



Generación de Electricidad Solar Fotovoltaica Acoplada a la Interconexión Eléctrica entre Posadas y Encarnación

Oscar. D. Trochez, Jorge. A. Olsson

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Itapúa (UNI), Encarnación, Itapúa, Paraguay
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: eng.oscartrochez@gmail.com, jorgealbertoolsson@gmail.com

Resumen

Este trabajo tiene el objetivo de determinar la pre-factibilidad de la implementación de una central solar fotovoltaica ubicada en Encarnación-Paraguay, para alimentar a la red del Sistema Interconectado Nacional de la Argentina, por medio de la interconexión Posadas-Encarnación. La metodología empleada para estimar el potencial de producción de energía eléctrica fue el análisis de datos de radiación solar disponibles en la zona. Además se analizaron aspectos legales, socio-ambientales, sus debilidades y fortalezas. Se concluyó a partir de la recopilación de datos que la irradiancia en la zona es suficiente para definir la viabilidad de la pre-factibilidad técnica del proyecto energético.

Palabras Clave – *Energía Solar Fotovoltaica, Interconexión, Red Eléctrica, Radiación Solar, Potencial de Energía*

I. Introducción

El artículo trata sobre una central solar fotovoltaica (SFV) de 10 MW de potencia instalada a ser emplazada en la ciudad de Cambyreta – Departamento de Itapúa, República del Paraguay. El proyecto prevé que la central sea conectada a la Subestación Eléctrica construida en el mismo lugar, con el objetivo de exportar energía eléctrica a la ciudad fronteriza de Posadas, Provincia de Misiones, Argentina. Con esto se pretende sustituir el abastecimiento que actualmente realiza la empresa estatal Administración Nacional de Electricidad (ANDE) con energía proveniente de las centrales hidroeléctricas de Itaipú y Yacyreta, por la generada en la central SFV proyectada. Económicamente la energía tiene un precio mayor para la venta al exterior que para el consumo interno, por tanto, aunque el costo de la energía solar es mayor que la hidráulica, resulta razonable abastecer con energía más barata al país y exportar a mayor precio.

II. Energías Renovables en Paraguay

La matriz energética del Paraguay tiene características particulares. La producción de energía tiene la siguiente composición: hidroenergía 52%, biomasa 29% , hidrocarburos 19%. Sin embargo la estructura de consumo es : biomasa 43 %, hidrocarburos 39 % , electricidad 18 % [1]

La energía eléctrica es la mayor producción energética del país , sin embargo es la que menos se consume. Existe alto consumo de biomasa, dentro de este tipo a su vez el mayor consumo es la leña

con un 55,7 % del total de la biomasa. El consumo de energía eléctrica tiene la siguiente composición: 42,9 % del total de la electricidad es para alimentar el sector residencial , el 20 % para el sector industrial y el 17,9 % para el sector comercial, en este contexto la Encuesta Permanente de Hogares de 2015 dice que el 99,33 % de la población tiene acceso a la electricidad.

La disponibilidad total de los recursos hidroenergéticos de las centrales del país alcanzan en promedio 56.000 GWh/año (45.000 GWh/año de Itaipú , 10.000 GWh/año de Yacyreta y 1000 GWh/año de Acaray [2].

Sobre la perspectiva a futuro, se pueden mencionar los estudios hechos por la empresa ANDE y otro estudio realizado por la Fundación Bariloche presentado en noviembre de 2016, “Prospectiva Energética del Paraguay 2013-2040” utilizando el modelo LEAP, ambos estudios coinciden en las líneas generales en la conclusión que aproximadamente en el año 2030 el país comenzará a tener un déficit en la generación de energía eléctrica

Considerando una combinación del escenario socioeconómico alternativo (alto crecimiento PIB) con el escenario de referencia sin grandes cambios, la modelación en LEAP , nos da el grafico siguiente de potencia demandada versus necesidad de ingreso de nuevas centrales eléctricas.

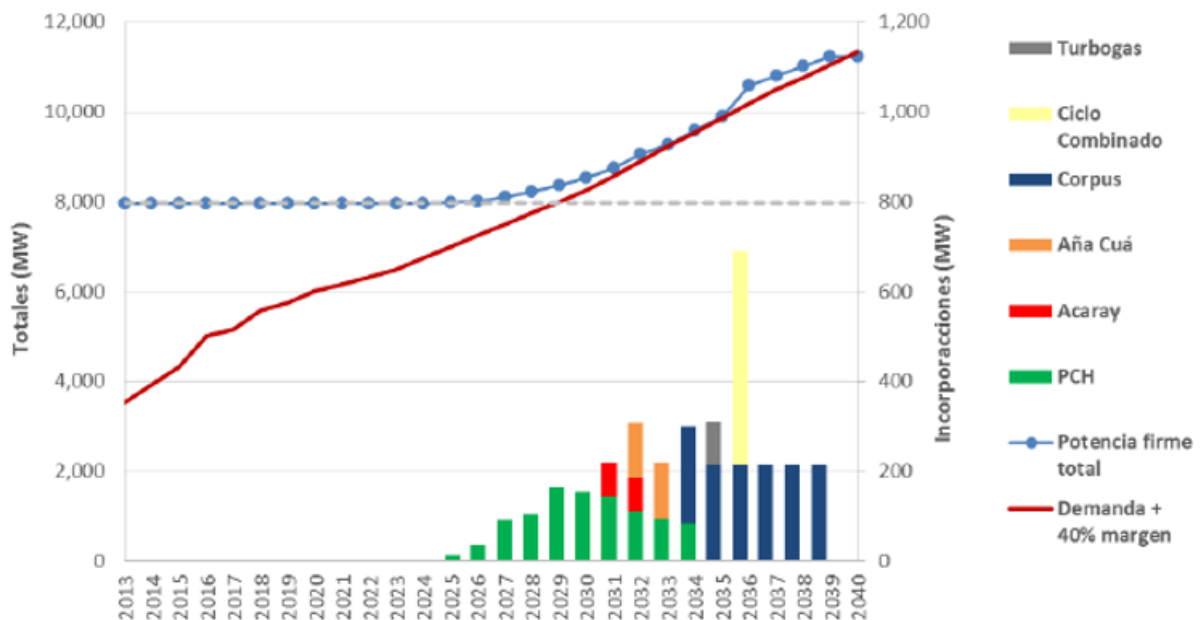


Fig. 1 Escenario Energetico Paraguay 2013-2040[3]

En ambos estudios se concluye que desde el 2025 o 2030 en adelante tendremos un escenario con déficit energético en Paraguay y se requerirán nuevas centrales de energía. En este contexto está comenzando el interés en las energías renovables

Además de la hidroelectricidad considerada energía renovable, la biomasa es la más utilizada con más del 50 % de demanda de energía primaria, a su vez las más aprovechada es la biomasa sólida (leña, carbón vegetal) con un 80 % del total de biomasa consumida. Los biocombustibles están comenzando a ser producidos, el bioetanol y biodiesel. Los primeros estudios sobre energía eólica concluyen en que no existe gran potencial en el país, salvo para uso como generación híbrida. La energía solar tiene un potencial interesante, sin embargo una dificultad es la falta de recopilación de valores de radiación solar en una serie importante de años, se puede mencionar un estudio publicado por el INTN [4] en 1994 denominado “Estimación de la radiación solar global en la República del Paraguay” con mediciones en 14 estaciones meteorológicas durante aproximadamente 6 años. Otros

datos obtenidos por la NASA durante 20 años, con resolución de 1° de longitud y 1° de latitud, dan valores de radiación en el sur de 1650 KWh/m² y en el Chaco de 1770 KWh/m², es decir una radiación global horizontal promedio es de 1725 KWh/m², con 300 días claros al año [5].

El Parque Tecnológico Itaipu publicó en el año 2016 el primer mapeo completo del país utilizando métodos actualizados en el trabajo Atlas del Potencial Energético Solar y Eólico del Paraguay, los valores medidos son similares a los mencionados antes.

Los únicos proyectos importantes para mencionar son, el Programa Eurosolar que consiste en el abastecimiento de energía eléctrica solar fotovoltaica a 45 comunidades rurales y la Planta Fotovoltaica de Bahía Negra (Chaco) con 500 kW en etapa de proyecto por las entidades Itaipu y ANDE.

En este contexto se plantea la central solar fotovoltaica considerando la radiación disponible en la zona

II. Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red

Un sistema fotovoltaico conectado a una red (SFCR), es un sistema para producir energía eléctrica que técnicamente pueda ser inyectada a la red convencional

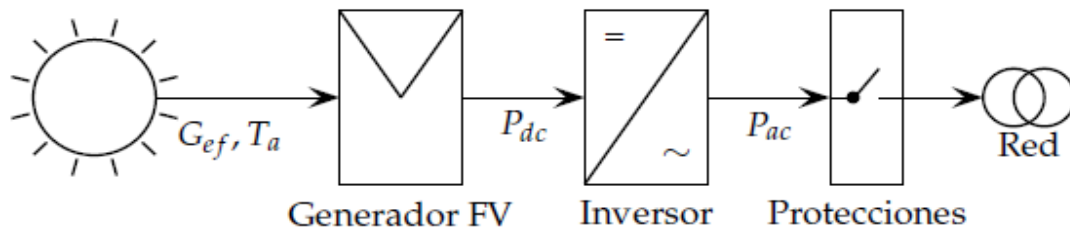


Fig. 2 Esquema de un SFCR[6]

En el Generador FV compuesto por los paneles fotovoltaicos, se convierte la energía de la radiación solar en energía eléctrica continua.

El Inversor es el equipo que permite transformar la energía producida como tensión continua (DC) en un módulo fotovoltaico a tensión alterna (AC)

Las principales características de los inversores son la tensión de entrada, la potencia máxima que entrega y la eficiencia.

Teniendo los valores de irradiancia efectiva y la temperatura ambiente, se calcula el funcionamiento del generador (tensión, corriente, potencia), del inversor, del cableado, del transformador. El cálculo detallado requiere el uso de software como el PVSyst o similares, sin embargo es posible calcular la energía anual con la expresión:

$$E_{ac} = P_g^* \cdot \frac{G_{ef,a}}{G_{stc}} \cdot PR \cdot (1 - FS) \quad [7]$$

E_{ac} : energía producida anual kWh

G_{stc} : irradiancia en condiciones estándar ($G_{stc} = 1 \text{ kW/m}^2$, $T_c = 25 \text{ °C}$)

P_g^* : potencia nominal del generador kWp (condiciones estándar)

$G_{ef,a}$: irradiancia efectiva anual incidente en el plano del generador kWh/m²

PR : rendimiento del sistema (performance ratio)

FS : factor de sombras

II. Modelado SFCR

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, se basa fundamentalmente en el mejor conocimiento posible de la radiación media, diaria, mensual sobre una superficie inclinada, en nuestro caso orientada al Norte, ya que estamos en el Hemisferio Sur.

Los principales factores en el diseño de una central solar fotovoltaica son:

- a) La variabilidad de los datos de radiación
- b) Perdidas por sombreado de los módulos
- c) Perdidas en la conexiones y cables
- d) Inclinación, orientación, reflectividad de la superficie vidriada del panel
- e) Factores climáticos, vientos, nubosidad, temperatura ambiente , etc
- f) Eficiencia del sistema de seguimiento del punto de máxima potencia MPP
- g) Eficiencia del inversor

La radiación media diaria mensual sobre una superficie inclinada, que denominamos $G_{dm(\alpha,\beta)}$, se calcula a partir de la irradiación media diaria, denominada $G_{dm(0)}$, que incide sobre una superficie horizontal, pero multiplicando este valor por factor de conversión R que tiene en cuenta el efecto de la atmosfera sobre los rayos incidentes traduciendo los valores de radiación disponibles en los correspondientes a la inclinación y orientación del generador

Existen métodos de cálculo para obtener $G_{dm(\alpha,\beta)}$ tomando los datos de $G_{dm(0)}$, entre los más usuales están los desarrollados por Liu - Jordan y por Klein, Duffie, Beckman

Se calcula la variación anual del ángulo de declinación solar, positiva en el invierno para el Hemisferio Sur y negativa durante el verano

Se requiere conocer el día-ordinal n de cada mes, que es el día representativo del mes cuya radiación extraterrestre sobre el plano horizontal es la más próxima al promedio mensual, permite estimar el comportamiento promedio del mes.

La expresión de cálculo recomendada es la de Spencer

$$\delta = 0.006918 - 0.399912\cos \Gamma + 0.070257\sin\Gamma - 0.006758\cos 2\Gamma + 0.000907\sin2\Gamma - 0.002697\cos3\Gamma + 0.00148\sin3\Gamma \quad [8]$$

δ está en radianes y el ángulo horario es $\Gamma = \frac{2\pi(n-1)}{365}$

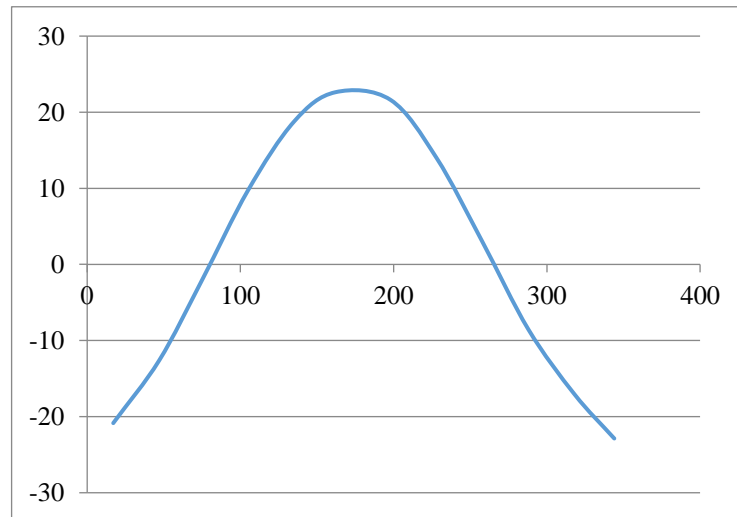


Fig. 3 Declinacion en grados en funcion de n

La información de radiación disponible procede de medidas realizadas por estaciones terrestres o estimadas a partir de imágenes satelitales. Las imágenes procedentes de satélites geoestacionarios meteorológicos permiten estimar la radiación incidente en la superficie terrestre. Los datos habitualmente utilizados son los que proporciona la NASA, son valores diarios de radiación global en el plano horizontal.

La energía incidente desde el sol que llega fuera de la atmosfera, se denomina extraterrestre, es el valor límite alcanzable en la superficie terrestre en un plano horizontal.

Este valor se requiere para cálculos de componentes de la radiación. El promedio mensual de esta radiación diaria coincide numéricamente con el valor de radiación correspondiente a los días típicos (n), que coincide con el promedio mensual, por esto se puede obtener el valor medio diario de radiación utilizando el valor para los días típicos.

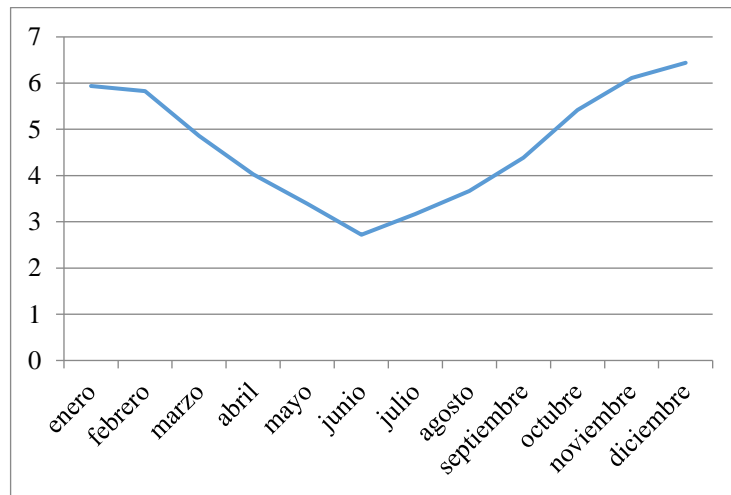


Fig. 4 Radiación mensual diaria horizontal en [KWh/m²]

La radiación extraterrestre se expresa por una fórmula en términos de la latitud, el ángulo horario de salida o puesta del sol, de la declinación y del número n.

$$G_{ext(0)} = \frac{24}{\pi} G_{sc} F_n \{ \cos\delta \cos\varphi \sin\omega_s + \omega_s \sin\delta \sin\varphi \}$$

$$\text{Donde } F_n = \left\{ 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \right\}$$

Las unidades de la expresión son kWh/m² y MJ/m², los ángulos en radianes

G_{sc} : radiación constante solar : 1,37 kWh/m² = 4,92 MJ/m²

La declinación δ es la obtenida para cada mes, la latitud φ es - 27,3 °, para obtener la radiación extraterrestre, antes se calcula el ángulo de salida /puesta del sol ω_s , con la expresión $\omega_s = \arccos(-\tan\delta \tan\varphi)$

El cálculo de la radiación media mensual extraterrestre sobre un plano horizontal, para la latitud de ubicación de nuestro proyecto, se presenta en la fig.5

Los datos de radiación solar que se dispone normalmente, es la radiación global en un plano horizontal, para diseñar un aprovechamiento energético es necesario conocer la radiación global sobre un plano inclinado

Según el Manual Técnico de Energía Solar Térmica (UDELAR), una inclinación mayor a la latitud es conveniente en el invierno, cuando el sol está bajo, y una inclinación menor es favorable para la radiación incidente en verano (el sol está más alto). En general para una producción anual se

recomienda que $\beta \approx \Phi$, para reducir la variación estacional, es decir el ángulo de inclinación aproximadamente igual a la latitud, es decir $\beta_{opt} = 27,3^\circ$

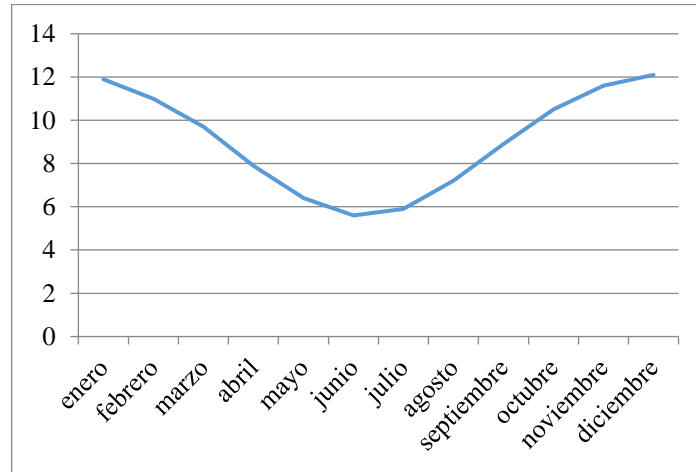


Fig. 5 Radiación extraterrestre sobre un plano horizontal en [KWh/m²]

Para el cálculo de la radiación sobre un plano inclinado, en base a los datos de radiación sobre un plano horizontal se utiliza una relación entre ambas radiaciones, denominada razón directa diaria R_b dada por la expresión (Iqbal)

$$R_b = \frac{H_{bi}}{H_{bh}} = \frac{\omega'_s \text{sen} \delta \text{sen}(\beta - |\phi|) + \text{cos} \delta \text{cos}(\beta - |\phi|) \text{sen} \omega'_s}{\omega'_s \text{sen} \phi \text{sen} \delta + \text{cos} \phi \text{cos} \delta \text{sen} \omega'_s} \quad [9]$$

De acuerdo a lo expresado antes, se adopta la inclinación de los paneles igual a la latitud del lugar, $\beta \approx \Phi$, esto simplifica la expresión de R_b .

$$R_b = \frac{\text{cos} \delta \text{sen} \omega'_s}{\omega'_s \text{sen} \phi \text{sen} \delta + \text{cos} \phi \text{cos} \delta \text{sen} \omega'_s}$$

Para estimar la radiación incidente sobre un plano inclinado a partir de datos correspondientes a un plano horizontal, se tiene en cuenta que la radiación incidente sobre un plano tiene varias componentes mediante el factor R que permite realizar la suma de las tres radiaciones, la difusa que incide sobre una superficie horizontal, la reflejada por la tierra y la difusa por la atmosfera que incide en el plano inclinado

La expresión de R es

$$R = \left(1 - \frac{D}{G_{dm(0)}}\right) R_b + \frac{D}{G_{dm(0)}} \left(\frac{1 + \text{cos} \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \text{cos} \beta}{2}\right) \quad [10]$$

El cociente $D/G_{dm(0)}$ es función del índice de claridad K_T

$$\frac{D}{G_{dm(0)}} = 1.3903 - 4.0273K_T + 5.541K_T^2 - 3.108K_T^3 \dots \dots$$

A su vez, el índice de claridad es

$$K_T = \frac{G_{dm(0)}}{G_{ext(0)}}$$

$G_{dm(0)}$ es la radiación global media diaria horizontal

$G_{ext(0)}$ es la radiación extraterrestre en un plano horizontal

Con los datos conocidos y previamente calculados, se estiman los valores de R que determina la energía captada por cada m^2 por la superficie inclinada según el ángulo adoptado para la inclinación de los paneles solares, por medio de la expresión

$$G_{dm(27)} = R G_{dm(0)}$$

Los resultados se muestran en la tabla y el gráfico siguientes

Mes	$G_{dm(0)}$ [kWh/m ²]	R	$G_{dm(27)}$ [kWh/m ²]
Enero	5,94	0,90	5,346
Febrero	5,83	0,97	5,655
Marzo	4,86	1,06	5,151
Abril	4,03	1,19	4,795
Mayo	3,39	1,33	4,508
Junio	2,72	1,38	3,753
Julio	3,17	1,37	4,342
Agosto	3,67	1,24	4,550
Septiembre	4,39	1,10	4,829
Octubre	5,42	0,99	5,365
Noviembre	6,11	0,92	5,621
Diciembre	6,44	0,89	5,731
Promedio	4,66		4,970

Tabla 1. Energía captada por la superficie inclinada

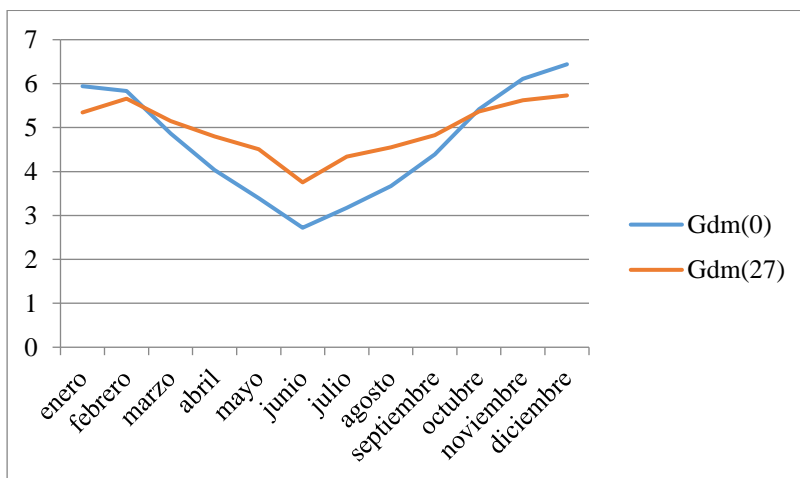


Fig. 6 Energía captada por la superficie inclinada

II. Producción de Energía Eléctrica

Para estimar la producción de energía eléctrica de la central fotovoltaica, se consideran los equipos seleccionados en función de generar la potencia de la central definida para este proyecto. La central proyectada tiene una potencia de 10 MW.

El número de paneles a instalar se determina repartiendo la potencia total de diseño en subsistemas de generación de manera simétrica para que los inversores trabajen con igual cantidad de energía y además utilizar una cantidad razonable de inversores para disminuir los costos de instalación.

Se plantea diseñar la central con 10 subsistemas de 1 MW cada uno para tener la potencia total. De acuerdo a los catálogos disponibles de los inversores, se utilizarán dos inversores de 500 kW para cada subsistema, como la producción de los generadores fotovoltaicos se inyecta a los inversores, los paneles deben cumplir requisitos técnicos en función de las características del inversor que permitan un acople correcto.

El inversor adoptado es el SMA SUNNY CENTRAL 500CP

Potencia nominal 500 kW

Potencia máxima en DC 560 kW

Tensión de entrada min/max 400 V / 1000 V

Rango de tensión MPP (50 Hz) 449 V - 850 V

Tensión asignada de entrada 449 V

Corriente de entrada máxima 1250 A

Características técnicas del panel adoptado :

Marca SUNTECH STP 300 – 24 /Ve

Voltaje de operación óptima $V_{mp} = 35,9 \text{ V}$ (en condiciones STC , irradiancia 1000W/m^2 , temperatura 25°C , AM = 1,5)

Voltaje de circuito abierto $V_{oc} = 44,5 \text{ V}$

Corriente de cortocircuito $I_{sc} = 8,83 \text{ A}$

Coefficiente de temperatura $V_{oc} = -0,33 \% / ^\circ\text{C} = -0,003 \text{ V}/^\circ\text{C}$

Coefficiente de temperatura de $I_{sc} = 0,067 \text{ 5}/^\circ\text{C} = 6,7 \times 10^{-4} \text{ A}/^\circ\text{C}$

La tensión de un grupo de paneles asociados está dada por en número de paneles en serie, por lo tanto esta tensión debe estar en el rango determinado por el inversor al que se acoplan los paneles, se adopta el número de paneles serie $N_s = 17$, que está en el rango previsto y no supera el máximo admisible.

Para agrupar en paralelo se debe tener en cuenta que la suma de éstos es la corriente total que se inyecta al inversor.

En resumen tenemos número de paneles en serie $N_s = 17$ y numero de paneles en paralelo $N_p = 110$, para un inversor.

Esto significa que el total de paneles para cada inversor es $N_s \times N_p = 17 \times 110 = 1870$ paneles.

Cada subsistema de 1 MW está conformado por 2 inversores de 500KW , lo que arroja una cantidad de 3740 paneles por cada uno de ellos.

Tenemos 10 subsistemas en total, por lo tanto el número total de paneles para la central es de 37400 paneles.

Con esto se estima la potencia del generador fotovoltaico de la central

$$P_{\text{fotovoltaica}} = (3740) (300) = 1122000 \text{ Wp} = 1122 \text{ kWp} = 1,122 \text{ MWp}$$

Esta es la potencia para cada subsistema, como tenemos 10 subsistemas, la potencia total fotovoltaica instalada es :

$$P_{\text{fotovoltaica}} = 11220 \text{ kWp} = 11,22 \text{ MWp}$$

Por otra parte la potencia nominal de la central no es la suma de las potencias de los módulos que calculada como $P_{\text{fotovoltaica}}$ sino que es la potencia de los inversores que convierten la electricidad continua en alterna, por lo tanto la potencia nominal de la central es :

$$P_{\text{nom}} = (20)(500\text{kW}) = 10000 \text{ kW} = 10 \text{ MW}$$

La producción de energía eléctrica final requiere considerar el rendimiento de los diversos componentes de la central. Los rendimientos considerados de acuerdo a los valores dados por los fabricantes de los equipos, dan el rendimiento global del sistema $PR = 0,78 = 78 \%$

Teniendo el valor del rendimiento global, se calcula la producción de energía eléctrica de la central, que se obtiene por la expresión

$$E_d = P_{\text{picoinstalada}} G_{\text{dm}(27)} PR$$

Esta es energía producida por día, a partir de esto se obtiene la energía mensual y luego la energía anual.

Los resultados se presentan en forma de tabla y grafico.

Mes	Dias	$P_{\text{picoinstalada}}$ kW _p	$G_{\text{dm}(27)}$ kWh	PR	E_{dia} kWh	E_{mes} kWh
01	31	11.220	5,346	0,78	46.786	1.450.366
02	28	11.220	5,655	0,78	49.490	1.385.720
03	31	11.220	5,151	0,78	45.079	1.397.449
04	30	11.220	4,795	0,78	41.963	1.258.910
05	31	11.220	4,508	0,78	39.452	1.223.012
06	30	11.220	3,753	0,78	32.844	985.340
07	31	11.220	4,342	0,78	37.999	1.177.980
08	31	11.220	4,550	0,78	39.819	1.234.410
09	30	11.220	4,829	0,78	42.261	1.267.840
10	31	11.220	5,365	0,78	46.952	1.455.520
11	30	11.220	5,621	0,78	49.192	1.475.780
12	31	11.220	5,731	0,78	50.155	1.554.810
Producción de energía eléctrica anual (kWh)						15.867.137

Tabla 2. Producción de energía en [kWh]

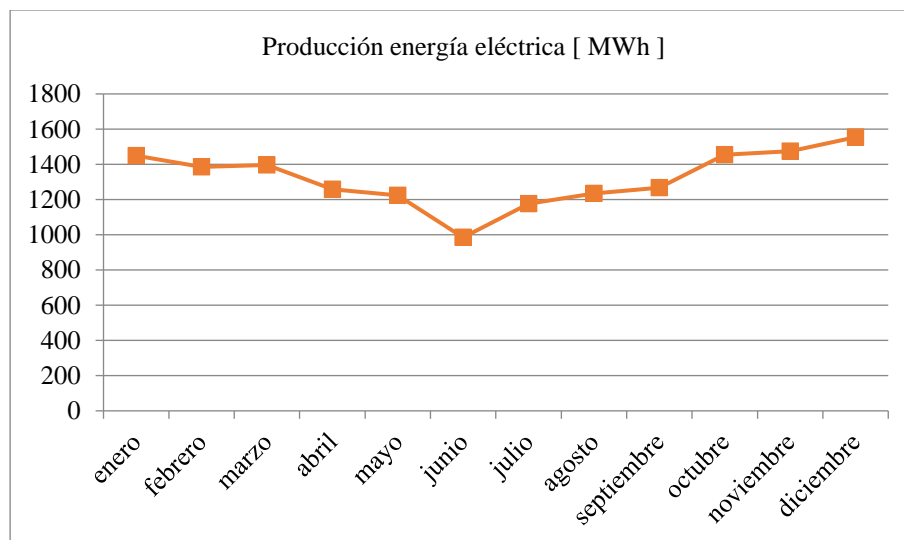


Fig. 7 Energía eléctrica promedio anual

$$\text{Producción energía eléctrica anual} = 15.867.137 \text{ kWh/año} = 15.867 \text{ MWh/año}$$

II. Conclusiones

El proyecto de la central solar SFV para acoplar a un red en Paraguay es un tema nuevo, a causa de la dependencia casi exclusiva para al abastecimiento de energía eléctrica por parte de las grandes centrales hidroeléctricas. Sin embargo dados los costos actuales y la tendencia a disminuir más los costos de los equipos necesarios para un aprovechamiento fotovoltaico, en este trabajo se plantea una central solar SFV , para exportar la energía producida a la República Argentina, entre las ciudades de Posadas –Misiones-Argentina y Encarnación –Itaipúa –Paraguay

Las conclusiones son:

- a) El proyecto diversifica la matriz energética del país, en el sector de energía no convencional, como lo define la ley 3009/06, a todas las renovables.
- b) Se asegura una fuente de abastecimiento eficiente y sustentable ambientalmente, hecho muy importante teniendo un panorama de déficit en la generación en un futuro no muy lejano.
- c) Permitirá impulsar la tecnología solar fotovoltaica. Es una oportunidad para que la central SFV sea una planta piloto y se desarrolle la industria de los componentes fotovoltaicos, especialmente los paneles. Existe una iniciativa del PTI Itaipú con el proyecto Green Silicon, para producir paneles solares en la región.
- d) Se demandará mano de obra de técnicos y profesionales del área de la energía para la construcción, operación y mantenimiento de la central. Alrededor de la misma se impulsará la industria y los insumos del sector contribuyendo de esta forma al desarrollo socioeconómico.
- e) La característica del proyecto permiten su implementación bajo la ley 3009/06 y la ley de Asociación Público Privada. Sin embargo hace falta producir o adaptar normativas para la construcción, operación, mantenimiento y conexión de la central SFV al sistema eléctrico del país SIN.

La central SFV planteada tiene una potencia total fotovoltaica instalada de 11220 KWp = 11,22 MWp, generando 15.867 MWh/año de energía eléctrica anual con conexión a la Subestación Transformadora Cambyreta de ANDE para exportar por la interconexión Encarnación-Posadas toda la energía producida

Referencias

- [1] VMME Vice Ministerio de Minas y Energía Paraguay
- [2] VMME Vice Ministerio de Minas y Energía Paraguay
- [3] Fundación Bariloche, “Prospectiva Energética del Paraguay 2013-2040”, 2016
- [4] INTN, Instituto Nacional de Tecnología y Normalización , Paraguay
- [5] GIZ, Cooperación Alemana al Desarrollo, APER, Asociación Paraguaya de Energías Renovables
- [6] O. Perpiñan Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica* , 2013.
- [7] O. Perpiñan Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica* , 2013.
- [8] Duffie-Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2006
- [9] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*, 1983
- [10] G. Abal, V. Durañona, *Manual Técnico de Energía Solar Térmica*, 2013
- [11] Organización Latinoamericana de Energía OLADE, Estado Actual de la Energía Solar Fotovoltaica en Latinoamérica y el Caribe, 2015
- [12] E. Lorenzo, *Radiación Solar y dispositivos fotovoltaicos*, 2006
- [13] J. Fernandez Salgado, *Guía completa de la energía solar fotovoltaica y termoelectrica*, 2008
- [14] R. Messenger, J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering* , 2004
- [15] E. Lorenzo, *Ingeniería Fotovoltaica*, 2014
- [16] M.A.Abella, F. Chenlo, *Sistemas fotovoltaicos conectados a red estimación de la energía generada*, 2006
- [17] M.A. Abella, *Sistemas fotovoltaicos introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*, 2005
- [18] E. Lorenzo, *Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos*, 1994
- [19] <http://www.nasa.gov>
- [20] <http://www.nrel.gov>
- [21] <http://www.censolar.es>
- [22] <http://www.am.suntech-power.com>
- [23] <http://www.sma-america.com>
- [24] <http://www.ande.gov.py>

- [25] <http://www.eby.gov.py>
- [26] <http://www.itaipu.gov.py>
- [27] <http://www.ssme.gov.py>
- [28] <http://www.energia.gov.ar>
- [29] <http://www.cammesa.com.ar>
- [30] <http://www.ieee.org>