

## **TÍTULO: DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL DEPARTAMENTO DE MEDICINA NUCLEAR DEL HOSPITAL PROVINCIAL “CAMILO CIENFUEGOS”**

**Autor: Amilkar Faides López** Licenciado en Física, Profesor Asistente. Departamento Matemática- Física. Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Cuba.

**e-mail:** magdaleno.ssp@infomed.sld.cu

### **Resumen**

En este trabajo se diseñó un sistema fotovoltaico autónomo para el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Provincial “Camilo Cienfuegos” de Sancti Spíritus. Se utilizó la metodología de cálculo de la empresa Sunfields Europe de España y se determinó el número de paneles solares, baterías, reguladores e inversores necesarios, el período de recuperación de la inversión, el valor agregado neto y las emisiones de gases contaminantes CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que se dejarían de emitir. Se concluyó que para el proyecto de la instalación fotovoltaica, es importante seleccionar el voltaje de las baterías y determinar las horas de pico solar y que el mismo es factible desde el punto de vista económico, con medio día de autonomía.

**Palabras clave:** energía solar fotovoltaica; sistema fotovoltaico autónomo; fuentes renovables de energía

## **TITLE: DESIGN OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE NUCLEAR MEDICINE DEPARTMENT OF “CAMILO CIENFUEGOS” PROVINCIAL HOSPITAL**

### **Abstract**

In this work an autonomous photovoltaic system was design for the Nuclear Medicine Department of “Camilo Cienfuegos” Provincial Hospital of Sancti Spíritus. It was used the methodology of calculation of the enterprise Sunfields Europe of Spain. The necessary number of solar panels, batteries, regulators and investors were determined; as well as the period of recovery of the investment, the net added value and the emissions of polluting gases: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> that would be stopped to emit. It was concluded that for the project of

the photovoltaic installation, selecting the voltage of the batteries and determining the pick solar hours is important. It was also concluded that this project is feasible from the economic point of view, with half-day of autonomy.

**Keywords:** Photovoltaic solar energy; autonomous photovoltaic system; renewable sources of energy

## **Introducción**

El aprovechamiento de la energía solar para la generación de electricidad contribuye a la sostenibilidad del sistema energético, pues evita que se genere esta a partir de combustibles fósiles no renovables, lo cual reduce las emisiones de gases de efectos invernadero cuya su combustión originan de forma inevitable. La energía solar fotovoltaica distribuida, además, no requiere ocupación de espacio adicional, pues se puede instalar en tejados o integrarla en edificios (Puig, 2005).

La energía solar fotovoltaica es una forma indirecta de aprovechar la radiación solar. Además de los beneficios comunes a todas las fuentes de energías renovables, en adición evita costes de mantenimiento y transporte de las líneas eléctricas; tanto en zonas de difícil acceso donde no llega la red, como en áreas urbanas; donde muchas veces coinciden las puntas de demanda eléctrica, con los momentos de máxima insolación. Una vez instalada, tiene un coste energético de mantenimiento nulo a lo largo de su vida útil, estimada entre 20 años y 25 años (Cabrera, 2005; Hernández, 2007).

En Cuba se realizan inversiones para poder cambiar la matriz energética y llegar al año 2030, con un 24% de producción de energía eléctrica con fuentes renovables de energía y entre ellas la fotovoltaica (López, 2014). Actualmente existen siete parques fotovoltaicos y se planifica la construcción de siete más, conectados a la red nacional (Vázquez, 2012).

A nivel empresarial, también existen planes de desarrollar la energía solar fotovoltaica, a través de la instalación de sistemas autónomos de esta naturaleza, por la importancia que representan para la economía nacional y el cuidado del medio ambiente.

El caso de estudio de este trabajo es del sector estatal de los servicios de salud en el Hospital Provincial "Camilo Cienfuegos". Esta institución cuenta con

27 departamentos que garantizan la asistencia médica y actividades administrativas de servicios y económica que apoyan y complementan su actividad fundamental.

Por lo expuesto, el objetivo de este artículo fue: diseñar un sistema fotovoltaico autónomo para el departamento de Medicina Nuclear de esta institución, a partir de la aplicación de métodos existentes (Prado, 2008).

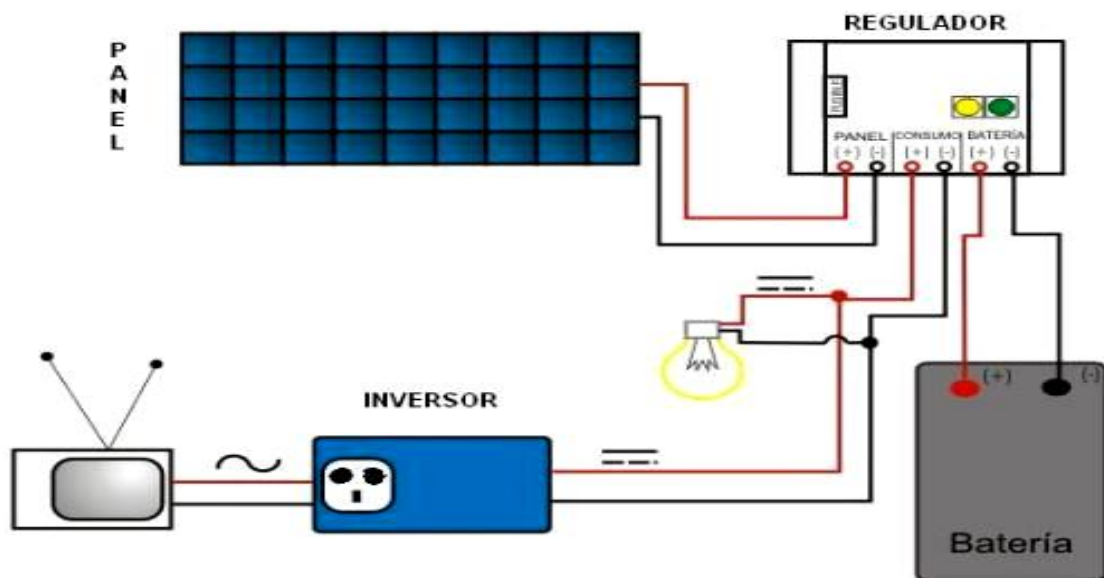
### **Materiales y Métodos**

Para los cálculos numéricos se empleó la metodología de la Empresa Sunfields Europe de España (Alonso, 2011).

Esta metodología consta de cinco pasos:

1. Estimado del consumo medio diario
2. Dimensionado del generador fotovoltaico
3. Dimensionado del sistema de acumulación
4. Dimensionado del acumulador
5. Dimensionado del inversor

A los efectos de ilustrar una representación general, la Figura 1 muestra un esquema de una instalación fotovoltaica típica.



## Figura 1. Partes de una instalación fotovoltaica: panel, regulador, inversor y batería

Fuente: Uniss, Maestría en Eficiencia Energética, 2da. Edición, 2014.

### 1. Estimado del consumo de la instalación

-Consumo medio diario de la instalación

$$L_{med} = \frac{L_{med,dc} + L_{med,ac}/nINV}{nBAT * nCOND} \quad (1)$$

### 2. Dimensionado del generador fotovoltaico (FV)

Debido a que no se cuenta con regulador de seguimiento de punto de máxima potencia se debe utilizar el criterio de Amperios-hora para determinar el número de paneles solares requerido.

Se utilizó un voltaje de  $V_{bat}=12$  V, pero se conectarán las baterías en grupos de dos en serie y cada grupo con el otro en paralelo, para obtener un voltaje en el circuito de 24 V.

La principal ventaja que representa este nivel de voltaje es que al aumentar la tensión disminuye la corriente en los conductores que conectan el generador FV, el regulador y la batería, por lo que pueden emplearse cables de sección más pequeña manteniendo la regulación de voltaje dentro de límites aceptables.

Una contribución adicional consiste en que al trabajar a 24 V de los paneles en serie, lo que disminuye la corriente de cortocircuito del generador y por consiguiente se reduce la corriente máxima que deberá manejar el regulador, con lo que se reducen los costos asociados a la compra de este tipo de equipo.

-Consumo medio de energía en Ah/día

$$Q(Ah) = \frac{L_{med}}{V_{Bat}} \quad (2)$$

-Corriente que debe generar el campo de captación fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar

$$I_{gfv,mp} = \frac{Q(Ah)}{HPScrit} \quad (3)$$

-Total de paneles solares

$$N_p = \frac{I_{gfv}}{I_{mod}} \quad (4)$$

### 3. Dimensionado del sistema de acumulación

-Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{med} * N}{P_{dmax,e} * F_{ct}} \quad (5)$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{Bat}} \quad (6)$$

$N_{bat}$ : Número de baterías necesarias

### 4. Dimensionado del regulador

-Corriente de entrada al regulador:

$$I_{ent} = 1,25 * I_{MOD,SC} * N_p \quad (7)$$

-Corriente de salida del regulador

$$I_{sal} = 1,25 * \frac{\left( P_{dc} + \frac{P_{ac}}{n_{inv}} \right)}{V_{bat}} \quad (8)$$

### 5. Dimensionado del inversor

-Potencia del inversor

$$P_{inv} = 1,2 * P_{ac} \quad (9)$$

Finalizado el cálculo del diseño, se determinó el ahorro anual de energía eléctrica que se alcanza con la instalación de los paneles solares, el período de recuperación de la inversión, el valor agregado neto y la cantidad de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que se dejaría de emitir a la atmósfera por la generación termoeléctrica de electricidad (Fitz, 2012).

**-Período de recuperación de la inversión simple**

$$PRS = \frac{Inversión}{Ahorro\ anual} \quad (10)$$

PRS: período de recuperación de la inversión simple en años

**-Cálculo de la factibilidad del proyecto a través del Valor Agregado Neto**

Si se escogen los cinco primeros años del ciclo de vida de la instalación, se puede estimar el valor agregado neto.

Sean los flujos de caja =  $C_1, C_2, \dots, C_5$

$$VAN = \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{(1+D)^i} - C_0 \quad (11)$$

D: tasa de descuento (10%)

$C_0$ : costo de la inversión inicial

Si  $VAN \geq 0$  se acepta la inversión

### -Emisiones de gases contaminantes

Los índices de emisiones por kilowathora de energía eléctrica producida con petróleo en una termoeléctrica son: 700 g de  $CO_2$  /kWh, 2,74 g de  $SO_2$ /kWh y 1,34g de  $NO_x$ /kWh (Micropower, 2012).

Para los cálculos se utilizaron los consumos eléctricos diarios de los equipos instalados en el Departamento de Medicina Nuclear, se tabularon. (Tabla 1). El mínimo de horas de pico solar se determinó a partir de datos suministrados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus, del comportamiento de la irradiación solar en el municipio de Sancti Spíritus. (Tabla 3). Para la determinación del período de recuperación de la inversión simple, de la instalación de los módulos fotovoltaicos, se utilizaron índices para cada componente del sistema. (Rodríguez, 2013).

### Resultados

La Tabla 1 compila la caracterización de los consumos de los equipos del caso de estudio, incluye W/día ( $L_{med}$ ) y margen de seguridad del 20%.

**Tabla 1. Consumos eléctricos de los equipos del Departamento de Medicina Nuclear**

U	Carga	Potencia unitaria (W)	Horas de uso diario (h)	Energía total necesaria (Wh)	Energía total necesaria. Margen seg. 20% (Wh)
15	Luminaria (AC)	20	8	2 400	2 880
2	Ventilador(AC)	50	8	800	9 60

2	Computadora (AC)	100	8	1 600	1 920
2	Contador de pozo(AC)	50	4	400	480
1	Refrigerador(AC)	65	8	520	624
	Total	765		5 720	6 864
	L <sub>med</sub> (Wh/día)				8 027,08

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de la instalación se utilizaron los paneles solares del fabricante Brisbane. Los datos técnicos se muestran en la Tabla 2 (Rus *et al*, 2013).

**Tabla 2. Datos técnicos de los paneles solares del fabricante Brisbane**

Característica	Valor o Especificación
Modelo	BS18055
Potencia pico del módulo en condiciones estándar	180 W
Voltaje máximo del modulo	36,55 V
Corriente de cortocircuito del módulo	5,30 A
Corriente unitaria máxima del módulo	4,9 A
Rendimiento del inversor	0,9
Rendimiento de los conductores (nCOND)	1
Rendimientos de las baterías (nBAT)	0,95

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 ilustra las características de tiempo de horas pico solar.

**Tabla 3. Horas de pico solar mensual en el municipio de Sancti Spiritus**

MES	Cant de días	Temp. (°C)	Irradiación Solar
			Horas de sol pico
Ene	31	22.1	4.14
Feb.	28	23.1	4.67
Marzo	31	23.1	5.69
Abril	30	25.6	5.94
Mayo	31	25.7	5.96
Junio	30	26.6	5.47
Julio	31	26.9	6.01
Ago.	31	27.1	5.85
Sep.	30	26.5	5.2
Oct.	31	25.5	4.86
Nov.	30	23.8	4.36
Dic.	31	22.6	4.19

Horas de sol pico medio			5,2 h
Horas sol pico crítico			4,14 h

Fuente: Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spiritus, año 2013.

Los resultados de la aplicación de la metodología, en relación a las dimensiones del generador fotovoltaico, sistemas de acumulación, inversión y regulación se brindan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Diseño del sistema fotovoltaico por componentes**

Resultado	Cantidad del componente
$N_p(180\text{ W}/12\text{ V})$	16
$N_{bat}(240\text{ Ah}/12\text{ V})$	2
$N_{reg}(50\text{ A}/24\text{ V})$	2
$N_{inv}(1\ 000\text{ W})$	1

Fuente: Elaboración propia

Leyenda;  $N_p$  número de paneles,  $N_{bat}$  número de baterías

$N_{reg}$  número de reguladores,  $N_{inv}$  número de inversores.

La Tabla 5 muestra los resultados del periodo de recuperación simple (PRS).

**Tabla 5. Período de recuperación de la inversión simple**

Componente	Cantidad	índice	Costo, \$
Paneles	2 880 W	0,60 (\$/W)	1 728,00
Baterías	5,73 kWh	75 (\$/kWh)	429,75
Regulador	2 400 VA	0,08 (\$/VA)	1 924,00
Inversor	1 000 W	0,25 (\$/Wh)	250,00
Costo de inversión			4 331,75
PRS			5,82 años

1\$ es un dólar estadounidense

Fuente: Elaboración propia

El valor agregado neto determinado se brinda en la Tabla 6.



**Tabla 6. Valor actual neto**

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja (CUC)</b>	<b><math>1/(1+0.1)^i</math></b>	<b>Valor actual (CUC)</b>
1	750,93	0,9091	826,02
2	750,93	0,8264	907,55
3	750,93	0,7513	999,51
4	750,93	0,6830	1 099,46
5	750,93	0,6209	1 209,42
Valor actual neto			670,21

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las reducciones de emisiones de gases contaminantes de la atmósfera se recogen en la Tabla 7.

**Tabla 7. Emisiones contaminantes que se evitan a la atmósfera**

<b>Gas</b>	<b>t/año</b>
CO <sub>2</sub> ,	11,5
SO <sub>2</sub>	0,16
NO <sub>x</sub>	0,08

Leyenda: t/año toneladas de gases emitidas al año. Fuente: Elaboración propia

### **-Discusión de los resultados**

En el diseño del sistema fotovoltaico se puede observar que la cantidad de paneles, baterías, regulador e inversor; además de depender del consumo diario de los equipos; lo hacen en alta medida en función del voltaje que se seleccione para las baterías.

Un papel similar al que realiza el voltaje de las baterías anteriormente señalado, lo hace las horas de pico solar para determinar el número de paneles necesarios.

El período de recuperación de la inversión, es bueno para el sistema que se diseñó. De acuerdo al resultado obtenido para el valor agregado neto, es factible este proyecto desde el punto de vista económico; aunque solo se pueda disponer de medio día de autonomía, porque solo así es favorable la relación entre los beneficios y los gastos.

La emisión de gases contaminantes, que se dejaría de emitir a la atmósfera por el ahorro de producción eléctrica, es significativa, en el orden de las toneladas de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, que intervienen en el perjudicial efecto invernadero.

### **Conclusiones**

1. En el diseño del sistema fotovoltaico realizado por primera vez para el departamento de Medicina Nuclear del Hospital Provincial “Camilo Cienfuegos” de Sancti Spíritus; fueron definidas las necesidades del sistema de generación, acumulación, regulación e inversor.
2. Se demostró que en el diseño de un sistema fotovoltaico, es importante seleccionar el valor idóneo para el voltaje de las baterías, y determinar con cuidado las horas de pico solar de la región, donde se localiza la instalación.
3. Se evidenció que el proyecto es factible desde el punto de vista económico, aunque solo se disponga de medio día de autonomía, cuando no haya mucha luz solar.

### **Referencias bibliográficas**

- Alonso, J. (2011). Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas. In SunFieldsEurope (Ed.), *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. España.  
Recuperado de: [www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com)
- Cabrera, I. (2005). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Energía y tú*, 31,
- Fitz, E. (2012). *The Bottom Line Impact of PV Module Reliability*. Recuperado de: [www.RenewableEnergyWorld.com](http://www.RenewableEnergyWorld.com)
- López, A. (2014, julio 4). En el talento de los cubanos está el futuro del país. En: *Granma*, 3.

- Micropower (2012). Micropower System Modelling with HOMER. Recuperado de: [www.nrel.gov/homer](http://www.nrel.gov/homer)
- Hernández, L. (2007). Sistemas fotovoltaicos ¿Autónomos o conectados a la red? *Energía y tú*, 38.
- Prado, C. (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. IE- 502 Proyecto Eléctrico. Tesis en opción de Bachiller en Ingeniería Eléctrica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Puig, P. (2005). *Energía Solar Fotovoltaica*. Energías Renovables para todos. Recuperado de: [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
- Rodríguez, F. (2013). Sistema energético con fuentes renovables de energía en el Centro Mixto Pablo de la Torriente Brau. *Ecosolar*, 45 (Julio-Septiembre).
- Vázquez, A. (2012). Normas técnicas y sistemas fotovoltaicos conectados a red. *Ecosolar*, 39 (Enero-Marzo).