

# Implementación de un Sistema Fotovoltaico en el Distrito de San Borja, para Aprovechar la Energía Solar durante los meses de Verano

## Implementation of a Photovoltaic System for make the most of SOLAR energy DURING THE SUMMER MONTHS in the San

Harry A. Rivera Tito <sup>1\*</sup>, María E. Quintana Caceda<sup>2</sup> y Vanessa Teixeira Roth<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

<sup>3</sup> Gerencia de Medio Ambiente y Obras Públicas, Municipalidad de San Borja, Lima, Perú

### RESUMEN

En este trabajo exponemos un método para abastecer de energía eléctrica a un grupo de personas que habitan en el distrito de San Borja - Lima, a través de un Sistema Fotovoltaico (SFV), lo cual no es común en la zona. Esto ayudará a disminuir los niveles de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Se ha determinado mediante el Atlas Solar del Perú que la potencia solar en la región de la costa alcanza al día un promedio, en el mes de marzo, de 6 a 6,5 kW.h/m<sup>2</sup>, si convertimos este dato a energía, es equivalente de 21,6 a 23,4 MJ/m<sup>2</sup>, lo cual es provechoso para el proyecto.

*Palabras clave- Energía solar, irradiancia, sistema fotovoltaico y energía eléctrica.*

### ABSTRACT

Through this work we explain a method to provide electrical power to a group of people living in the district of San Borja - Lima, through a PV system, which is not common in the area. This would help to reduce emission levels of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) to the atmosphere. It has been determined by the Solar Atlas of Peru that the coast region solar power reaches 6 to 6,5 kW.h/m<sup>2</sup> per day, average in the month of March, if we convert this data to energy is equivalent to 21,6 to 23,4 MJ/m<sup>2</sup>, which is of great advantage for the project.

*Key Words.- Solar energy, irradiance, photovoltaic system and electric power.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía solar [1], [2] y [3] es uno de los recursos energéticos menos aprovechados por el sector eléctrico en el Perú, pese al incremento de la contaminación ambiental en el mundo por las fuentes energéticas convencionales [4]. Los paneles solares son una alternativa para generar energía eléctrica limpia, su estructura y principio físico de funcionamiento [5], [6], [7] y [8] es a través del efecto fotovoltaico. El consumo de energía, en el Balance Nacional de Energía del 2011 realizado por el Ministerio de Energía y Minas del Perú [9] [10], estuvo conformado por el 61% de hidrocarburos; 13% leña, bosta y yareta; 18% electricidad; 7% carbón mineral y sus derivados; 1% bagazo y carbón vegetal y 0,04% energía solar.

El consumo de energía eléctrica en el distrito de San Borja se ha incrementado como se muestra en la tabla 1, el cual está relacionado directamente con la huella de carbono.

Este problema lleva a proponer el uso de nuevas fuentes energéticas, renovables y eficientes, mediante el aprovechamiento de la energía solar incidente sobre la superficie terrestre del distrito de San Borja durante los meses de verano.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Usando un GPS Garmin, se estableció la altura y latitud del punto donde se implementó el SFV, 170 msnm y 12,1° Sur, respectivamente, estos datos son fundamentales para la resolución de algunas ecuaciones, como la declinación terrestre diaria ( $\delta$ ) [11] [12], radiación global extraterrestre ( $G_{0n}$ ) y radiación solar sobre una superficie horizontal en el tope de la atmósfera [13]; teniendo en cuenta también la excentricidad de la órbita de la Tierra ( $E_0$ ) y el ángulo horario de salida del Sol ( $\omega_s$ ). Se graficó la trayectoria del Sol para los diferentes meses del

**Tabla 1.** Cantidad de energía eléctrica consumida del 2010 al 2012 en el distrito de San Borja y los equivalentes a  $\text{CO}_2$ .

2010		2011		2012	
KWh/año	$\text{CO}_2(\text{TN})/\text{año}$	KWh/año	$\text{CO}_2(\text{TN})/\text{año}$	KWh/año	$\text{CO}_2(\text{TN})/\text{año}$
114'348,073	14,064.813	120'158,931	14,779.549	138'633,280	17,051.893

Fuente: Gerencia de Medio Ambiente y Obras Públicas – Municipalidad de San Borja

**Tabla 2.** Equipos instalados en la Casa Ecológica.

Equipo	Status	Cantidad	Consumo (w)	Potencia Consumida	Tiempo (h)	Potencia (w/h/día)	P% de uso
Focos.	On/Off	5	20	100	4	400	33%
Pc.	On	1	105	105	4	420	35%
Proyector.	On	1	250	250	0.5	125	10%
Radio.	On	1	25	25	4	100	8%
Cargador de celular.	On	1	20	20	4	80	7%
Impresora.	Stand by	1	20	20	3.5	70	6%
Radio	On	1	65	65	0.3	16	1%
Demanda de Consumo Eléctrico Total						1211	100%

año, el cual se hizo con base a los cálculos del azimut y altura solar.

Para determinar la radiación solar horaria sobre la superficie terrestre, donde se ubica el SFV [14],[15] [16], se instaló una Estación Meteorológica Inalámbrica marca Davis, modelo Ventage Pro 2 y para la caracterización del PFV monocristalino in situ se utilizó un sensor de radiación +/- 10% de error, dos multímetros digitales marca Tech, modelo TM-108, una termocupla electrónica y una resistencia variable de 12,50  $\Omega$ , marca GANZ baja, modelo TE 8,9, N°267A.

La demanda eléctrica diaria de la casa ecológica fue calculada según se muestra en la Tabla 2, mostrando un consumo por día de 1211W/h/día, el cual se suplirá con energía fotovoltaica.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El comportamiento de la Tierra con respecto al Sol se muestra en las Figuras 1 y 2

Y la radiación solar diaria recibida sobre la superficie extraterrestre de la Tierra [ $\text{Gon}(\text{W}/\text{m}^2.\text{día})$ ], específicamente para la zona de San Borja, se aprecia en la Figura 3

La trayectoria del Sol, en el punto donde se implementó el SFV (Figura 4), varía conforme a los meses del año.

Utilizando la estación meteorológica inalámbrica; se pudo conocer la radiación solar horaria por día y las condiciones meteorológicas (Figuras 5, 6, 7 y 8) a las que estará sujeto el SFV durante su funcionamiento y tiempo de vida.

Las mediciones se realizaron en horario diurno durante los meses de enero, febrero y las primeras semanas de marzo (solo año 2014). Los resultados eléctricos del PFV, se muestran en la Figura 9.

En la gráfica 9 se ve que la potencia máxima ( $P_{\text{máx}}$ ) del PFV es  $\approx 64,68\text{W}$ , con un factor de forma (FF) de 0,6 y una eficiencia ( $\eta$ ) igual a 10,5%.

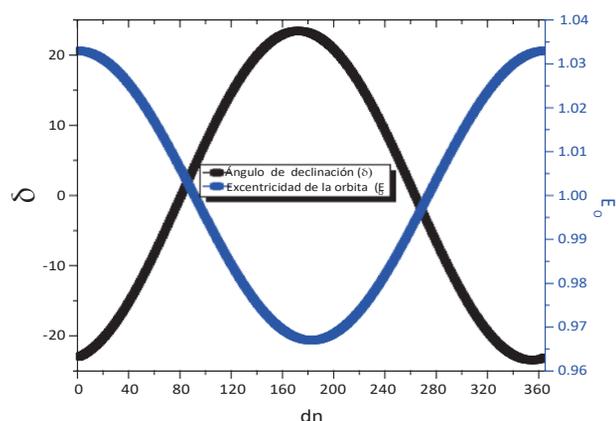


Figura 1. Declinación y Excentricidad con respecto al número de días (dn).

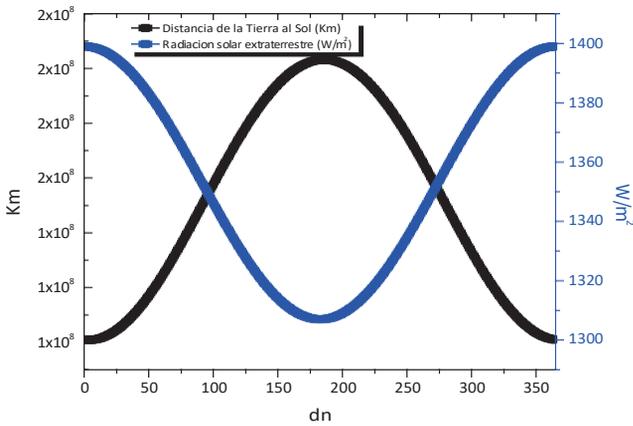


Figura 2. Distancia y Radiación solar diaria con respecto al número de días (dn).

4. CONCLUSIONES

La potencia solar incidente diaria para los tres meses sobre la capa fuera de la atmósfera terrestre de San Borja es de 975,88 KW/m<sup>2</sup>, mayor a la radiación solar recibida a nivel de la superficie terrestre de San Borja. Durante los meses de verano la trayectoria del Sol es hacia el sur esto demuestra que cerca de la línea ecuatorial, los sistemas fotovoltaicos no necesitan tener un grado de inclinación mayor a su latitud, se le puede dar un ángulo de inclinación < 4° para no tener problemas con el polvo, la lluvia, etc. El análisis obtenido del monitoreo de la radiación solar (gráfica 8), muestra que el promedio de la potencia solar horaria es de 579,62 Wh/m<sup>2</sup> y los días que la potencia solar alcanzo niveles mayores a 1,000 Wh/m<sup>2</sup> ha sido durante las fechas 21/01, 24/01, 28/01 y 11/02 a

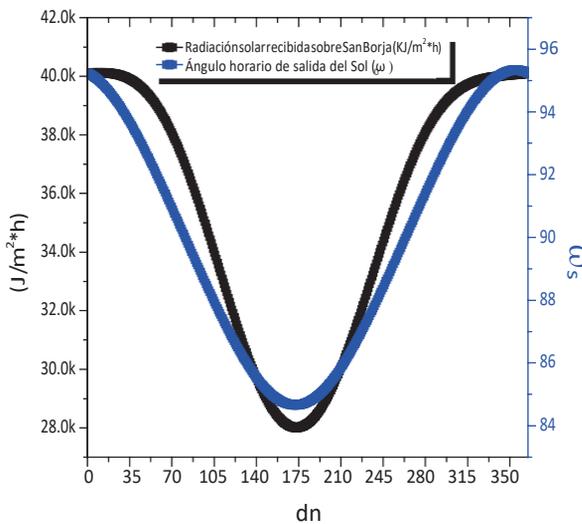


Figura 3. Variación de la Radiación Solar total diaria sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera terrestre de San Borja, con respecto al número de días del año.

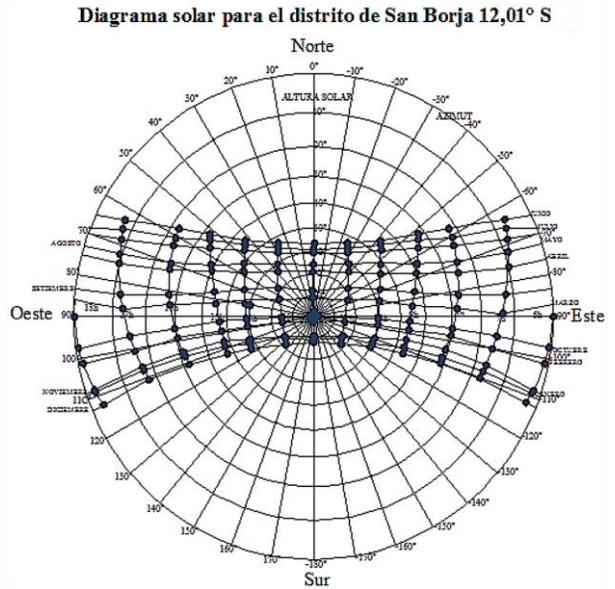


Figura 4. Diagrama solar para el punto donde se ha instalado el SFV

las 12 y 13 horas según corresponde 1,002W/m<sup>2</sup>; 1,021 W/m<sup>2</sup>; 1,003 W/m<sup>2</sup> y 1,026 W/m<sup>2</sup>; debido al cielo despejado de la zona. El PFV monocristalino, evaluado en la zona, genera una potencia máxima de 64,68W, con un FF de 0,66 y una eficiencia de 10,5%, generando por lo tanto una potencia aproximada de 194,04 W por los tres paneles instalados en el SFV, que equivale a 194,04 J/s de energía aprovechada de la radiación solar incidente.

Durante los meses de enero, febrero, y marzo la casa deja de emitir 6,37 kg de CO hacia la atmosfera, siendo un ejemplo de cómo se podría contribuir a la

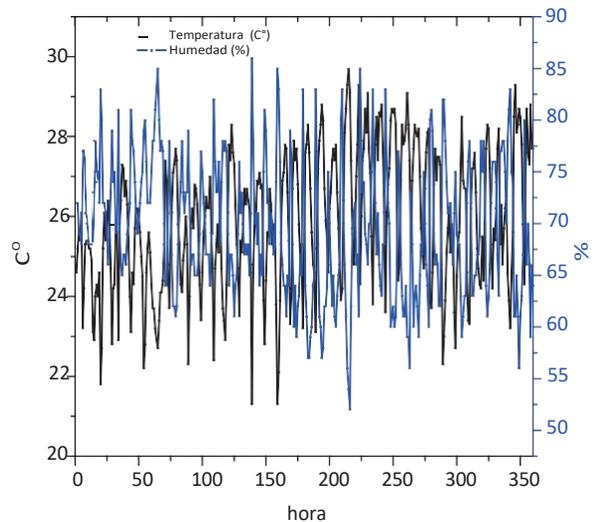
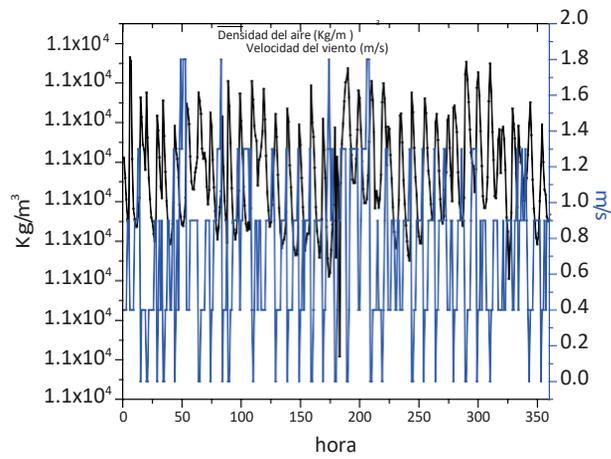
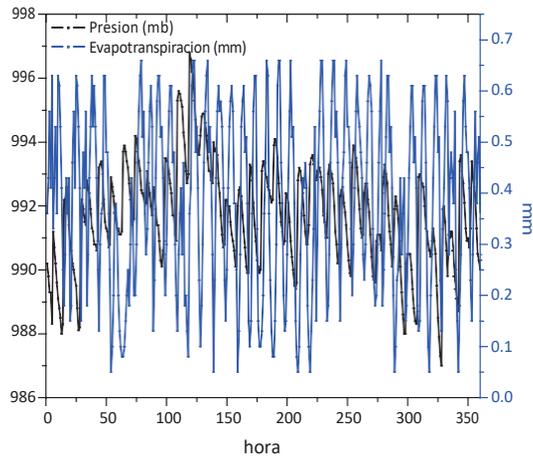


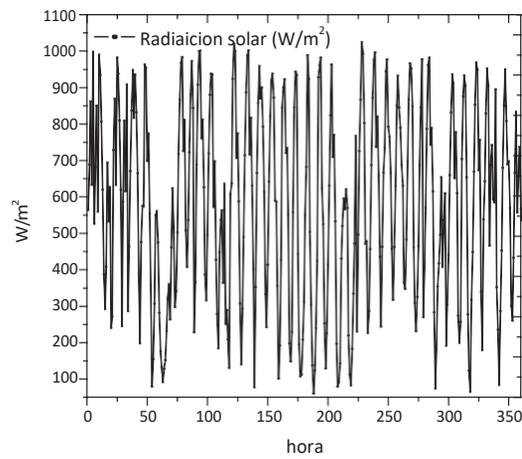
Figura 5. Temperatura (°C) y Humedad (%).



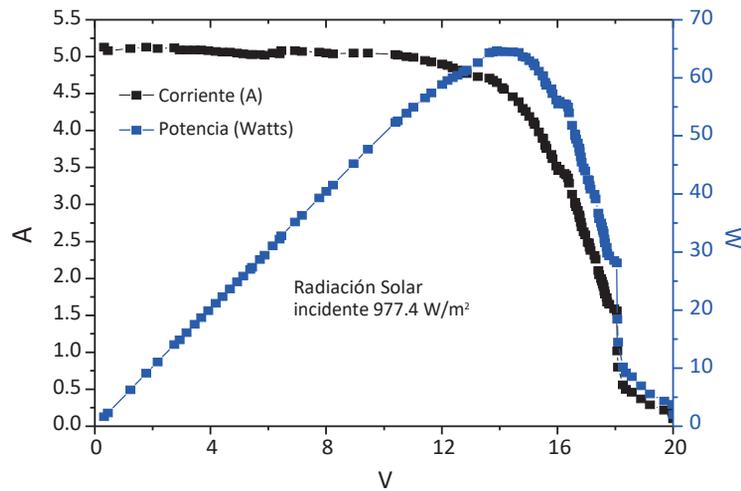
Gráfica 6. Densidad del aire (Kg) y velocidad del viento (m/s).



Gráfica 7. Presión (mb) y evapotranspiración (mm).



Gráfica 8. Variación horaria por día de la Radiación Solar (W/m²) sobre el PFV.



Gráfica 9. Curva voltaje (V) vs. Corriente (A) vs. Potencia (W) del PFV monocristalino, evaluado durante una hora.

mitigación del calentamiento global con casas eco-eficientes, donde su fuente de electricidad provenga de fuentes renovables.

#### AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Dr. César Arguedas Madrid, al M.Sc. César Augusto Muñoz Ortega, al Bach. Billy Max Palomino Carrillo, al Ing. Oswaldo Rojas Estela, y al Dr. Richard Toribio Saavedra por sus aportes y colaboraciones a la investigación.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Julian C 2003 *Physics of Solar Energy* John Wiley & Sons:New Jersey
- [2] Méndez J and Cuervo R 2003 *Energía Solar Fotovoltaica* ed. Fundación Confemental:Madrid 3era ed
- [3] Razykov T, Ferekides C, Morel D, Stefanakos E, Ullal H and Upadhyaya H 2011 *Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects Solar Energy* **85** pp 1580-1608
- [4] VijayaVenkataRaman S, Iniyan S, Ranko G 2012 A review of climate change, mitigation and adaptation *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16** pp 878-897
- [5] Kitai A 2011 *Principles of Solar Cells, LEDs and Diodes the role of the PN junction* John Wiley & Sons:Canada
- [6] Granqvist G. 2003 *Solar Energy Materials Advanced Materials* **15**(21) pp 1789-1803
- [7] Conibeer G. 2007 *Third-generation photovoltaics Materials Today* **10**(11) pp 42-50
- [8] Ben G and Sanjay B 2006 *Solid State Electronic Devices*
- [9] Senamhi, PNUD, GEF y DEP-MEM 2003 *Atlas de Energía Solar del Perú*
- [10] Ministerio de Energía y Minas 2011 *Balance Nacional de Energía Lima Perú*
- [11] Torres E 1995 *Agrometeorología* ed Trillas:Ciudad Veracruz
- [12] García V 1994 *Principios Físicos de la Climatología* ed. UNALM:Lima
- [13] Méndez J M and Cuervo R 2003 *Energía Solar Fotovoltaica* ed. Fundación Confemental:Madrid
- [14] Chauliaguet C, Baratcabal P and Batellier J 1978 *La Energía Solar en la Edificación* ed. Técnicos Asociados:Barcelona
- [15] Toribio T 1994 *Captación de Energía Solar a través de un Panel Pasivo para la Calefacción de Viviendas Ubicadas en Zonas frías - Región Chavin* UNALM:Lima
- [16] Peña J 2010 *Implementación y Caracterización de un Centro de Demostración de Energías Renovables en Yaurisque Provincia de Paruro Cusco-Perú* UNI:Lima