

# Evaluación de los factores técnicos y climáticos para elaborar una propuesta de diseño de sistema de paneles solares fotovoltaicos para uso doméstico en la ciudad de Iquitos

## Assessing technical and climatic factors to formulate a proposal for photovoltaic solar panels design for domestic use in the city of Iquitos

Rafael Trigoso-Vásquez<sup>1</sup>, Eleodoro Córdova-Ramírez<sup>2</sup>, Luis Gómez-Tuesta<sup>3</sup>, Juan Manuel Rojas-Amasifén<sup>3</sup>, César Augusto Sáenz-Sánchez<sup>3</sup>, Jorge Ronal Sandoval-Del Águila<sup>3</sup>, Herman Raúl Guimet-Soto<sup>3</sup> y Saron Quintana-Vásquez<sup>4</sup>

Recibido: diciembre 2015

Aceptado: diciembre 2015

### RESUMEN

Es posible transformar la energía lumínica del sol en energía eléctrica que podría ser aprovechada en beneficio de la población urbana, para lo cual es necesario evaluar los factores técnicos y climáticos involucrados que permitan elaborar una propuesta de diseño de sistema de paneles solares fotovoltaicos para uso doméstico. La evaluación se llevó a cabo en cuatro puntos de observación en la ciudad de Iquitos, entre los años 2013 y 2015. Se determinó que los paneles monocristalinos tienen más rendimiento (75%) que los paneles policristalinos (67%); los rangos de irradiancia relevantes estacionales en Iquitos en el periodo de creciente de los ríos (enero-abril) fueron de 0,785-1,052 kW/m<sup>2</sup> en 2014 y de 0,497-1,212 kW/m<sup>2</sup> en 2015, mientras que en periodo de vaciante de los ríos (mayo-diciembre) fue de 0,782-1,052 kW/m<sup>2</sup> en 2014; la disponibilidad de irradiancias incidentes netas en periodo de creciente de los ríos (enero-abril) tuvo un rango de 0,7042-0,9472 kW/m<sup>2</sup> en 2014 y 0,448-1,091 kW/m<sup>2</sup> en 2015, mientras que en periodo de vaciante de los ríos (mayo-diciembre) el rango fue de 0,711-0,947 kW/m<sup>2</sup> en 2014; se encontró una correlación directa entre la irradiancia incidente en días soleados con cielo despejado y el área de paneles con la energía eléctrica generada por los sistemas fotovoltaicos a través de rangos de irradiancia incidente neta (IIN); en cuanto a periodos y áreas efectivas de captación de energía fotovoltaica, se encontraron variaciones cuantitativas atípicas durante dieciséis meses de observación, siendo el rango de 0,408-6,834 kW/m<sup>2</sup>. Se diseñaron, experimentaron y validaron tres modelos considerados como propuestas de diseños de sistemas fotovoltaicos desde 40 W hasta 920 W.

**Palabras claves:** sistema de paneles solares fotovoltaicos, paneles monocristalinos, irradiancia, Iquitos, Maynas, energía eléctrica, región Loreto.

### ABSTRACT

The sun light energy can be transformed into electric power which could be used in benefit of the urban population. Assessing the technical and climatic factors involved will allow preparing a proposal of a solar photovoltaic panel system design for domestic use. The assessment was carried out in four observation points in the city of Iquitos, between 2013 and 2015. Results show that monocrystalline panels yielded more than the polycrystalline panels (75% and 67%, respectively); the relevant seasonal irradiance in Iquitos in the flood season (January-April) ranged from 0,785 to 1,055 kW/m<sup>2</sup> in 2014 and from 0,497 to 1,212 kW/m<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Las Castañas 271, Iquitos, Loreto, Perú. rafael\_trigoso@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Química. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos, Loreto, Perú.

in 2015 and in the drought season (May-December) ranged from 0,782 to 1,052 kW/m<sup>2</sup> in 2014; the net incident irradiation availability during the flood season (January-April) ranged from 0,704 to 0,947 kW/m<sup>2</sup> in 2014 and from 0,448 to 1,091 kW/m<sup>2</sup> in 2015, while in the drought season (May-December) ranged from 0,711 to 0,947 kW/m<sup>2</sup> in 2014; a direct correlation was found between the irradiance incident on sunny days with clear skies and the panel area with the electric power generated by the photovoltaic systems through net incident irradiance (IIN); in terms of periods and effective areas of photovoltaic energy collection, atypical quantitative variations were found during sixteen months of observation, ranging from 0,408 to 6,834 kW/m<sup>2</sup>. Three models of proposal of photovoltaic systems from 40 W to 920 W were designed, tested and validated.

**Key words:** photovoltaic solar panels system, monocrystalline panels, irradiance, Iquitos, Maynas, electric power, Loreto region.

## INTRODUCCIÓN

El interés por el presente proyecto surge ante una necesidad actual que afronta la sociedad de buscar y seleccionar nuevas fuentes de energía que sean naturales, renovables y no contaminantes, y mitigar y prevenir causas que originan el cambio climático global y afectan la biodiversidad amazónica; tendencia que es global y que en particular está inmersa la ciudad de Iquitos.

Según el Ministerio de Energía y Minas (2001), la explotación de la energía solar se da en la producción de calor a bajas temperaturas, para electricidad en el sector residencial, comercial y de infraestructura social, entre otros rubros. En el 2013, en el marco del XX Simposio Nacional de Energía Solar y Recursos Renovables, Tacna, en visitas efectuadas a Tacna y Moquegua, se observó que en esta parte del país existen centrales de energía eléctrica provista por sistemas de paneles fotovoltaicos; mientras que en el 2014, al norte del Perú, en el marco del XXI Simposio Nacional de Energía Solar y Recursos Renovables, Piura, se observó que posee una central de energía eólica, que provee a usuarios de la zona con energía eléctrica, y que en ambos casos usan su potencial de energía renovable.

La ciudad de Iquitos, capital de la región Loreto, tiene una ubicación aislada de las demás ciudades y capitales de departamentos

y pueblos, siendo cara la energía producida, razón por lo que es subsidiada por un fondo de solidaridad (FOSE) (Electro Oriente, 2015).

El Centro de Energías Renovables (CER-UNI) de la Universidad Nacional de Ingeniería está ejecutando desde 1996 un proyecto piloto de electrificación en la comunidad insular de Taquile en el lago Titicaca y lleva instalado 427 paneles que funcionan a la fecha (Horn, 2006).

Desde varios años existe el proyecto de GEF-MEM “Electrificación rural sobre la base de energía fotovoltaica en el Perú”, con 7500 sistemas fotovoltaicos, en su mayoría domiciliarios en diferentes regiones del país, en especial en la selva (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, 2011).

Sustainable Asset Management (SAM), como empresa independiente, se estableció y se enfocó en el uso de la energía solar en el Perú (SAM, 2013).

Según Antony *et al.* (2006), con una planta fotovoltaica se reduce la emisión de CO<sub>2</sub> y se promueve el uso de energía renovable, se reduce la contaminación, se respeta la protección del medio ambiente, y se crea un valor agregado al edificio. Asimismo, precisan que la eficiencia de módulo en celdas monocristalinas es de un 13-17%, mientras que en celdas policristalinas es de un 11-15%.

También afirman que “La potencia y la intensidad de corriente de una celda dependen directamente de la radiación incidente, y que el voltaje apenas varía”.

Grossi (1998) sostiene que las horas efectivas se consiguen sumando los trazos obtenidos durante el día en una banda de registro de un heliógrafo. Usando fuentes de información y *software* diversos, se encontró el modelo teórico lineal que correlaciona la irradiancia y los factores climáticos y técnicos, que tiene por ecuación  $Y = 0,0061 + 2,02996 X$  (Spiegel, 1970; García, 1991; Senamhi, 2014-2015; Excel Microsost, 2013).

## MATERIAL Y MÉTODO

Las coordenadas de ubicación de la ciudad de Iquitos (zona de investigación), se encontraron usando la fuente de información: (<http://www.sunearthtools.com/dp/tools/conversión.php?langg=es>, 2015).

Las coordenadas de ubicación registradas de los puntos de observación (P. O.) del proyecto de investigación en la ciudad de Iquitos, se obtuvieron usando GPS Garmin Modelo eTrex 30, Aplicativo Maverick.

### Muestras

Se tuvieron cuatro puntos de muestreo, equivalente a cuatro puntos de observación (P. O.).

### Recolección de muestras

- En los tres primeros puntos de muestreo equivalente a tres puntos de observación: 1, 2, 3, de manera visual se tomó lectura y en forma manual se registraron 1400 datos de factores técnicos y climáticos de interés de investigación y control que fueron: irradiancia incidente, voltaje, carga de conversión, temperaturas máximas y

mínimas diarias, intensidad de carga acumulada y consumo de energía, entre otros, en turnos horarios cada día, en un periodo de un año y cuatro meses.

- En el punto de observación 4 (Estación Meteorológica del P. O. “Amazonas”) Senamhi Moronacocha, Iquitos, la toma y registro de datos se realizó automáticamente, mediante lectura de sensores, procesamiento por *software* específico de las señales de satélite y arreglos e impresión en computadoras. Se efectuaron registros: 485 de irradiancias incidentes, en el periodo de un año y cuatro meses, y con 365 tomas y registros diarios de temperaturas máximas y mínimas. Senamhi participó como socio estratégico del proyecto de investigación.
- Las técnicas e instrumentos de recolección de datos fueron:
  - Técnicas: observación directa, mediciones automatizadas por sensores y *software*.
  - Instrumentos de recolección de datos: ficha de observación de factores técnicos y climáticos de control, libretas de apuntes, cámara fotográfica.

### Material

Focos LED de 5 W, focos ahorradores de 20 W, panel de control, llaves termomagnéticas, cables diversos, libretas de apuntes, fichas de observación, etc.

### Aparatos y equipos

Paneles solares de 100 W y 120 W, convertidores de corriente de CC a AC, de 350-3000 W, controladores de carga de 20 A y 30 A, voltímetros, amperímetros, watímetros, baterías de 100 A y 130 A, equipo de sonido de 750 W, TV de 32 pulgadas LED, termómetro de temperaturas máxima y mínima, GPS, laptops, computadoras, *softwares* diversos.

## Ubicación de la zona de investigación

En la figura 1 se muestra el mapa geográfico de Iquitos, zona de investigación.

## Método

### • Método científico experimental

Se aplicó el método científico exploratorio, porque se observaron, registraron y evaluaron diferentes factores técnicos y climáticos en el proceso de investigación para la transformación de energía luminosa en energía eléctrica. El diseño del estudio fue no experimental descriptivo, de correlación, prospectivo transversal, porque se estudió el comportamiento del momento de la variable independiente y su relación con la variable dependiente según un modelo matemático.

### • Procedimiento experimental

a) Se diseñaron e instalaron sistemas de paneles fotovoltaicos según el esquema de control, el cual se modificaba para cada sistema fotovoltaico desde un panel hasta ocho paneles, con los dispositivos de control de los factores técnicos y climáticos y la irradiancia

incidente, en los cuatro puntos de observación por un periodo de un año y cuatro meses.

- b) Se definió el periodo de investigación de cada sistema de paneles fotovoltaicos a investigar y se instaló el sistema de control y registro de los factores técnicos y climáticos y la irradiancia incidente diaria y se inició el control y registro de datos en forma automatizada en periodos diarios y manualmente a cada hora.
- c) Al término del periodo programado de investigación, se cambiaba el sistema fotovoltaico, si requería de mayor tiempo se extendía el periodo.
- d) Se repetían los pasos anteriores.
- e) Se procesaron los datos, estudiando el comportamiento de la interrelación de las variables de investigación, que fueran típicas y atípicas, etc.
- f) Se encontraron resultados.
- g) Análisis de datos: para procesar, comparar, correlacionar, observar comportamientos normales o típicos y atípicos de tendencias de datos de factores técnicos y climáticos, se usó *software* especializado (Senamhi), hoja electrónica de Excel de Microsoft 2013 y fuentes de referencias bibliográficas, calculadoras, computadoras.



Figura 1. Mapa geográfico de la ciudad de Iquitos (zona de investigación).

## RESULTADOS

### Anexos y tablas de investigación

**Tabla 1.** Coordenadas de ubicación de la ciudad de Iquitos (zona de investigación).

Ubicación de Iquitos, Perú	
Altitud 92 meter	
D° minuto (') segundo (") decimales (.)	_3° 44.62416666667', -73° 15.09795'
UTM	X (easting): 694167.226
(Universal Transverse Mercator)	Y (northing): 9586012.212
UTM:	18S 694167.226mE 9586012.212mN

Fuente: <http://www.sunearthtools.com/dp/tools/conversion.php?lang=es>

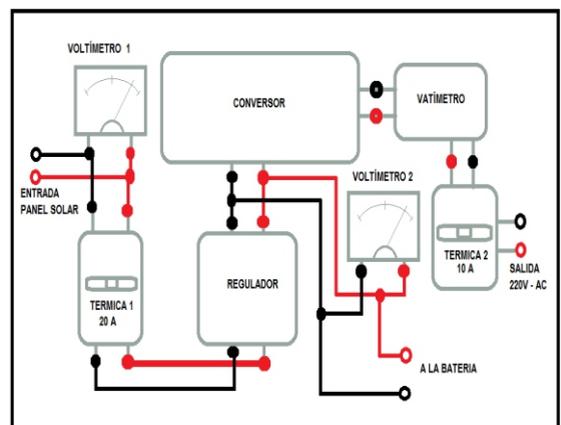
**Tabla 2.** Coordenadas de ubicación de puntos de observación.

UBICACIÓN DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN (PDO) DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN			
PDO	COORDENADAS		DIRECCIÓN
	LATITUD	LONGITUD	
PUNTO DE CONTROL 1	03°44'30" S	73°15'44" W	Calle Pebas 555, Lab. Física, tercer piso, Local Central UNAP
PUNTO DE CONTROL 2	3°44'14" S	073°15'14" W	Calle Yavarí 1622, Iquitos
PUNTO DE CONTROL 3	3°44'39,7" S	073°15'20" W	Calle Señor de los Milagros 133, Iquitos
PUNTO DE OBSERVACIÓN "AMAZONAS" - SENAMHI 4	3°44'39,7" S	073°15'47" W	Base Aérea FAP Moronacocho

Fuente: Datos obtenidos con GP S GARMIN, Mod. eTrex 30 y App. Maverick.



**Figura 2.** Paneles solares instalados en P. O. 1.



**Figura 3.** Esquema del sistema de control P. O. 1.

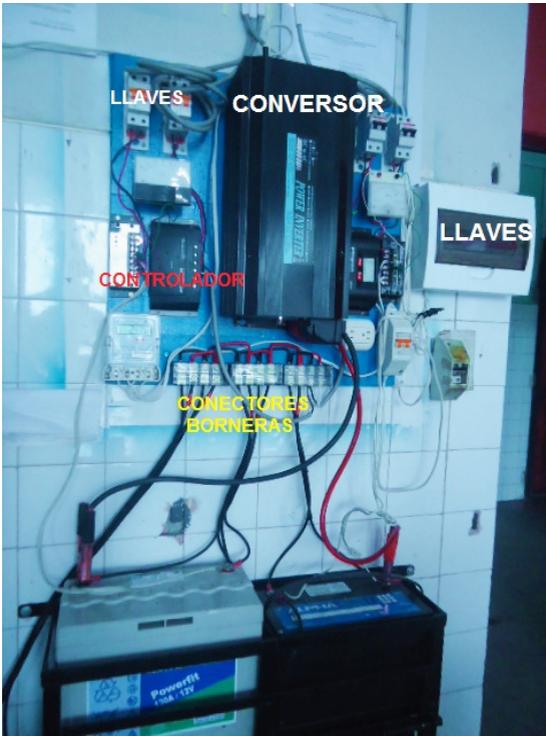


Figura 4. Panel del sistema de control P. O. 1.



Figura 5. Sistema de acumuladores P. O. 1.

Tabla 3. Principales sistemas modulares fotovoltaicos investigados.

SISTEMAS MODULARES						
SISTEMA MODULAR	PERIODO	PANELES	BATERÍAS	CONVERSORES	REGULADORES	CARGA
I	OCT.-13/ ENE.14	2 (100 W)	1 (100 Ah)	1 (600 W)	1 (20 A)	73 W
I	FEB./ABR.- 2014	2 (100 W)	1 (100 Ah)	1 (600 W)	1 (20 A)	80 W
II	MAY./JUL. - 2014	4 (100 W)	1 (100 Ah)	1 (300 W)	1 (20 A)	40 W
III	AGO./OCT- 2014	4 (100 W)	2 (100 Ah)	1 (600 W)	1 (20 A)	100 W
IV	NOV./DIC. - 2014	6 (100 W)	2 (100 Ah)	1 (900 W)	2 (20 A)	120 W
V	ENE./FEB.- 2014	6 (100 W)	2 (100 Ah)	1 (900 W)	2 (20 A + 30 A)	200 W
VI	MAR/ABRIL- 2015	8 (100 W)	4 (100 Ah)	1 (3000 W)	2 (20 A + 30 A)	980 W
VII	MAR/ABRIL- 2015	8 (100 W)	6 (100 Ah)	1 (3000 W)	2 (20 A)	1130 W

**Tabla 4.** Área efectiva de recepción de luz de paneles más usados en la región.

PANEL	POTENCIA NOMINAL	N° DE CELDAS	ÁREA DE RECEPCIÓN DE LUZ
Policristalino	120 W	72 de 11 cm X 11 cm	0,8712 m <sup>2</sup>
Monocristalino	94 W	66 de 10 cm X 10 cm	0,6338 m <sup>2</sup>

**Tabla 5.** Producción de potencia máxima de prueba de paneles según tipo de paneles y clima.

PANEL (Potencia nominal)	CONVERSIONOR	PANEL (Potencia real)	kW/m <sup>2</sup>	PRODUCCIÓN (Rendimiento) (%)	kW/m <sup>2</sup> PRODUCIDOS	kW/m <sup>2</sup>	CLIMA
1 monocristalino de 94 W	300 W	0,070 W	0,111	75	0,026	0,041	Nublado
					0,070	0,111	Soleado
					0,021	0,033	Lluvioso
1 policristalino de 120 W	300 W	0,080 W	0,082	67	0,030	0,034	Nublado
					0,080	0,092	Soleado
					0,024	0,027	Lluvioso

**Tabla 6.** Rango de irradiancia por periodos en Iquitos ( kW/m<sup>2</sup>).

IRRADIANCIA ESTACIONAL DISPONIBLE ( kW/m <sup>2</sup> )						
VALORES	CRECIENTE (lluvias) (enero-abril 2014)		VACIANTE (pocas lluvias) (mayo-diciembre 2014)		CRECIENTE (lluvias) (enero-abril 2015)	
Mín.	0,5175		0,5275		0,4425	
Prom.	0,9175		0,92125		0,855	
Máx.	1,2225		1,2		1,1325	
DesvM.	0,135		0,13125		0,3575	
RANGO	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Valores	0,7825	1,0525	0,7825	1,0525	0,4975	1,2125

**Tabla 7.** Disponibilidad de irradiancia incidente neta (kW/m<sup>2</sup>).

IRRADIANCIA INCIDENTE NETA (kW/m <sup>2</sup> )						
RANGOS	CRECIENTE (lluvias 2014)		VACIANTE (ausencia de lluvias 2014)		CRECIENTE (lluvias 2015)	
Mín.- Máx.	0,70425	0,94725	0,7110	0,94725	0,44775	1,09125

**Tabla 8.** Modelos de sistemas modulares fotovoltaicos.

Modelos de sistemas modulares fotovoltaicos experimentados						
Modelo básico 1: Noche/Día		Modelo básico 2: Noche/Día		Modelo 3: Noche/Día		
Dispositivo /Características técnicas	Carga de consumo (W)	Características técnicas	Carga de consumo (W)	Características técnicas		Carga de consumo (W)
Paneles monocristalinos (120 W)		Paneles monocristalinos (150 W)		Paneles monocristalinos (2 x 100 W + 6 x 120 W)		
Batería (100 Ah)		Batería (100 Ah)		Baterías (5 x 100 Ah + 1 x 130 Ah)		
Luces LED	40	Luces LED	≤ 40 W	1 convertidor de 3000 W		
		TV LED 32"	80 W	2 controladores 20 A y 30 A		
				Luces 10 x 20W focos ahorradores y 30 x 5 W focos LED		300 W
				1 TV LED 32", 80 W		80 W
				1 equipo de sonido x 700 W		700 W
				Tiempo de uso simultáneo		1.00 h -
						1.15 h

Fuente: P. O. 1 y P. O. 3.

**Tabla 9.** Irradiancia incidente neta (IIN) por periodos estacionales y áreas de paneles o potencia total incidente (PTI) por área de paneles (kW/m<sup>2</sup>).

	N° Paneles (kW/m <sup>2</sup> )	ÁREA (m <sup>2</sup> )	IRRADIANCIA ESTACIONAL - 2014 (kW/m <sup>2</sup> ) (-10%)				IRRAD. ESTACIONAL NETA - 2015 (kW/m <sup>2</sup> ) (-10%)			PANELES EN EL SISTEMA MODULAR EXPERIMENTAL
			CRECIENTE		VACIANTE		CRECIENTE			
IIN-PTI (kW/m <sup>2</sup> )	1 (100 W)	0,6742	0,70425	0,94725	0,7110	0,94725	0,44775	0,9125		
	1 (120 W)	0,8191	0,70425	0,94725	0,7110	0,94725	0,44775	1,09125		
	1	0,6742	0,42739	0,574776	0,4748	0,63864	0,30187	0,73976	1 (100 W)	
	2	1,3484	0,85765	1,14954	0,95871	1,27727	0,60341	1,47144	2 (100 W)	
	3	2,0223	1,28178	1,91562	0,96019	1,91562	0,905484	2,20683	2(100 W)+1(120 W)	
	4	2,9866	1,892979	1,793124	1,41708	2,82906	1,33665	3,25913	2(100 W)+2(120 W)	
	5	3,8057	2,41214	3,24445	1,80694	3,60495	1,70400	4,15297	2(100 W)+3(120 W)	
	6	4,6248	2,93131	3,94276	2,195855	4,38084	2,070754	5,04681	2(100 W)+4(120 W)	
	7	5,4433	3,45009	4,64055	2,58448	5,15616	2,43724	5,94000	2(100 W)+5(120 W)	
8	6,2624	3,969261	5,33885	2,97338	5,93206	2,80398	6,83384	2(100 W)+6(120 W)		

## DISCUSIÓN

En la tabla 3 y usando el esquema básico inicial del circuito de la figura 3, se muestran entre otros los diferentes sistemas modulares investigados experimentalmente, los mismos que se modificaban en función de la necesidad de investigación y función de la carga de consumo. También se validaron experimentalmente tres sistemas modulares fotovoltaicos: dos sistemas modulares básicos con dos paneles y un sistema modular con ocho paneles, los que fueron seleccionados como propuestas.

En la tabla 4 se muestran las mediciones de las dimensiones de las celdas solares de los paneles monocristalinos y policristalinos de 94 W y 120 W respectivamente, de potencia nominal, y aplicando cálculos aritméticos simples se calculó en área efectiva de recepción de la celda y del panel, también la conversión de energía luminosa en irradiancia convertida, obteniéndose el área en los monocristalinos en valor de 0,6338 m<sup>2</sup> y en los policristalinos de 0,8712 m<sup>2</sup>.

En la tabla 5, mediante cálculos simples, se verifica que un panel monocristalino de 94 W de potencia nominal y de menor área efectiva de recepción, tiene mayor rendimiento real (75%) que un panel policristalino de 120 W de potencia nominal, de mayor área efectiva de recepción y menor rendimiento real (67%); que confirma similares resultados contrastando con los de Antony *et al.* (2006), quienes indican los rangos de eficiencia de los módulos de una celda monocristalina 13-17% con el rango de módulo de una celda policristalina 11-15%.

Los valores mostrados en la tabla 6, presentan la irradiancia por periodos en Iquitos. Así, en el periodo de creciente de los ríos (enero-abril 2014), con mayor incidencia de lluvias, los valores mínimo, promedio, máximo fue de 0,7825 kW/m<sup>2</sup>, 0,9175 kW/m<sup>2</sup> y 1,0525 kW/m<sup>2</sup>, con una desviación media de 0,135 kW/m<sup>2</sup>. En el periodo de vaciante (mayo-diciembre 2014), con menor incidencia de lluvias los valores mínimo, promedio, máximo fue de 0,79 kW/m<sup>2</sup>, 0,92125 kW/m<sup>2</sup>, 1,0525 kW/m<sup>2</sup>, con una desviación media de 0,13125 kW/m<sup>2</sup>. En el periodo

de creciente de los ríos (enero-abril 2015), los valores correspondientes fueron de (0,4975 kW/m<sup>2</sup>, 0,855 kW/m<sup>2</sup> y 1,2125 kW/m<sup>2</sup>), con una desviación media de 0,3575 kW/m<sup>2</sup>.

En la tabla 7 se muestra la irradiancia incidente neta disponible, después de descontar un estimado de 10% de su valor por las pérdidas de energía de dispositivos electrónicos por recalentamiento y transporte (por transmisión de cables y alambres), obteniéndose los valores de rangos mínimos y máximos siguientes: del periodo de creciente de los ríos 2014 (0,70425-0,94725 kW/m<sup>2</sup>); del periodo de vaciante de los ríos 2014 (0,7110-0,94725 kW/m<sup>2</sup>) y del periodo de creciente de los ríos 2015 (0,44775-1,09125 kW/m<sup>2</sup>).

En la tabla 8 están los sistemas modulares experimentales investigados y con comprobación de su validez operativa. Estos corresponden a dos modelos básicos de bajo consumo de carga y un sistema modular de consumo de carga mayor, cuyas características son:

**Modelo básico 1.** Sistema modular de menor consumo de carga (40 W); componentes principales: 2 paneles de 120 W, 1 batería de 100 Ah, carga de consumo = 40 W (focos LED). Periodo de uso = día y noche.

**Modelo básico 2.** Sistema modular de menor consumo de carga (80 W); componentes principales: 2 paneles de 150 W, 1 batería de 100 Ah, carga de consumo ≤ 40 W (focos LED) y televisor LED de 32 pulgadas de 40 W. Periodo de uso = día y noche.

**Modelo 3.** Sistema modular de mayor consumo de carga (1130 W); componentes principales: 8 paneles (2 paneles de 100 W y 6 paneles de 120 W), 6 baterías: 5 de 100 Ah y 1 de 130 Ah, convertidor de corriente de 3000 W, 2 controladores de carga de 20 A y 30 A, carga de consumo = 40 W (luminarias focos LED y

ahorradores) y televisor de 32 pulgadas LED de 80 W, equipo de sonido de 700 W. Periodo de uso = día y noche, tiempo promedio de uso simultáneo = 1 hora-1,15 horas. Este sistema modular es versátil, puede cambiar aumentando o disminuyendo la carga de consumo en función de las necesidades de energía y de la disponibilidad económica del usuario. Sirve para ahorrar mayor energía en luminarias. En todos los sistemas fotovoltaicos se experimentó con focos LED, por su mayor duración, costo, luminosidad y pérdida mínima en energía calorífica.

Los resultados que se muestran la tabla 9 se notan de irradiancias incidentes netas en los diferentes sistemas modulares, que van desde un panel, hasta ocho paneles, en los periodos estacionales de crecientes de los ríos 2014 y 2015 y de vaciante de los ríos 2014. Se obtuvieron las irradiancias incidentes mínimas disponible y máximas de los periodos estacionales de creciente de los ríos 2014; vaciante de los ríos 2014 y creciente de los ríos 2015; los rangos son de 0,70425-0,94725 kW/m<sup>2</sup>, 0,7110-0,94725 kW/m<sup>2</sup> y 0,44775-0,9125 kW/m<sup>2</sup>, respectivamente; para un área efectiva de 0,6742 m<sup>2</sup> de 1 panel de 100 W de potencia nominal y para un área efectiva de 0,8191 m<sup>2</sup> de 1 panel de 120 W de potencia nominal, son similares. Asimismo, los valores mínimos y máximos de irradiancia incidente neta disponibles para 8 paneles monocristalinos: 2 de 100 W y 6 de 120 W con un área efectiva de 6,2624 m<sup>2</sup>, los rangos son 3,969261-5,33885 kW/m<sup>2</sup>; 2,97338-5,93206 kW/m<sup>2</sup>; 2,80398-6,83384 kW/m<sup>2</sup>. Este comportamiento indica una relación directa, a mayor irradiancia necesita mayor área efectiva de recepción.

## CONCLUSIONES

Los rangos de irradiancia incidente o potencia de energía eléctrica por unidad de área en los periodos de creciente y vaciante de los ríos en los años 2014 y 2015 muestran comporta-

miento atípico con sus valores mínimos y máximos encontrados.

Según los resultados analizados, se logró determinar que los paneles monocristalinos tienen mejores características técnicas en el uso de sistemas modulares fotovoltaicos por tener mayor eficiencia que los paneles policristalinos.

Los rangos netos de irradiancia en los modelos de sistemas fotovoltaicos probados en estaciones de creciente y vaciante son valores óptimos a ser usados por los usuarios que deseen utilizar este tipo de energía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antony F, Dürschner C, Remmers KH. 2006. Fotovoltaicas para profesionales. Edit. Progenesa. Primera. (16-17), (87-90), (95-96).
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional. (<http://www.coes.org.pe/dataweb2/2011/STR/ESTADISTICA/MENSUAL/PEner201112.pdf>), 2011.
- Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Oriente S.A. 2015. Recibos diversos. Iquitos, Perú.
- Excel. 2013. Microsoft.
- García J. 1991. Meteorología General. Editorial La Molina.
- Grossi H. 1998. Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5, p. 33-42.
- Horn M. 2006. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. [http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energía %20solar %20en %20Peru %20perueconómico.pdf](http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energía%20solar%20en%20Peru%20perueconómico.pdf)
- <http://www.sunearthtools.com/dp/tools/conversion.php?lang=es>
- Ministerio de Energía y Minas. 2001. Atlas Minería y Energía en el Perú 2001.
- Senamhi Iquitos, C. O. "Amazonas". 2013-2015. Registros de datos de irradiancia solar en Iquitos (Cal/cm<sup>2</sup>), del 2013 al 2015.
- Spiegel R. 1970. Estadística, Mc Graw Hill, México, pág. 350.
- Sustainable Asset Management (SAM). 2013. Información empresarial.
- XXI Simposio Nacional de Energía Solar y Recursos Renovables, Piura, 2014. Visita a central eléctrica de energía eólica.
- XX Simposio Nacional de Energía Solar y Recursos Renovables, Tacna. 2013. Visita a centrales eléctricas de paneles solares fotovoltaicos de Moquegua y Tacna.