, para así tener un banco de baterías, de manera que sea posible respaldar el sistema con los días de autonomía requeridos. La cantidad de baterías que se requieren es determinada por:

$$N_{batS} = \frac{V_{DC}}{V_{nBatería}}$$

$$N_{batP} = \frac{C}{C_{bat}}$$

Donde: NbatS es el número de baterías en serie; NbatP es el número de baterías en paralelo; Cbat es la capacidad de las baterías dada por el fabricante; Vn es el voltaje nominal de la batería en corriente continua.

Dimensionado del generador fotovoltaico

Debido a las posibles pérdidas de energía que puedan presentarse en el sistema es necesario considerar una generación un poco mayor al consumo que se estima. Se considera que se pierde hasta un 10% de la energía producida al disiparse en el regulador, misma energía que no será convertida en energía útil, y esto es determinado por:

$$E_p = \frac{E}{0.9}$$

Donde Ep es la energía producida por el sistema.

El número de paneles solares que van a ser utilizados por el sistema es calculado por:

$$N_p = \frac{E_p}{0.9 \cdot P_{máx} \cdot HSP}$$

Donde Pmáx es la potencia máxima del módulo; HSP son las horas solar pico, para Ciudad Juárez, 5.78 W/m2.

Dimensionado del regulador de voltaje

Con el dimensionado del regulador se pretende obtener la corriente máxima que circulará por la estación de manera segura. La intensidad de corriente que el generador produce es la suma de las intensidades que produzcan cada uno de los módulos al operar plenamente [17]. El número de reguladores se obtiene con la siguiente expresión:

$$N_r = \frac{N_{pp} \cdot i_p}{i_r}$$

Donde, Nr es el número de reguladores en el sistema; Npp es el número de paneles conectados en paralelo; ip es la intensidad pico

del panel; i_r es la intensidad máxima que el regulador puede disipar (esta debe ser de mínimo 15 A).

Dimensionado del inversor

La selección de un inversor CD-CA es caracterizada por:

1. Potencia nominal del sistema (kW).
2. Tensión nominal de entrada y de salida (V).
3. Frecuencia de operación (Hz).
4. Rendimiento del inversor (%).

Es importante considerar que la tensión de entrada en el inversor no será siempre constante, por lo que, para contrarrestar las variaciones del voltaje en el inversor, se cuenta con un rango del 15% de tolerancia. El inversor se definirá tomando en cuenta la potencia que el

sistema demanda como CA, y puede definirse como:

$$P_{inv} = P_{AC}$$

Donde P_{inv} es la potencia del inversor; P_{AC} es la potencia que demanda la carga en CA.

Dimensionado del cableado

En el dimensionado del cableado es importante considerar la longitud de los cables, esto por las pérdidas que pueden sufrir por el Efecto Joule, buscando siempre las longitudes más cortas posibles, para así mejorar la caída de la tensión y que la resistencia del cableado sea mínima. La relación entre la sección y la longitud del cable, es determinada por:

$$S = \frac{pL}{V_{AB}}$$

Donde L es Longitud del conductor (m). S es la sección del conductor (mm^2). V_{AB} es la tensión del sistema (V). P es la resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

Resultados

Este punto abarca la aplicación de los datos para la estación en las ecuaciones que se utilizan en el método de dimensionado de manera específica. Parte de la información aplicada en este punto provienen de las fichas técnicas de los componentes que se propone utilizar, y puede ser consultada en el Anexo al final de este documento.

Estimación del consumo energético

En el caso específico de este proyecto se considera el consumo de las tablas 1 y 2, equivalente a 3,600 Wh diarios. Esta operación fue realizada con base en la sumatoria de potencias, considerando la cantidad de dispositivos de cada tipo y sus horas de funcionamiento, acorde a lo visto en la sección 3.1.1 de este documento. Según las ecuaciones 1, 2 y 3 el consumo total diario considerando el factor de seguridad será:

Dispositivo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (W)	Horas de funcionamiento diario	Consumo final (Wh)
Tomacorriente	180	2	360	6	2160
Foco ahorrador	60	2	120	4	480
	Potencia total (W)		480	TOTAL (E_{ca})	2640

Tabla 1. Consumo en estación de servicio (Wh) en CA

Dispositivo	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (W)	Horas de funcionamiento diario	Consumo final (Wh)
Smartphone	12	4	48	10	480
Tablet	12	4	48	10	480
	Potencia total (W)		96	TOTAL (E_{cc})	960

$$E_T = 4,674.7 \text{ Wh}$$

Tabla 2. Consumo en estación de servicio (Wh) en CC

Definición del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares

El ángulo de inclinación que el panel debe presentar se mide entre el plano horizontal y el panel. De acuerdo a las sugerencias de la mayoría de los fabricantes de paneles solares en el mercado es recomendable guiarse por la tabla 3.4 para definir la inclinación del panel acorde a la altitud de la ubicación en que se realizará la instalación. Al ser las coordenadas de Ciudad Juárez 25.3917, -103.6875, de acuerdo a la tabla se determina que el óptimo ángulo de inclinación de un panel solar en la región es de **30° orientado hacia el sur.**

Latitud del lugar de instalación	Ángulo de inclinación sugerido
0° a 15°	15°
15° a 25°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud + 5°
30° a 35°	Latitud + 10°
35° a 40°	Latitud + 15°
40° o más	Latitud + 20°

Tabla 3. Ángulos de inclinación para las diferentes latitudes

Tomando en cuenta la rotación de la tierra alrededor del sol, se consideran los cambios que se presentan a lo largo de las cuatro

estaciones del año, sin embargo, los paneles tienden a instalarse en un ángulo fijo, que es determinado para ser un punto medio entre los ángulos óptimos para el verano y el invierno, que es lo que sucede en este caso.

Estimación del sistema de acumulación

$$C_u \text{ (Wh)} = 6,235.3 \text{ Wh}$$

$$C_u \text{ (Ah)} = 519.6 \text{ Ah}$$

$$C = 866 \text{ Ah}$$

El factor global de rendimiento resulta ser de acuerdo a la ecuación 4, resulta ser:

$$R = 0.7$$

Conociendo N y ET es posible conocer la energía real recibida por los paneles, la cual es:

$$E = 6,235.7 \text{ Wh}$$

La capacidad de las baterías acorde a las ecuaciones 6, 7 y 8, es:

Conociendo la capacidad útil, la cantidad de baterías conectadas en serie y paralelo, y se determinan por:

$$N_{BatS} = 1$$

$$N_{BatP} = 1.9 \approx 2$$

Dado el resultado se consideran 2 baterías en la instalación, a capacidad de la batería dada por el proveedor es de 194 Ah, y puede ser consultada en el Anexo A2, al final del documento. Modelo J185E-AC.

Estimación para el sistema de generación

Con el fin de garantizar la cobertura energética de la estación se considera que aproximadamente el 10% de la energía producida por los paneles es disipada en el regulador, sin llegar a convertirse en energía útil, por lo que acorde a la ecuación 10, la energía producida por los paneles solares debe ser **6,679.7 Wh**.

El número de paneles solares conectados en paralelo para la estación es determinado por:

$$N_{serie} = 1$$

$$N_{paralelo} = 8$$

Para un total de 8 módulos. La selección del Módulo Fotovoltaico puede verse en el Anexo A.2. Modelo TM-M572185/205

Estimación del regulador de voltaje

El número de reguladores para el sistema es:

$$N_r = 1.45 \approx 2$$

Estimación del inversor

La potencia del inversor requerida es de 360 W, sin embargo, el inversor comercial que se utiliza tiene una potencia de 230 W, por lo que se propone hacer uso de dos de ellos. El modelo que se toma como referencia se muestra en el Anexo A.4, y es el Sunny Boy 240 de SMA.

Estimación del cableado

La sección de los conductores en mm² que se propone para este proyecto, considerando que el conductor tenga las características señaladas en la ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot 0.018 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot 4A}{0.05 \%}$$

$$S = 14.4 \text{ mm}^2$$

Conclusiones

El uso de sistemas ambientalmente amigables para la generación de energía eléctrica, como lo son los sistemas fotovoltaicos, ha demostrado ser viable, por lo que ha recibido un impulso considerable por parte de diversos gobiernos. Esto se debe principalmente a la concientización que se ha hecho respecto al daño a los ecosistemas y la urgencia de combatir el cambio climático, involucrando de manera directa la disminución de gases contaminantes y dañinos para la atmósfera. A nivel mundial existe la tendencia a optar por la energía solar fotovoltaica para la producción de electricidad, principalmente en países desarrollados, sin embargo, el potencial de producción que tiene México, no solamente respecto a la radiación

solar que recibe el territorio, sino a su oferta de recursos naturales en general, le da la oportunidad de aprovechar los recursos naturales. En México el sector energético renovable es joven y ha crecido durante los últimos años, principalmente en energía eólica y solar, por lo que en la actualidad se sitúa como uno de los destinos de inversión principales para el desarrollo de estas tecnologías [1]. El principal beneficio directo de los SFA, además del aspecto ambiental, es el ahorro a largo plazo tras la instalación del sistema, pues, aunque la inversión inicial es fuerte, su retorno se da de entre 4 y 6 años consecutivos a la instalación, y tienen un periodo de vida de entre 20 y 25 años, dependiendo del mantenimiento oportuno.

Dentro de la Evolución de los componentes y su costo, el más caro es el panel (su reducción en costo y aumento en eficiencia). Las baterías más eficientes y baratas. La eficiencia de inversores y reguladores mejoran por electrónica de potencia. El método usado es sencillo y eficiente. Se pretende que una segunda fase del proyecto que abarque la climatológicas, para que así tenga la versatilidad de ser instalado en climas diversos, considerando también la

cambiante y extrema condición climatológica de Ciudad Juárez, y el norte de México en general, lo que podría darle una ventaja técnica en comparación de otros diseños que construcción física de la estación, con un diseño que le permita resistir las inclemencias actualmente se encuentran en el mercado, y son contruidos para climas específicos o poco cambiantes.

Referencias

- [1] Lozano, W. (2014). Solar Industry, Renewable Energy Industry: Business Intelligence Unit 2015 (10-22). México, D.F.
- [2] Venkatesan P., Ezhikya V. (2014). Battery Charger for Wind and Solar Energy Conversion System Using Buck Converter. Tamilnadu, India.
- [3] Sehgal L., Arun Prasath, A. Realía (2015). Proposal of Integral Mounted Solar Charging and External Solar Charging Station for an Electric Rickshaw in Delhi. Delhi, India.
- [4] Myers, A. (2015). Renewable Energy. Salem Press Encyclopedia of Science. [5] IRENA (2015). Renewable Energy Prospects: México, Remap 2030 Analysis. Abu Dhabi, Emiratos Arabes Unidos.
- [6] Kemeny P., Munro P. G., Schiavone N., Van der Horst G. (2014). Community Charging Station in Rural Sub-Saharan Africa: Commercial Success, Positive Externalities, and Growing Supply Chains. Nueva Jersey, EE. UU.
- [7] Pode R. (2014). Battery Charging Stations for Home Lighting in Mekong Region Countries. Seúl, República de Corea.
- [8] World Bank Group (2015). Access to Electricity (% of population). Recuperado de <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.XS/countries>.
- [9] Jumphoo T., Uthansakul P., Lui S. (2014). Implementation of Wireless Charger for Mobile Phone Based on Solar Energy.
- [10] Ponce C. (2010). Óptima de la Generación Distribuida en Redes de Distribución de Energía Eléctrica. Zaragoza, España.
- [11] Rodríguez I. (14 de diciembre del 2015). Aspira México a ser líder en energía solar en AL para 2016-17. La Jornada. Recuperado de <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/12/14/aspira-México-aser-lider-en-energia-solar-en-al-para-2016-17-9664.html>.
- [12] U.S. Energy Information Administration (2015). International Energy Data and Analysis: Mexico. Estados Unidos de América.
- [13] Hernández L. Análisis de los escenarios de los sistemas fotovoltaicos autónomos y los conectados a redes eléctricas. La Habana, Cuba.
- [14] Abella M. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Madrid, España. [15] González D., Rojas A. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Ciudad del Este, Paraguay.
- [16] González-Puelles, J. (2012). OBSERVATORIO DE GRID PARITY: Análisis de la llegada de la paridad de red a los principales mercados fotovoltaicos mundiales. Madrid, España.
- [17] Aguilera J, Hontoria L. Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Jaén, España.
- [18] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). Plan de Energías Renovables 2011-2020. Madrid, España.