

Generación de energía solar fotovoltaica en Itapúa, Paraguay

Oscar Dionisio Trochez Valdez ^a

^a Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay, oscar.trochez@fiumi.edu.py

Resumen

Este trabajo tuvo el objetivo de determinar el potencial de producción de energía eléctrica a partir de una central solar fotovoltaica, que estaría ubicada en Itapúa, Paraguay, y que podría conectarse a la red del Sistema Interconectado Nacional de la Argentina, por medio de la interconexión Posadas-Encarnación. La metodología empleada incluyó la determinación de la radiación solar disponible en la zona, la selección de los componentes principales del sistema de generación fotovoltaico y el cálculo de la producción energética anual considerando una potencia base de 10 MW. La central solar podría llegar a generar cerca de 15.867 MWh/año de acuerdo a la radiación disponible y los equipos seleccionados. También, se incluyó en el trabajo, una lista de leyes, normativas legales y socio-ambientales disponibles actualmente, que serían útiles para llevar a la práctica este tipo de inversiones, que diversificarían la matriz energética, muy necesaria en el país a mediano y largo plazo.

Palabras clave: radiación solar, energía fotovoltaica, interconexión eléctrica.

Abstract

This work aimed to determine the potential for electric power production from a solar photovoltaic plant, which would be located in Itapúa, Paraguay, and which could be connected to the Argentine National Interconnected System network, through the Posadas-Encarnación interconnection. The methodology used included determining the solar radiation available in the area, selecting the main components of the photovoltaic generation system and calculating the annual energy production considering a base power of 10 MW. The solar plant could generate around 15,867 MWh/year according to the available radiation and the selected equipment. Also included in the work was a list of laws, legal and socio-environmental regulations currently available, which would be useful to put into practice this type of investment, which would diversify the energy matrix, much needed in the country in the medium and long term.

Keywords: solar radiation, photovoltaic energy, electrical interconnection.

1. Introducción

El trabajo plantea un dimensionamiento de una central solar fotovoltaica (SFV) de 10 MW de potencia instalada, a ser emplazada en la ciudad de Cambyretá, Departamento de Itapúa, República del Paraguay.

El proyecto considera que la central estaría 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. Se pretende sustituir parte del abastecimiento que actualmente realiza la empresa estatal Administración Nacional de Electricidad (ANDE) con energía proveniente de las centrales hidroeléctricas de Itaipú y Yacyretá, por la generada en la central SFV. 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 la de mayor precio.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Dimensionar una central solar fotovoltaica de 10 MW en Itapúa, que podría destinarse para exportar energía eléctrica a Posadas, Argentina.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la radiación solar disponible en la región de Cambyretá.
- Seleccionar los componentes del sistema de generación fotovoltaico.
- Calcular la producción energética anual de la central.
- Mencionar las normativas relacionadas a las centrales fotovoltaicas.

3. Materiales y Métodos

3.1 Energías renovables en Paraguay

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

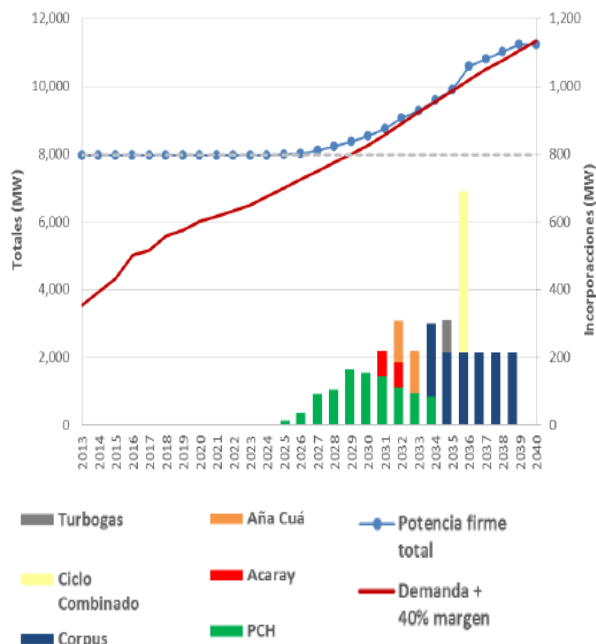
La energía eléctrica es la mayor producción energética del país, sin embargo, es la que menos se consume. Existe un alto consumo de biomasa, dentro de este tipo, el de mayor consumo es la leña con un 55,7% del total de la biomasa. El consumo de energía eléctrica tiene la siguiente composición; 42,9% 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 estableció 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 Yacyretá y 1000 GWh/año de Acaray) [1].

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 líneas generales en 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 gráfico siguiente de potencia demandada versus necesidad de ingreso de nuevas centrales eléctricas.



Nota: el escenario Alternativo (Ref.) combina el escenario Socioeconómico Alternativo (crecimiento alto del PIB) con el escenario Energético de Referencia (sin expansión de la oferta ni grandes cambios en sustituciones ni en eficiencia energética).

Fig. 1. Escenario energético del Paraguay 2013-2040 [2].

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, 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, como 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 [3] 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 de 1725 kWh/m², con 300 días claros al año [4].

El Parque Tecnológico de Itaipú 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 Itaipú y ANDE.

3.2 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).

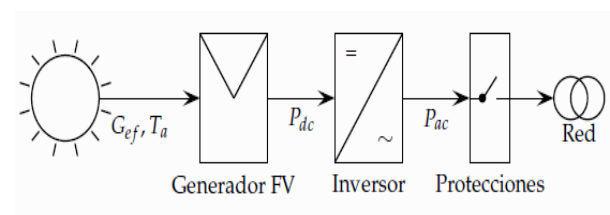


Fig. 2. Esquema de un SFCR [5].

En el Generador FV compuesto por 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 a 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 [5]:

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

E_{ac} : energía producida anual (kWh).

G_{stc} : irradiancia, condiciones estándar (1 kW/m², $T_c = 25^\circ\text{C}$).

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.

3.3 Análisis de la radiación solar

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, se basa fundamentalmente en el mejor conocimiento posible de la radiación media, diaria y mensual sobre una superficie inclinada, en nuestro caso, orientada hacia el Norte, ya que estamos en el Hemisferio Sur. Los principales factores en el diseño de una central solar fotovoltaica son:

- la variabilidad de los datos de radiación;

- pérdidas por sombreado de los módulos;
- pérdidas en la conexiones y cables;
- inclinación, orientación, reflectividad de la superficie vidriada del panel;
- factores climáticos, vientos, nubosidad, temperatura ambiente, etc;
- eficiencia del sistema de seguimiento del punto de máxima potencia MPP;
- eficiencia del inversor.

La radiación media diaria mensual sobre una superficie inclinada, que denominamos $G_{dm(\alpha,\beta)}$ se calcula a partir de la irradiancia 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 atmósfera 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. La expresión de cálculo recomendada es la de Spencer [6].

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos \Gamma + 0,070257 \sin \Gamma - 0,006758 \cos 2\Gamma + 0,000907 \sin 2\Gamma - 0,002697 \cos 3\Gamma + 0,00148 \sin 3\Gamma. \quad (2)$$

Dónde: δ es la declinación solar, que está en radianes y el ángulo horario es $\Gamma = \frac{2\pi(n-1)}{365}$.

Con la expresión anterior se puede graficar la variación de la declinación durante el año, que se puede visualizar en la Fig. 3.

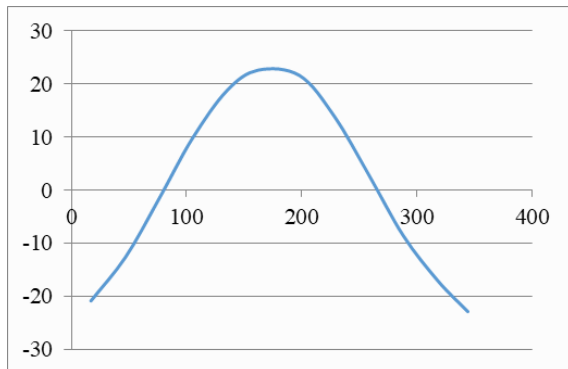


Fig. 3. Declinación en grados en función de n.

La información de radiación disponible procede de medidas realizadas por estaciones terrestres o estimadas a partir de imágenes satelitales. Los datos habitualmente utilizados son los que proporciona la NASA, con valores diarios de radiación global en el plano horizontal.

La energía incidente desde el sol que llega fuera de la atmósfera, se denomina extraterrestre, que 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 (Fig. 4), por esto se puede obtener el valor medio diario de radiación utilizando el valor para los días típicos.

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.

$$G_{ext(0)} = \frac{24}{\pi} G_{sc} F_n \{ \cos \delta \cos \varphi \sin \omega_s + \omega_s \sin \delta \sin \varphi \} \text{ (kWh/m}^2 \text{ o MJ/m}^2 \text{)} \quad (3)$$

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

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

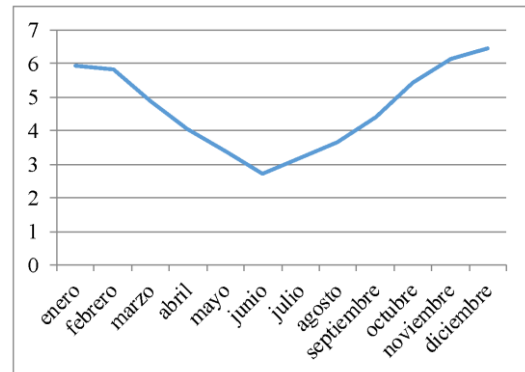


Fig. 4. Radiación mensual diaria horizontal (kWh/m²).

La declinación δ es la obtenida para cada mes, la latitud φ es $-27,3^\circ$. Para obtener la radiación extraterrestre, antes se calculó el ángulo de salida/puesta del sol ω_s , con la siguiente 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 disponen normalmente, son de la radiación global en un plano horizontal, y para diseñar un aprovechamiento energético es necesario conocer la radiación global sobre un plano inclinado.

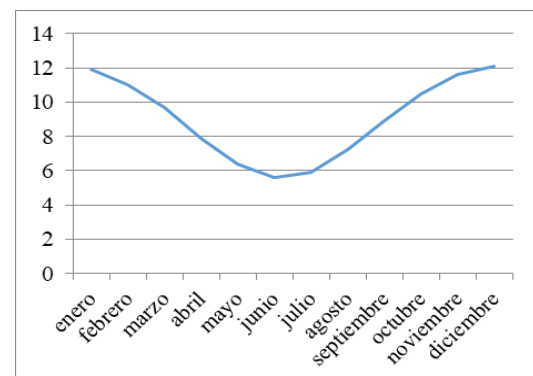


Fig. 5. Radiación extraterrestre sobre un plano horizontal en kWh/m².

Según el Manual Técnico de Energía Solar Térmica (UDELAR), una inclinación mayor a la latitud es conveniente en el invierno, 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 $\beta \approx \Phi$, es decir, el ángulo de inclinación es aproximadamente igual a la latitud, es decir, $\beta_{\text{opt}} = 27,3^\circ$.

Para el cálculo de la radiación sobre un plano inclinado, en base a los datos de radiación sobre un plano horizontal se utilizó una relación entre ambas radiaciones, denominada razón directa diaria R_b , dada por la expresión [7].

$$R_b = \frac{H_{bi}}{H_{bh}} = \frac{\omega'_s \text{sen} \delta \text{sen}(\beta - |\Phi|) + \cos \delta \cos(\beta - |\Phi|) \text{sen} \omega'_s}{\omega'_s \text{sen} \delta \text{sen} \delta + \cos \delta \cos \delta \text{sen} \omega'_s} \quad (4)$$

Se adoptó la inclinación de los paneles igual a la latitud del lugar, $\beta \approx \Phi$, y esto simplifica R_b .

$$R_b = \frac{\cos \delta \text{sen} \omega'_s}{\omega'_s \text{sen} \delta \text{sen} \delta + \cos \delta \cos \delta \text{sen} \omega'_s} \quad (5)$$

Para estimar la radiación incidente sobre un plano inclinado a partir de datos correspondientes a un plano horizontal, se tuvo en cuenta que la radiación incidente tiene varias componentes, y se utilizó el factor R que permite realizar la suma de las tres componentes, la difusa que incide sobre una superficie horizontal, la reflejada por la tierra y la difusa por la atmósfera que incide en el plano inclinado. La expresión de R es la siguiente [8].

$$R = \left(1 - \frac{D}{G_{dm(0)}}\right) R_b + \frac{D}{G_{dm(0)}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \quad [6]$$

Dónde: el cociente $D/G_{dm(0)}$ es función del índice de claridad K_T ;

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

El índice de claridad es; $K_T = \frac{G_{dm(0)}}{G_{ext(0)}}$

$G_{dm(0)}$, radiación global media diaria horizontal.

$G_{ext(0)}$, radiación extraterrestre en un plano horizontal.

Con los datos conocidos y previamente calculados, se estimaron los valores de R que determinaron la energía captada por cada m^2 de superficie inclinada, por medio de:

$$G_{dm(27)} = R G_{dm(0)} \quad (7)$$

4. Resultados

4.1. Captación de energía solar

Seguidamente se observan los valores obtenidos para la captación de una superficie inclinada a 27° .

Tabla 1. Energía captada por la superficie inclinada.

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

A partir de la Tabla 1. se graficó la distribución de energía captable, observable en la Fig. 6.

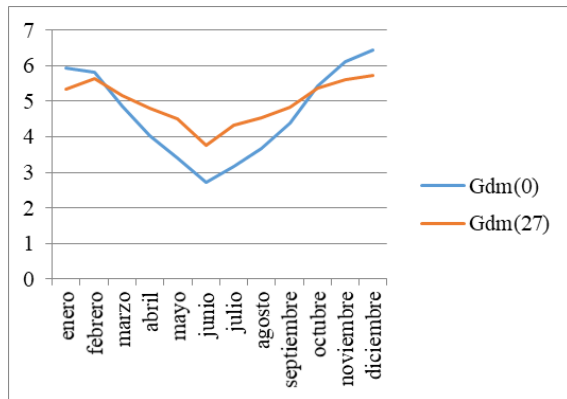


Fig. 6. Energía captable por la superficie inclinada.

4.2 Producción de energía eléctrica

La central proyectada tendría una potencia de 10 MW con 10 subsistemas de 1MW cada uno. De acuerdo a los catálogos, se utilizarán 2 inversores de 500 kW por subsistema, del tipo SMA SUNNY CENTRAL 500CP.

- Potencia nominal: 500 kW.
- Potencia máxima en DC: 560 kW.
- Tensión entrada mín/máx: 400 V/ 1000 V.
- Rango de tensión MPP (50 Hz): 449-850 V.
- Tensión asignada de entrada: 449 V.
- Corriente de entrada máxima: 1250 A.

El panel fotovoltaico adoptado sería el de marca SUNTECH STP 300 – 24 Ve.

- Voltaje de operación óptima, V_{mp} : 35,9 V (en condiciones STC, irradiancia 1 kW/m², temperatura de 25°C, AM = 1,5).
- Voltaje de circuito abierto, V_{oc} : 44,5 V.
- Corriente de cortocircuito, I_{sc} : 8,83 A.
- Coeficiente de temperatura, V_{oc} : -0,33 %/°C = -0,003 V/°C.
- Coeficiente de temperatura, I_{sc} : 0,0675/°C = 6,7x10⁻⁴ A/°C.

La tensión de un grupo de paneles asociados está dada por el número de paneles en serie, por lo tanto, esta tensión debe estar en el rango

determinado por el inversor al que se acoplan, se adoptó el número de $N_s = 17$. El número de ramales en paralelo adoptado fue de $N_p = 110$ para un inversor, dando $N_s \times N_p = 17 \times 110 = 1870$ paneles y 3740 paneles por cada subsistema y 37.400 paneles en total.

Con esto se estimó la potencia del generador fotovoltaico de cada subsistema; $P = 3740 \times 0,3 \text{ kWp} = 1.122 \text{ kWp} = 1,122 \text{ MWp}$. Como hay 10 subsistemas, se tendrá 11,22 MWp.

Por otra parte, la potencia nominal de la central no es la suma de las potencias de los módulos, sino que es la potencia de los inversores, o sea $P_{nom} = 20 \times 500 \text{ kW} = 10000 \text{ kW} = 10 \text{ MW}$

La producción de energía eléctrica final requiere considerar el rendimiento de los componentes de la central, que, de acuerdo a los valores dados por los fabricantes, sería un rendimiento global del sistema de $PR = 0,78 = 78\%$. Con este valor se calculó la producción de energía eléctrica usando la expresión;

$$E_d = P_{pico} G_{dm(27)} PR. \quad (8)$$

Esta es energía producida por día, y a partir de la cual se obtuvo la energía mensual y la anual que llegaría a 15,867 MWh /año. Los resultados se presentan en la Tabla 2 y Fig. 7.

Tabla 2. Producción de energía.

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

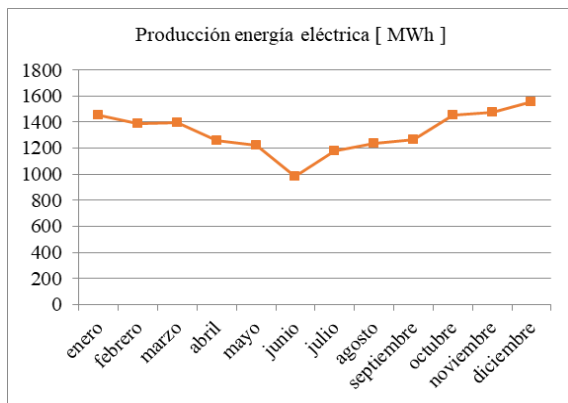


Fig. 7. Energía eléctrica promedio anual.

4.3 Aspectos legales y ambientales

El marco regulatorio del sector eléctrico de los países Argentina y el Paraguay, referido a energías renovables [9] es el siguiente.

Argentina

En el año 2006 se aprobó la ley 26.190 Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes de energías renovables para la producción de energía eléctrica, en este contexto en el año 2009 la Secretaría de Energía anunció el Programa GENREN y a través de Energía Argentina (ENARSA) impulso la licitación de hasta 1000 MW de energía renovable, incluyendo 20 MW de energía SFV. La ley 26.190 se actualizó por medio de la ley 27.191/15.

Paraguay

No se identificó legislación específica para energías renovables, aparte de la hidráulica. Para proyectos a gran escala de generación SFV no existe un marco legal aparte de la ley 3009/2006. Falta definir el marco legal para la operación de sistemas SFV conectados o no al SIN. A inicios del 2014 el MOPC anunció la iniciativa de medición del potencial solar y eólico para incorporar estas energías a la matriz eléctrica del país, las que se mencionan a continuación son relacionadas al proyecto.

1) Ley 3009 / 06, “De la Producción y

Transporte Independiente de la Energía Eléctrica”

- 2) Decreto 9829 / 12, que reglamenta la ley 3009 / 06 “De la producción y transporte independiente de energía eléctrica (PTIEE)”
- 3) La autoridad de aplicación por esta ley es el Consejo Nacional de la Producción y Transporte Independiente de Energía (CONAPTIE), para recibir estudiar y dar trámite a las solicitudes de licencia para la producción y/o transporte independiente de energía eléctrica presentadas de acuerdo a la presente Ley.
- 4) La ley está reglamentada por el Decreto 9829/12, y está vigente actualmente.
- 5) Por otra parte, se dispone de la Ley 5102/13 de la Asociación Pública Privada APP, que tiene como objetivo promover alianzas entre el sector público y el privado para inversiones en infraestructura pública y prestación de servicios. Entre los proyectos autorizados por APP está la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

Las normativas técnicas para la energía solar fotovoltaica a nivel internacional tienen principalmente 2 organizaciones de referencia, una es la International Electrotechnical Commission (IEC), otra es la International Organization for Standardization (ISO); también se toma como referencia a las normas IEEE. La IEC tiene comités específicos, el TC82 se encarga del tema conversión de energía solar fotovoltaica, éste comité se relaciona con el TC21 de baterías y con el TC47 de dispositivos semiconductores. La organización IEEE dispone de las normas IEEE Std 929 y la IEEE 1547 aplicables a energía fotovoltaica.

En Argentina la norma IRAM 2100 para la

conversión solar fotovoltaica establece los componentes de las SFV conectadas a la red y los ensayos de laboratorio correspondientes.

En Paraguay no se ha encontrado normativa específica para centrales SFV con conexión a la red del SIN, se deberán adoptar las normas internacionales y las normas IRAM.

En Paraguay la ley 294/93 de Impacto Ambiental declara la obligatoriedad de realizar la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en toda modificación del medio ambiente provocada por obras o actividades humanas que tengan como consecuencia impactos positivos o negativos, de manera directa o indirecta, sobre las condiciones medioambientales. La Secretaría del Ambiente (SEAM) es la autoridad de aplicación de la ley 294/93, su modificación por ley 345/94 y su decreto reglamentario.

Para el proyecto de la Central SFV además debe tenerse en cuenta el Decreto 10.071/2007 denominado “Norma que fija los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la Exposición de las Personas a las Radiaciones No Ionizantes (RNI)”, es de carácter obligatorio para proyectos que generen campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de frecuencias que van desde 0 Hz hasta 300 Hz y que interactúen con seres humanos.

5. Conclusiones

La central SFV planteada tendría una potencia total instalada de 11,22 MWp, con una posible generación de 15.867 MWh/año de energía eléctrica, con conexión a la Subestación Transformadora Cambyretá de la ANDE, para exportar por la interconexión Encarnación-Posadas toda la energía producida.

Un proyecto así diversificaría la matriz energética del país, en el sector de energía no convencional, como lo define la ley 3009/06, y

se aseguraría una fuente de abastecimiento eficiente y sustentable ambientalmente, necesaria según el panorama deficitario en la generación en un futuro no muy lejano.

Una central de este tipo permitiría impulsar la tecnología solar fotovoltaica y desarrollar la industria de los componentes fotovoltaicos, demandaría mano de obra de técnicos y profesionales e impulsaría la industria e insumos del sector, contribuyendo al desarrollo socioeconómico.

Las características 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 una central SFV al sistema eléctrico del país SIN.

6. Referencias

- [1] VMME Vice Ministerio de Minas y Energía Paraguay.
- [2] Fundación Bariloche, *Prospectiva Energética del Paraguay 2013-2040*, 2016.
- [3] INTN, Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, Paraguay.
- [4] GIZ, Cooperación Alemana para el Desarrollo, APER, Asociación Paraguaya de Energías Renovables.
- [5] O. Perpiñan. *Energía Solar Fotovoltaica*, 2013.
- [6] J. Duffie, W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2006.
- [7] M. Ipbal, *An Introduction to Solar Radiation*, 1983.
- [8] G. Abal, V. Durañona, *Manual Técnico de Energía Solar Térmica*, 2013.
- [9] OLADE, *Estado Actual de la Energía Solar Fotovoltaica en Latinoamérica y el Caribe*, 2015. -