

Caracterización de un sistema fotovoltaico de 3,3 kW interconectado a la red eléctrica del CERT-UNJBG, Tacna: octubre 2016 – octubre 2017

Characterization of a 3.3 kW photovoltaic system interconnected to the CERT-UNJBG electrical network, Tacna: October 2016 - October 2017

¹ Carlos Polo Bravo, ² Hugo Torres Muro, ³ Alessandro De La Gala Contreras.

RESUMEN

Se presenta los resultados experimentales obtenidos con el sistema solar fotovoltaico de 3,3 KW interconectado a la red eléctrica del Centro de Energías Renovables (CERT) de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú, para el periodo octubre 2016 a octubre 2017, el cual viene funcionando desde junio de 2014 en marco de operación académica entre la Universidad de Jaén-España y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG), bajo la ejecución del proyecto de investigación EMERGIENDO CON EL SOL (PES), bajo el objetivo de generar y monitorear la energía eléctrica usando como fuente energética la energía del sol, a través de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica de 3,3 kW de potencia, suministrando energía a 220 VAC, 60 Hz a la red eléctrica de la Ciudad Universitaria de la UNJBG, caracterizándolo integralmente bajo las condiciones meteorológicas ambientales y de irradiancia solar de la ciudad de Tacna.

El sistema generó la potencia máxima el 16 de octubre de 2016 equivalente a 3043 W, la energía máxima el 21 de enero de 2015 equivalente a 21 kWh, desde su instalación en diciembre de 2014 al 09 de noviembre de 2017 el sistema ha funcionado continuamente 21471 horas.

La producción energética en el 2014 fue de 526 KWh, de 5230 KWh el 2015, de 5205 KWh el 2016 y de 4280 KWh al 09 de noviembre de 2017, generando en total 15242 KWh, significando a la UNJBG un ahorro monetario de S/ 7797,2 por el concepto de ahorro del consumo de energía eléctrica. La eficiencia promedio anualizada es del 13.75 %, los paneles fotovoltaicos alcanzaron su máxima temperatura superficial de 51.3 °C en enero (verano) y la mínima de 41.8 en junio (invierno) a valores de temperatura ambiental de 30.1 y 20.5 °C, respectivamente.

Palabras clave: conexión a la red, sistema fotovoltaico, producción de energía eléctrica

ABSTRACT

The experimental results obtained with the 3,3 KW photovoltaic solar system interconnected to the electricity network of the Center for Renewable Energies (CERT) of the Jorge Basadre Grohmann National University of Tacna, Perú, for the period October 2016 to October 2017, are presented. It has been operating since June 2014 in the framework of academic operation between the University of Jaen-Spain and the National University of Engineering (UNI) Jorge Basadre Grohmann National University (UNJBG), under the execution of the research project EMERGING WITH THE SUN (PES), under the objective of generating and monitoring the electrical energy using the sun's energy as an energy source, through a photovoltaic system of interconnection to the power grid of 3,3 kW of power, supplying power at 220 VAC, 60 Hz at the electrical network of the University City of the UNJBG, characterizing it integrally under the environmental and solar irradiance weather conditions of the city of Tacna.

The system generated the maximum power on October 16, 2016 equivalent to 3043 W, the maximum energy on January 21, 2015 equivalent to 21 kWh, since its installation in December 2014 to November 09, 2017 the system has continuously operated 21471 hours.

Energy production in 2014 was 526 KWh, 5230 KWh in 2015, 5205 KWh in 2016 and 4280 KWh as of November 9, 2017, generating a total of 15242 KWh, meaning to the UNJBG a monetary saving of S/. 7797, 2 for the concept of saving electricity consumption. The annualized average efficiency is 13,75%, the photovoltaic panels reached their maximum surface temperature of 51,3 °C in January (summer) and the minimum of 41,8 in June (winter) at ambient temperature values of 30,1 and 20,5 °C, respectively.

Keywords: grid connection, photovoltaic system, electric power production

¹Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. E-mail: polodomando@gmail.com

²Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. E-mail: hugotorres@hotmail.com

³Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú. E-mail: 29291@gmail.com

1. INTRODUCCION

La generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos (SFV) es importante, confiable y puede contribuir de manera significativa la reducción de emisiones de CO₂ (Nawas y Tiwari, 2006). La Agencia Internacional de Energía (AIE) ha publicado su informe “2014 Snapshot of Global PV Markets”, donde indica que el mercado fotovoltaico mundial ha tenido un fuerte crecimiento, multiplicándose por un factor de 100 durante el periodo 2000 – 2014, llegando a 178 GW de capacidad instalada, como consecuencia de las políticas de promoción implementadas por diversos países desarrollados que han impulsado la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica (SFVCR). (Solar Power Europa, 2015) (Sidrach-de-Cardona M, López L. Mora, 1999), J.P. Vargas, B. Goss, R. Gottschalg, (2015)

A finales del 2017 en el Perú, la capacidad fotovoltaica instalada a nivel de grandes plantas solares fotovoltaicas interconectados al Sistema Eléctrico de Interconexión Nacional (SEIN) es de 100 MW, tales como la de Majes Solar 20T de 20 MW y Repartición Solar 20T de 20 MW en Arequipa, Tacna Solar 20TS de 20 MW en Tacna, Panamericana Solar 20TS de 40 MW en Moquegua (OSINERGMIN, 2015). En la región Tacna además se tiene instalado más de 3000 paneles fotovoltaicos con potencias entre 50 a 100Wp en la zona altoandina de mayor pobreza bajo un programa regional de electrificación rural de la región Tacna (Polo C., 2009). El proyecto “EMERGIENDO CON EL SOL” (PES) se ejecuta bajo convenio institucional entre la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG), la Universidad Nacional de Ingeniera (UNI) y la Universidad de Jaén- España, en esta marco se han instalado tres sistemas fotovoltaicos similares en La UNI- Lima, UNSA-Arequipa y en la UNJBG-Tacna e efectos de la evaluación y caracterización de sus principales parámetros de funcionamiento bajo las condiciones ambientales de cada lugar, razón por la cual se presenta los principales resultados del Sistema para el periodo octubre 2016 a octubre 2017.

El potencial energético solar de la región Tacna sobre una superficie horizontal, calculada sobre la base de datos de las horas de sol por día (heliofonía) en valores promedios mensuales y anuales registrados por el Senamhi, para el periodo 2006 al 2011, en ocho lugares de registro de la región en el ámbito de sus cuatro provincias es de (6,04 ± 0,36) kWh/m²día (Polo C., 2012), para valores de irradiancia solar global sobre una superficie horizontal, para el periodo del 2002-2006 al 2011, observándose que la irradiancia solar máxima se da en enero (verano) y la mínima en julio (invierno), dependiendo de las condiciones meteorológicas estacionales (Tabla 1)(Figura 1).

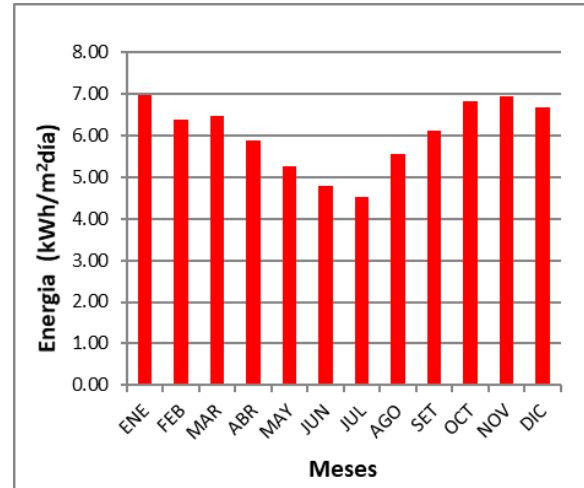


Figura 1. Irradiancia solar de la región Tacna, correspondiente al periodo 2002-2006 al 2011, en valores mensuales promedios de la energía solar sobre una superficie horizontal.

Fuente: (Polo C., 2012)

Tabla 1. Valores mensuales de la energía solar promedio en KWh/m²día anualizada al periodo 2002-2006 al 2011, sobre una superficie horizontal en la región Tacna

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
6.98	6.40	6.48	5.89	5.26	4.80	4.53	5.57	6.13	6.82	6.95	6.69

Fuente: (Polo C., 2012)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema fotovoltaico instalado

Todo sistema solar fotovoltaico convierte la energía electromagnética solar en energía eléctrica en voltaje directo o continuo, el inversor DC/AC, convierte la energía eléctrica en voltaje directo (12 -18 V DC) a voltaje alterno (220 V AC/60 Hz) la cual se entrega a la red eléctrica para el uso correspondiente (C. Polo. 2016), (M. Cucumo et al., 2006).

El SFVCR está instalado en el techo del Centro de Energías Renovables de Tacna de la UNJBG, Tacna; constituido por doce paneles FVs con una superficie de 19,8 m² y capacidad instalada de 3,3 kWp. Los módulos FVs son de la marca SolarWorld, modelo SW275, cada uno de potencia nominal de 275 Wp constituidos por 60 celdas solares de silicio monocristalino, con eficiencia nominal de 16.2 % en condiciones estándar de ensayo conectadas en serie. Los módulos están instalados libres de sombra, inclinados 19.5° latitud sur, orientación norte. El techo del CERT se encuentra 5 m de altura y la estructura metálica que soporta los módulos está a una altura de 0,2 m respecto del techo.

El inversor monofásico Steca, modelo Colcept-x 3010x, es utilizado para transformar la corriente continua (DC) proveniente de los paneles FVs en corriente alterna 220 AC, 60 Hz, la cual se inyecta a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, con eficiencia nominal de 98.6% y potencia máxima de salida en corriente alterna (CA) de 3000 W (Figura 2).

La medición de temperatura superficial del módulo FV, se realiza mediante un el sensor Pt 100, precisión de $\pm 0,8$ °C. La temperatura ambiente fue medida por el sensor Pt 100 con una precisión de ± 0.8 °C. El Sistema cuenta con sistema de pozo a tierra para la protección eléctrica correspondiente.

Las especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos e inversor se muestran en la Tabla 2.



Figura 2. Sistema Fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la Ciudad Universitaria de la UNJBG, en el techo del CERT e inversor inteligente DC/AC e interfaces de sensores

Monitoreo y adquisición de datos

El sistema de control y adquisición de datos del Sistema solar fotovoltaico interconectado a la red eléctrica (SFVCR) está constituido por: 1) módulo Eos-Array, el cual tiene funciones de medida y control divididas en tres módulos: a) VMU-M, módulo maestro y registro de datos, b) VMU-S, unidad de medición de string, mide la intensidad de la corriente continua (CC), voltaje, potencia y energía del sistema fotovoltaico y c) VMU-P, unidad de variables ambientales que mide temperatura del panel fotovoltaicos, temperatura ambiental e irradiancia solar, 2) inversor StecaGrid 3010, que mide y almacena datos del rendimiento energético, 3) contador y analizador de energía, mide la energía activa y reactiva del sistema, 4) convertidores de comunicación y 5) computador para almacenamiento y transferencia de datos (E. Kymakis & S. Kalykikis, 2009), (I. Nawaz & G. Tiwari, 2006).

Tabla 2. Características eléctricas y geométricas de los paneles fotovoltaicos

MODULO FOTOVOLTAICO	VALOR	UNIDAD
Silicio monocristalino		
Eficiencia nominal	16.40	%
Potencia máxima (P _{max})	275	Watts
Voltaje de máxima potencia (V _{mp})	31.0	Voltios
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	8.94	Amperios
Voltaje en circuito abierto (V _{oc})	36.1	Voltios
Corriente en corto circuito	7.75	Amperios
Tolerancia	± 2	%
Área de los módulos	19.8	m ²
Número de módulos	12	
TONC	46	°C

Para recepcionar las señales de los sensores y de los equipos se utiliza la interface RS485, para la conexión con el computador se usó los convertidores de comunicación SIU-TCP2 (RS485 a TCP/IP) y SIU-PC2 (RS485 a RS232). Los datos son registrados cada 15 segundos, al mismo tiempo que son almacenados y visualizados en tiempo real en el computador, a través de una interface diseñada en LabVIEW. También se realiza el almacenamiento de datos basado en redes de computadoras, la cual se accede por la Web de internet (E. Lorenzo, 1994), (L. Castañer, 1994) (Figura 3).



Figura 3. Arquitectura del Sistema de monitorización para el registro, almacenamiento y transferencia de datos del sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica (SFVCR) del CERT.

3. RESULTADOS

Rendimiento energético del sistema

Para el periodo de evaluación, se muestra la relación de potencias incidente diaria de la irradiancia solar incidente (W) sobre los paneles fotovoltaicos, igualmente la potencia promedio en voltaje continuo (12 V, DC) proveniente de los paneles fotovoltaicos y la potencia activa entregada por el inversor a la red eléctrica a 220 VAC, 60 Hz, la gran diferencia entre la energía recibida por el sol y la energía entregada por el inversor a la red eléctrica, se debe a que la eficiencia nominal de los paneles fotovoltaicos es del orden del 16,43 %, el cual se ve disminuida por el incremento de la temperatura de los paneles, a las pérdidas óhmicas en los cables de conexión eléctrica, pérdidas en el sistema de conversión DC a AC en el inversor, entre otros, la diferencia entre la potencia de los paneles y la potencia activa del inversor es mínima, con lo que podemos afirmar que el inversor es un sistema de alta eficiencia en el proceso de conversión del voltaje DC/AC (Figura 4).

Caracterización de un sistema fotovoltaico de 3,3 kw interconectado a la red eléctrica del CERT-UNJBG, Tacna: octubre 2016 – octubre 2017

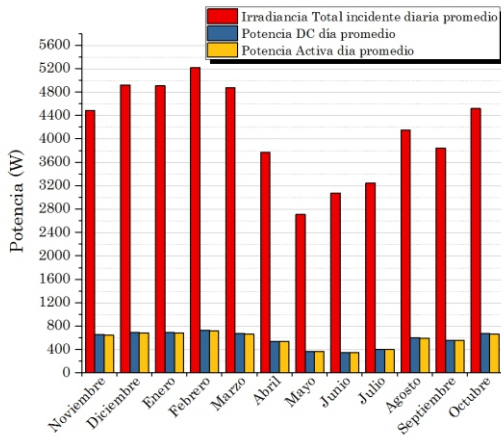


Figura 4. Gráfica de la relación entre la potencia diaria incidente sobre los paneles, la potencia en DC promedio generada por los paneles y la potencia en AC activa entregada a la red eléctrica Universitaria, periodo 2016-2017.

Eficiencia del Sistema fotovoltaico

Asimismo, se ha evaluado la variación de la eficiencia energética total del sistema fotovoltaico en el periodo indicado, alcanzando valor máximo de 14.74 % en octubre de 2017, disminuyendo ligeramente en noviembre y diciembre de 2016, que son los meses de mayor irradiancia solar y temperatura ambiente, en los cuales la superficie de los paneles fotovoltaicos alcanzan valores máximos, y valores mínimos de 11.45% en junio del 2017, que corresponde al mes de menor irradiancia solar y menor temperatura ambiental de los paneles fotovoltaicos (Tuza A., Mahianddline E. 2014), (Solar Power Europe, 2015), (Figura 5).

Igualmente se ha calculado la pérdida de energía en el inversor, la cual es mínima al convertir la energía proveniente del sistema fotovoltaico en voltaje continuo y entregarla a la red eléctrica en voltaje alterno, lo que nos indica que el conversor tiene buena eficiencia de conversión, los resultados son para el periodo abril 2015 a octubre 2017 (Figura 6), la variación es entre el 98 y 99 %, estos valores nos indica que la eficiencia es independiente de los parámetros meteorológicos de la zona y del nivel de irradiancia solar global incidente sobre los paneles.

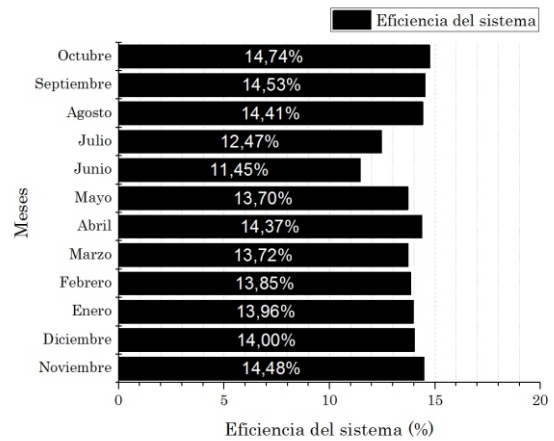


Figura 5. Variación de la eficiencia total del sistema fotovoltaico para el periodo octubre 2016–noviembre 2017.

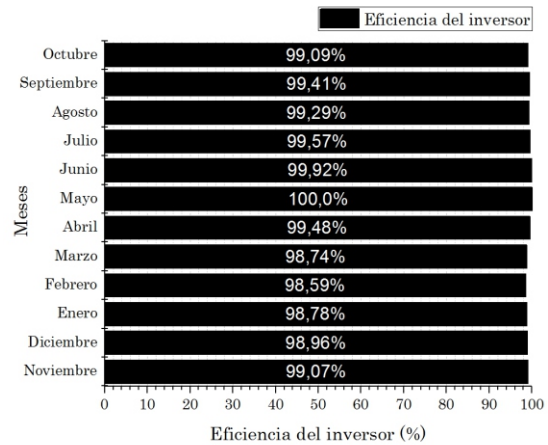


Figura 6. Eficiencia de conversión energética del inversor, periodo octubre 2016–octubre 2017

Temperatura de los módulos fotovoltaicos y ambiental

La variación de la temperatura del panel o modulo fotovoltaico para el periodo específico, para cualquier mes del año, la temperatura superficial del panel módulo es mayor que le temperatura ambiente, los valores mensuales de estos parámetros en promedio; la diferencia es del orden de 4 °C, alcanzando valores máximos en enero y marzo de 30.5 °C para el módulo y 26.5 °C la del ambiente, en tanto que los valores mínimos lo alcanza en julio de 2017, iguales a 19,4 °C y 16,2 °C, respectivamente (Figura 7).

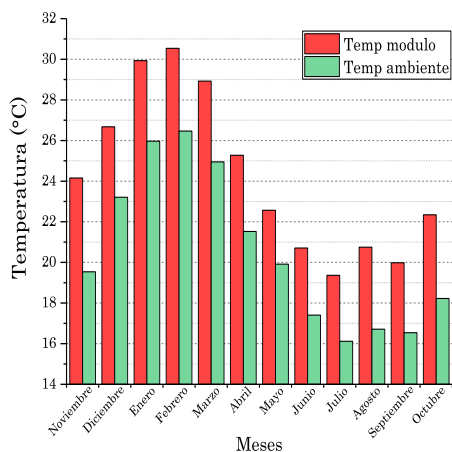


Figura 7. Variación de la temperatura superficial del módulo fotovoltaico y ambiental, periodo octubre 2016 – octubre 2017

En la figura 8, se muestra la variación de temperatura promedio diaria para junio 2017 (invierno) de menor irradiancia solar y temperatura ambiente y en la Figura 9 para enero 2017 (verano) de mayor irradiancia solar y temperatura ambiente, en julio durante el día la temperatura ambiente alcanza un valor máximo de 20,5 °C y la del módulo 41.8 °C, el incremento es de 20.3 °C, durante la noche el módulo se enfría más que el ambiente en 1.8 °C, la cual se debe a las partes metálicas y sólidas del módulo. En enero 2017 la temperatura máxima del módulo es mucho mayor que la de julio igual a 51.2 °C, en tanto que la ambiental alcanza el valor máximo de 30.7 °C, con un incremento de 19.5 °C. La temperatura que alcanza el módulo influye en la eficiencia del sistema fotovoltaico, siendo menor a la nominal (Hubelin H., 2012), (Zakai S., 2009).

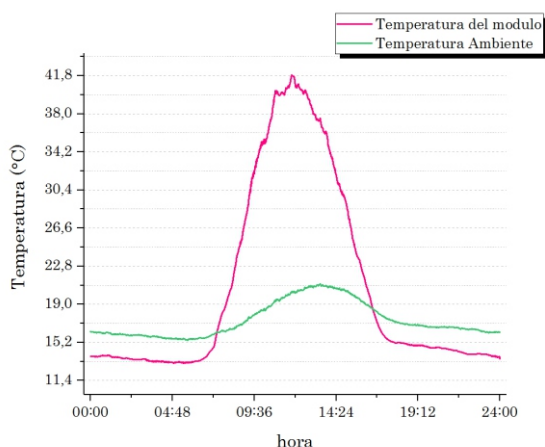


Figura 8. Variación de la temperatura promedio diaria superficial del módulo fotovoltaico y la del ambiente, para junio 2017, invierno.

Energía mensual producida por el sistema fotovoltaico

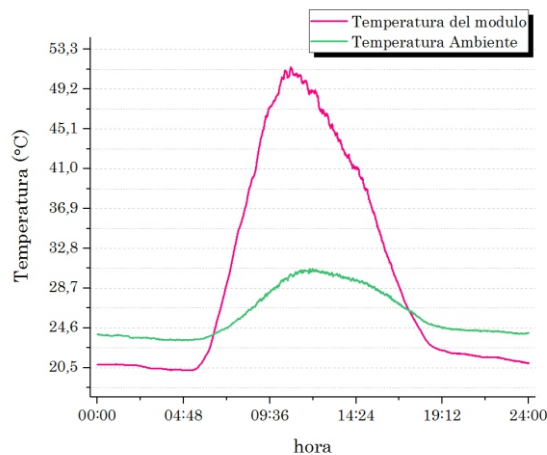


Figura 9. Variación de la temperatura promedio diaria superficial del módulo fotovoltaico y la del ambiente, para enero 2017, verano

En la tabla 3, se consignan los valores de la energía mensual producida por el sistema fotovoltaico y la entregada a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, desde enero 2015 a noviembre de 2017. En la figura 10 se muestra el gráfico correspondiente en la cual se puede visualizar que los meses de mayor producción energética se da en los meses de verano, en enero; 532 kWh y marzo: 528 kWh, se repite para los años 2015 y 2016, los meses de menor producción energética se da junio: 239 kWh tanto en el 2015 y 2016 correspondiente al invierno; la producción energética está en función directa con la energía incidente de la irradiancia solar sobre la ciudad de Tacna.

Tabla 3. Energía mensual producida por el sistema fotovoltaico y entregada a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, periodo enero 2015 – noviembre 2017

MES/AÑO	ENERGÍA (KWh)	MES/AÑO	ENERGÍA (KWh)	MES/AÑO	ENERGÍA (KWh)
ENE2015	523	ENE2016	542	ENE2017	514
FEB2015	495	FEB2016	453	FEB2017	485
MAR2015	528	MAR2016	535	MAR2017	511
ABR2015	401	ABR2016	426	ABR2017	437
MAY2015	357	MAY2016	345	MAY2017	275
JUN2015	239	JUN2016	299	JUN2017	254
JUL2015	310	JUL2016	340	JUL2017	300
AGO2015	417	AGO2016	405	AGO2017	444
SET2015	149	SET2016	459	SET2017	401
OCT2015	467	OCT2016	468	OCT2017	511
NOV2015	468	NOV2016	469	NOV2017	143
DIC2015	244	DIC2016	487		

En todo el periodo de funcionamiento el sistema generó una potencia máxima el 16 de octubre de 2016 igual a 3043 W, la energía máxima producida fue el 21 de enero de 2015 equivalente a 21 kWh, desde su instalación en diciembre de 2014 al 09 de noviembre de 2017 el sistema ha funcionado continuamente 21471 horas.

Caracterización de un sistema fotovoltaico de 3,3 kw interconectado a la red eléctrica del CERT-UNJBG, Tacna: octubre 2016 – octubre 2017

El rendimiento energético en el 2014 fue de 526 KWh, 5230 KWh el 2015, 5205 KWh el 2016 y de 4280 KWh al 09 de noviembre de 2017, en dicho periodo ha generado 15242 KWh lo que indica que la UNJBG en el periodo indicado a ahorrado S/.7797.2 por el concepto de ahorro del consumo de energía eléctrica.

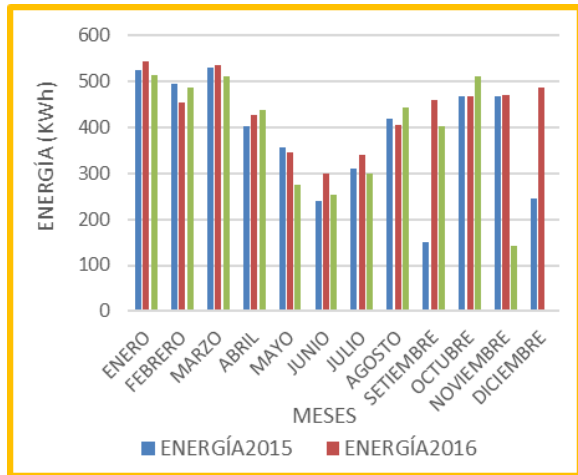


Figura 10. Energía mensual producida por el sistema fotovoltaico y entregada a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, periodo enero 2015 – noviembre 2017.

En la figura 11, se muestra la producción energética anualizada del sistema, observándose que la diferencia entre los años 2015 y 2016 es de tan solo 25 KWh, con una variación interanual de 0.48 %, debido a que las condiciones ambientales, meteorológicas e irradiancia sobre de la ciudad de Tacna varían anualmente.

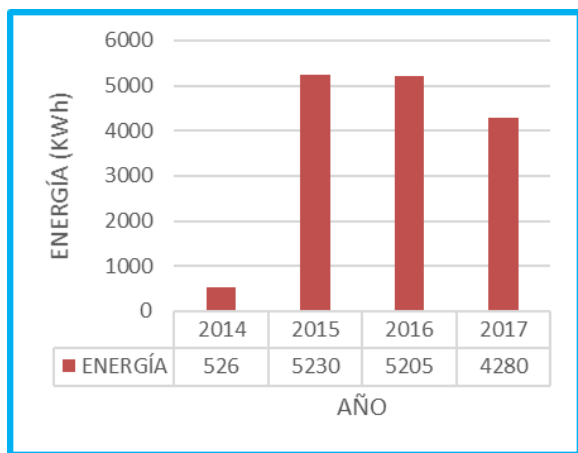


Figura 11. Producción energética anualizada desde diciembre 2014 a noviembre 2017 por el sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, Tacna

CONCLUSIONES

Según la evaluación y caracterización realizada al SFVCR instalado en el CERT de la FACI con una potencia nominal de 3,3 kW, se concluye que, bajo las

condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna, la energía generada desde diciembre de 2014 al 06 de noviembre de 2017 fue de 15242 KWh, significando a la UNJBG un ahorro monetario de S/ 7797.2 por el pago mensual de energía eléctrica.

Desde enero de 2015 a octubre de 2017 ha generado en promedio de 420.43 KWh por mes, con valor máximo de 423 KWh en enero de 2015 y valor mínimo de 299 KWh en junio de 2016.

La energía promedio mensual generada equivale al consumo de energía eléctrica mensual de tres a cuatro familias de la zona urbana de la ciudad de Tacna.

La eficiencia nominal de los paneles fotovoltaicos es de 16,42 % a 1000 W/m² y 25 °C, la del SFVCR instalado es menor variando entre 11 y 15.7 %, determinándose que esta depende del nivel de irradiancia incidente, temperatura ambiente y superficial de los módulos, inclinación de los paneles, pérdidas óhmicas en los conectores eléctricos y al polvo depositado sobre la superficie de los paneles.

La temperatura máxima de los módulos en los meses de verano alcanza valores de hasta 53 °C y en los meses de invierno hasta 42 °C, siempre superiores a los valores de la temperatura ambiente, que influye en la eficiencia de conversión de los módulos, la cual es menor a la eficiencia nominal.

La eficiencia del inversor StecaGrid 3010x es muy buena variando entre el 98.5% y el 99.8%, lo que indica que casi toda la energía en voltaje continuo proveniente de los paneles fotovoltaicos es convertida a energía eléctrica en corriente alterna.

Los meses de mayor producción energética se da en los meses de verano de cada año y la de menor producción se da en los meses de junio o julio, está en relación directa con la irradiancia solar incidente sobre la ciudad de Tacna, al cual a su vez depende de las condiciones meteorológicas locales.

Los resultados obtenidos con el SFVCR en cuanto a producción de energía eléctrica en corriente alterna a 220 V mensual y anual, a la alta eficiencia del inversor de voltaje, al alto potencial energético solar regional, nos demuestran la alta viabilidad técnico-científica del uso masivo de estos sistemas a diferentes escalas en el ámbito local, regional y nacional.

REFERENCIAS

CASTAÑER, Luis. (1994). Energía Solar Fotovoltaica, Ediciones UPC, Barcelona, España.
 CUCUMO M, et al. (2006). Performance analysis of a 3 kW grid-connected photovoltaic plant. *Renew Energy Vol. 31* N° 8, pp 1129–1138.
 HABERLIN, Heinrich. (2012). Photovoltaics System

- Design and Practice, *Jhon Wiley Sons Ltd. Primera Edición*; Publication, United Kington.
- Informe técnico del avance del PEL-UNJBG, (2016), Proyecto Emergiendo con el Sol (PEL), *Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna*, Perú.
- J.P. Vargas, B. Goss, R. Gottschalg. (2015). Large scale PV systems under non-uniform and fault conditions, *Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST), School of Electronic, Electrical and Systems Engineering, Loughborough University*, England, United Kingdom
- KYMAKIS E, Kalykakis S. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete, Grecia.
- LORENZO, Edurado et al. (1994). *Electricidad Solar, Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos, Progenssa*, España.
- NAWAZ I, Tiwari G. N. (2006). Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro - and micro-level.
- OSINERGMIN, (2014), Información del Proyecto R E R , https://srvgart.osinergmin.gob.pe/sisrer-web/proyectoController/rer_subasta
- POLO, Carlos, (2016), Evaluación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica de la ciudad universitaria de la UNJBG, *XXIII Simposio Peruano de Energía Solar*, Huancayo, Perú.
- POLO, Carlos. (2012). Potencial energético solar y su impacto ambiental sobre la región Tacna, *Tesis de maestría, Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG)*, Tacna, Perú.
- SIDRACH-de-Cardona M, López L. Mora. (1999). Performance analysis of a grid connected photovoltaic system. *Energy Vol 24*, N° 2, pp 93–102.
- Solar Power Europe, (2015), *Global Market Outlook For Solar Power: 2015 – 2019*, pp. 32
- TUZA A. Olukan, Mahieddine Emziane. (2014). A Comparative Analysis of PV Module Temperature Models, *Solar Energy Materials and Devices Laboratory, Masdar Institute of Science and Technology*, Masdar City, Abu Dhabi, UAE
- ZEKAI Sen, (2009). *Solar Energy Fundamentals and Modeling Thecniques: Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*, Editorial Springer-Verlag London Limited, Reino Unido.