
Instalación de una Central Fotovoltaica en un Centro de Salud

Installation of a Photovoltaic Power Plant at Health Center

Maykop – Pérez Martínez*

<maykop@electrica.cujae.edu.cu>

Yandry – Rodríguez Domínguez**

<yandri@electrica.cujae.edu.cu>

* Escola Superior Politécnica do Namibe Universidade Mandume ya Ndemufyo, Moçâmedes, Angola.
y ** Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el diseño de una central fotovoltaica en el Centro de Salud 5 de Abril II, Municipio de Namibe Barrio 5 Abril, Provincia de Namibe, Angola, ocupa un área de 4190 m² y consume la energía suministrada por la red pública. Para el dimensionamiento de la central se tuvo en cuenta los kWh consumidos de cada equipamiento presente en el hospital, lo cual se obtuvo a partir de un levantamiento eléctrico. Para el estudio del potencial solar de Angola fueron recogidos y analizados los datos de radiación global de 8 estaciones meteorológicas disponibles por el World Radiation Data Center, y complementados con la información de 4 estaciones de medición en la provincia de Namibe, disponibilizados por el Ministerio de Energía y Agua.

Palabras clave: paneles fotovoltaicos, Energía Renovable, Angola.

ABSTRACT

Presently work is carried out the design of a photovoltaic power station in the Center of Health April 5 II, Municipality of Namibe Barium 5 April, County of Namibe, Angola, occupies an area of 4190 m² and it consumes the energy given by the public net. For the increase of the power station one kept in mind the consumed kWh of each present equipment in the hospital, that which was obtained starting from an electric rising. For the study of the solar potential of Angola they were picked up and analyzed the data of global radiation of 8 meteorological available stations for World Radiation Center Dates, and supplemented with the information of 4 mensuration stations in the county of Namibe, for the Ministry of Energy and it Dilutes.

Keywords: photovoltaic panels, renewable energy, Angola.

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento del sistema de energía, proporciona una gran calidad de vida y de trabajo a los residentes de una determinada área. El aprovechamiento de las fuentes naturales para la obtención de energía renovable es una de las formas de mostrar el desarrollo energético, económico y social de cualquier ciudad o país. Debido a la importancia del uso de la energía para salvar vidas humanas, los hospitales y los centros de salud, son considerados cargas críticas, siendo así, que el uso de energía en estos locales sea de carácter obligatorio y constantes.

El modelo de desarrollo económico actual, basado en el uso intensivo de recursos de energía de origen fósil, provoca impactos ambientales negativos y desbalances socioeconómicos que fuerzan a definir un nuevo modelo de desarrollo que sea sostenible y sustentable. En definitiva, el desarrollo sustentable es aquel que trata de garantizar tres objetivos principales de un modo simultáneo: el crecimiento económico, el progreso social y el uso racional de los recursos. Una manera de lograr esto es precisamente haciendo un uso adecuado de las energías renovables. Se denomina energía renovable la energía que se obtiene a partir de las fuentes naturales, virtualmente inagotable, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Una de estas energías es la energía solar, energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión que llega a la tierra a través del espacio en paquetes llamados fotones (luz), que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre. Esta radiación solar es transformada en energía eléctrica por medio de celdas fotoeléctricas y es aplicado en la práctica gracias a los sistemas solares fotovoltaicos.(1; 2)

El efecto fotovoltaico es producido cuando el material de la celda solar absorbe partes de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que está dentro de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un conductor eléctrico, así es generada una corriente eléctrica. (2)

Por la importancia que este estudio encierra, en el presente artículo se realizar un proyecto de una central fotovoltaica en el Centro de Saúde 5 de Abril II, surgiendo de esta forma la siguiente problemática: existe dificultad en el suministro de energía eléctrica por parte de la red pública en el Centro de Saúde 5 de Abril II, localizado en el Barrio 5 de Abril, proponiéndose el objetivo general de ejecutar un proyecto para la propuesta de la instalación

de una central fotovoltaica en el Centro de Saúde 5 de Abril II, el cual puede influenciar de forma significativa en el proceso de desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida de las personas que viven en el barrio.

Las instalaciones solares fotovoltaicas pueden ser clasificadas de acuerdo con la función que ellas realizan, de este modo se clasifican en instalaciones autónomas e instalaciones conectadas a la red.

- Las instalaciones autónomas: producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica para abastecer de este tipo de energía al lugar donde están instalados.
- Las instalaciones conectadas a la red: el productor no usa la energía directamente, sino que es vendida al organismo responsable de la gestión de la energía en el país. Tiene la ventaja que la producción de electricidad es realizada en el período de tiempo en que la curva de demanda de electricidad aumenta, quiere decir, durante el día, siendo muy importante los kilowatts generados de este modo.(3; 4)

En este caso la instalación propuesta para el Centro de Salud será una instalación autónoma. En modo general, una instalación solar fotovoltaica es ajustada por un esquema como el mostrado en la Figura 1.

Como se puede observar (figura 1) esta cuenta con un Módulo fotovoltaico, encargado de transformar la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Está formado por la unión de diversos paneles, para dotar a la instalación la potencia necesaria. Otro elemento necesario es el regulador de carga, necesario para la conexión de unión entre los paneles solares y los elementos de consumo de la instalación. Es también responsable de proteger a los acumuladores antes sobrecargas. Provee la tensión nominal de trabajo para la instalación. El acumulador o batería provee energía a la instalación durante los periodos sin luz solar o sin fuente de luminosidad mediante la energía acumulada. El inversor es el encargado de convertir la corriente continua del sistema en corriente alterna para 110/220 de valor efectivo de frecuencia de 50/60 Hz para la alimentación de los equipos eléctricos conectados a la red.

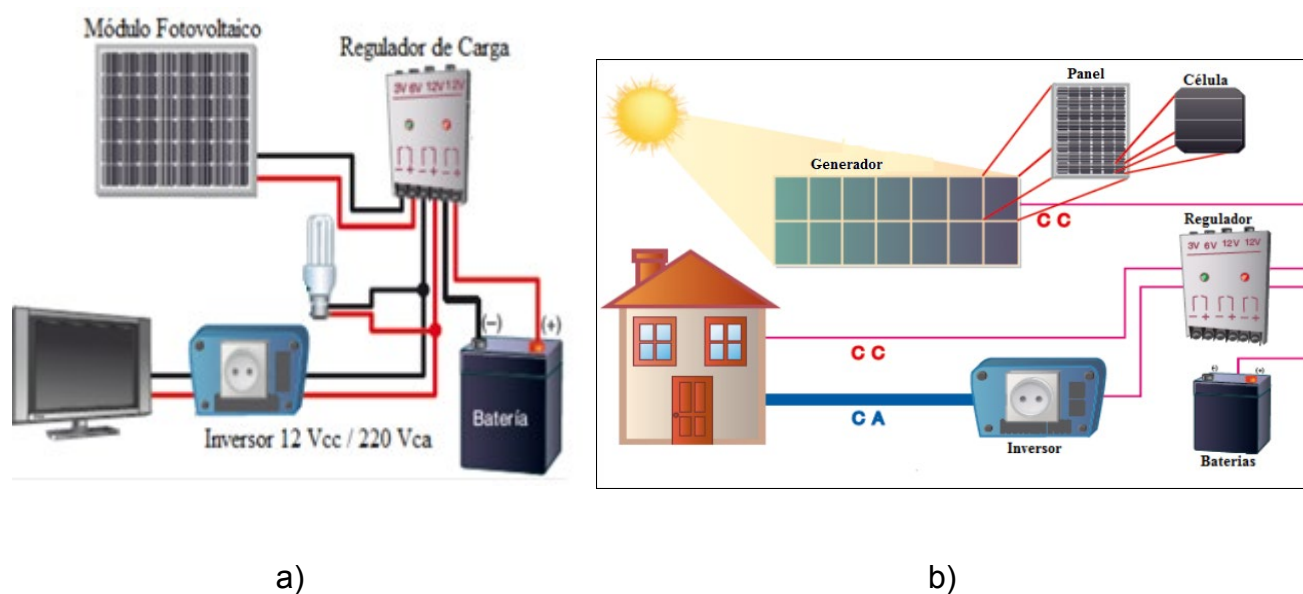


Figura 1 a) Componentes de una instalación fotovoltaica. b) Esquema general de una instalación autónoma con inversor. (Fuente: (5; 2))

Caracterización de la unidad en estudio y propuesta de la central fotovoltaica

Como fue dicho, el objeto de estudio es el Centro de Saúde 5 de Abril II, las figuras 2 y 3 muestran las vistas en planta y en perspectiva del centro de salud respectivamente.

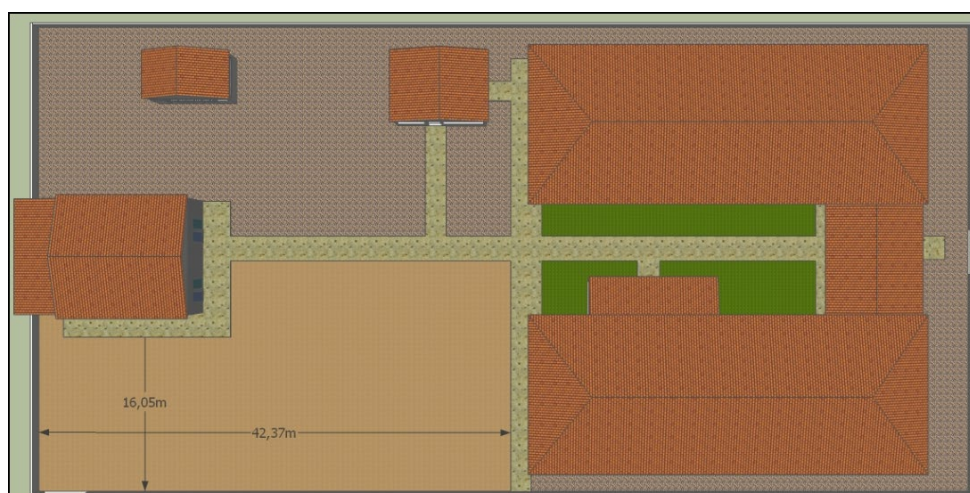


Figura 2. Vista en planta del Centro de Saúde.

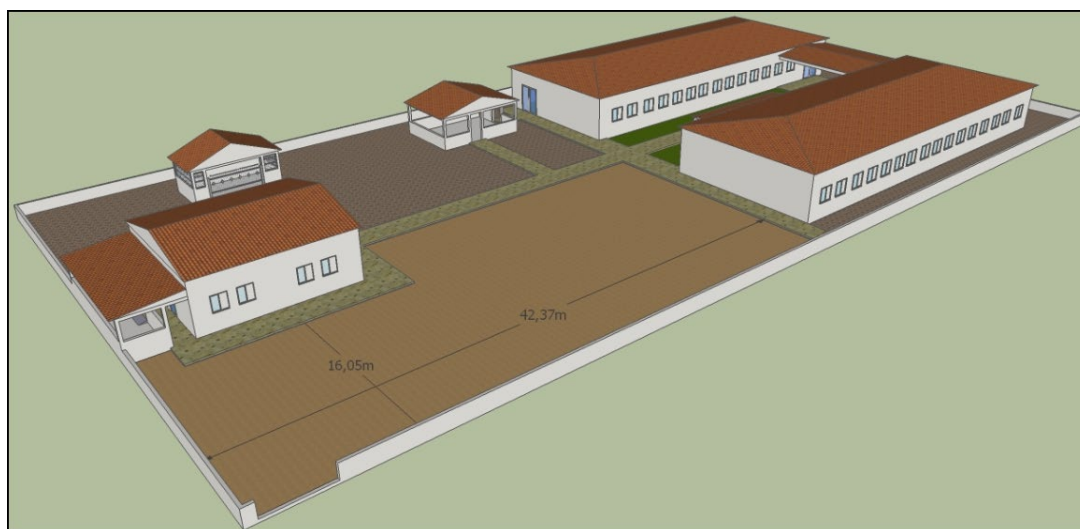


Figura 3 Vista en perspectiva

Al proceso del cálculo del número de módulos fotovoltaicos y número de baterías se denomina dimensionado de una instalación.(6)

Antes de comenzar con el proceso de dimensionado de una instalación es necesario conocer una serie de datos relacionados con el lugar y la instalación:

- Datos climatológicos: conocer la irradiación de que se dispone.
- Condición de uso: Demanda energética y uso (fin de semana, semanalmente, en verano, etc.). (7)

Datos climatológicos

Para los cálculos es importante obtener el término de horas pico solar (HPS), que dependerá de la zona geográfica. Puede ser definido las horas pico solar como las horas diarias (o horas de luz) de irradiación, se mide en kWh/m² (8) . La irradiación solar a una escala global varía esencialmente en función de la atmósfera, geometría y movimiento del planeta relativamente alrededor del sol, siendo a una escala local, la variación de la irradiación solar se encuentra mayoritariamente asociada a la morfología del terreno, o sea, variaciones de elevación, declive, exposición y sombreado. Para el estudio del potencial solar de Angola fueron recogidos y analizados los datos de radiación global de 8 estaciones meteorológicas disponibilizados por el *World Radiation Data Center (WRDC)*, y complementados con la información de 4 estaciones de medición en la provincia de Namibe, disponibilizados por el Ministerio de Energía y Agua (MINEA).

En base a los datos históricos y a las mediciones de irradiación global recogidas fueron

calibrados los datos del satélite Helioclim-1 para todo el territorio y calculada la irradiación global en plano horizontal, lo cual se muestra en la figura 4.

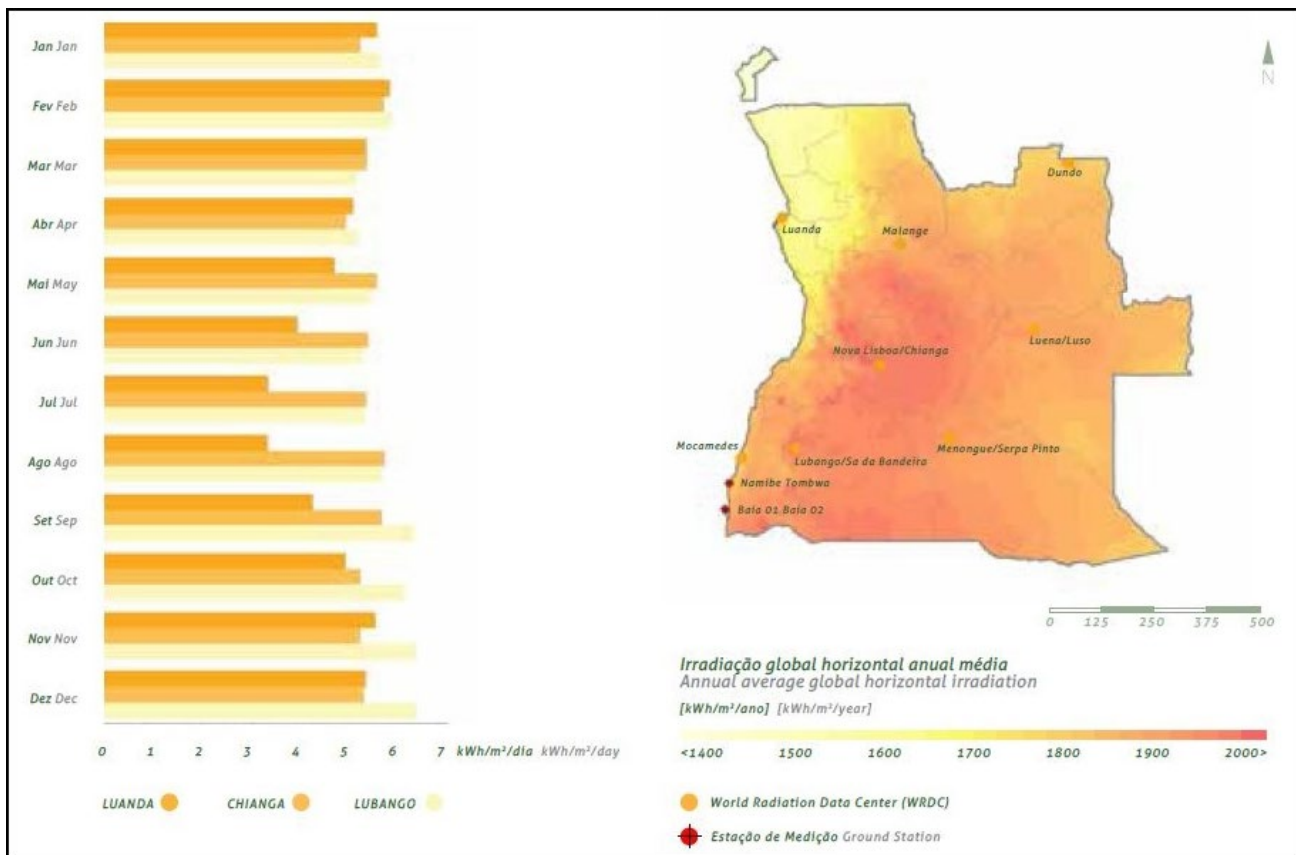


Figura 4. Irradiación Global Horizontal Anual media. (Fuente: (9))

En Angola, el recurso solar se caracteriza por elevados niveles de irradiación. En términos medios, el potencial solar de Angola varía entre los 1 355 a 2 068 kWh/m²/año. De la figura 5 puede ser obtenido las HPS como la media del año:

$$HPS_{anual} = \frac{\sum_{Enero}^{Diciembre} HPS_{mensual}}{12} = 5,9 \text{ kWh/m}^2$$

Condiciones de uso y selección

Obtención del consumo

Una de las condiciones principales que determinan una instalación solar fotovoltaica aislada es la instalación eléctrica a la que debe entregar la energía. Entonces, un primer paso es conocer el consumo, por lo que se hace necesario calcular la potencia total del sistema tomando como referencia las horas de operación durante un día. Este término es conocido como potencia máxima instalada a lo largo de un día, es simbolizada por $P_{m\acute{a}x}$ y las unidades

son Wh/d (watts horas /día) (10). Para calcularla es preciso conocer la potencia de cada equipo conectado en la instalación y el número de horas que se prevé esté conectado/día, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Levantamiento Eléctrico de la Instalación.		
Equipo	Potencia (W)	Horas de uso
Impresora (2)	400	8
Computadores (2)	600	8
Frezeer	994	12
Frigorífico	300	12
Aires condicionados (31)	37 200	12
TV (2)	176	8
Estufa (esterilizador de materiales)	620	8
Frigorífico (para conservación de los reactivos)	345	12
Microscopios (2)	10	8
Máquinas de lavar (2)	640	6
Refrigerador	152	12
Circulación (ayuda en la circulación de la sangre)	65	24
Vibro compresor (funciona como una máquina de masaje)	120	12
Cafetera Eléctrica (2)	2000	8
Decantadores (6)	1200	8
Frezeer	200	12
Frigobar	60	12
Lámparas (290)	17400	24
Potencia total Instalada	61 482	

(Fuente: Autores)

$$P_{m\acute{a}x} = \sum P_{Equipo} \cdot h_{uso} = 935\,500 \text{ Wh/día.}$$

Después, mediante la tensión que deberá tener la instalación, se obtiene el consumo (en amperes), para esto se debe tener en cuenta la tensión del banco de batería ($V_{batería}$ típicos de 12, 24, 48), para este trabajo se tomó 24 V.

Corriente máxima del grupo de batería:

$$I_{inst_m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{24} = \frac{935\,500}{24} = 38\,979 \text{ Ah/día}$$

El valor calculado del consumo debe ser aumentado para mantener un consumo aceptable de la instalación generadora, este aumento es denominado margen de seguridad, un valor típico es de 20% (4; 11) . Entonces:

Corriente máxima del grupo de baterías:

$$I_{m\acute{a}x} = 1,2 \cdot 38\,979 = 46\,775 \text{ Ah/día}$$

Una vez conocida la corriente máxima que consumirá la instalación, es necesario calcular el consumo máximo, teniendo en cuenta las posibles pérdidas. Para lo cual hace falta calcular las pérdidas totales (K_T), de la forma siguiente (4):

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_d} \right]$$

Donde:

- K_A : pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería, dada a los 20 °C. Estas pérdidas son dadas por el fabricante en los datos de chapa de la batería, su valor por defecto es de 0,05%.
- K_B : pérdidas debido al rendimiento de la batería que, por lo general, tiene un valor de 5%.

- K_c : pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado, generalmente oscilan entre 20 % y 5 %.
- K_R : pérdidas debido al regulador, generalmente son del 10 %.
- K_X : otras pérdidas no contempladas (por efecto Joule, caídas de tensión, etc.), se escoge un valor del 10 %.
- D_{aut} : días de autonomía con baja o nula insolación. Se entiende como días de autonomía la cantidad de días con baja o irradiación nula que la instalación trabajará, quiere decir, que la instalación funcione sin necesidad de que sea suministrada energía desde los paneles. Para este trabajo se tomó 5 días de autonomía.
- P_d : profundidad de descarga de la batería, que generalmente es dada por el fabricante, por defecto se escoge un valor de 60 % o 70 %.

$$K_T = [1 - (0,05 + 0,05 + 0,1 + 0,1)] \cdot \left[1 - \frac{(0,0005 \cdot 5)}{0,6} \right] = 0,7$$

Una vez, calculadas las pérdidas, hay que calcular el consumo máximo ($C_{m\acute{a}x}$):

$$C_{m\acute{a}x} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{K_T} = \frac{46\,775}{0,7} = 66\,821 \text{ Ah/día}$$

Cálculo del número de paneles

Conociendo la corriente que consume la instalación ($C_{m\acute{a}x}$), y las características del panel, se calcula cual será el número de módulos fotovoltaicos necesarios.

La corriente que abastece el panel (E_{panel}) es calculada:

$$E_{panel} = I_{panel} \cdot HPS \cdot \eta_{panel}$$

Donde:

- I_{panel} : corresponde con la corriente de pico o corriente máxima.
- η_{panel} : rendimiento del panel, se puede escoger valores típicos entre 85 % y 95 %, como norma general se escoge un rendimiento de 90 %.

La tabla 2 muestra las características eléctricas del módulo fotovoltaico **Modelo SI-P60-250**, que fue escogido.

Tabla 2. Características eléctricas del módulo fotovoltaico Modelo SI-P60-250.	
Potencia	250 W
Número de celdas en serie	60 de 5"
Corriente Máxima	8,24 A
Tensión Máxima	30,3 V
Corriente de corto circuito	8,76 A
Tensión circuito abierto	37,5 V
Precio.	219 €

(Fuente: (12))

$$E_{panel} = 8,24 \cdot 5,9 \cdot 0,9 = 44 \text{ Ah/día}$$

Se calcula el número de ramas necesarias en paralelo:

$$Número_{paralelo} \geq \frac{C_{m\acute{a}x}}{E_{panel}} = \frac{66\ 821}{44} = 1\ 518$$

Se calcula el número de módulos necesarios para adaptarse a la tensión de la instalación y el banco de baterías, quiere decir, **módulos a conectar en serie**.

$$Número_{serie} \geq \frac{V_{batería}}{V_{panel}} = \frac{24}{24} = 1$$

Capacidad del Acumulador

Para el cálculo de la capacidad de la batería se debe tener en cuenta: el consumo máximo ($C_{m\acute{a}x}$) que será suministrado cuando halla poca o nula irradiación solar, los días de autonomía (D_{aut}) que será mantenido el suministro y la profundidad de descarga (P_d) de la batería.

$$C_{batería} \geq \frac{C_{máx} \cdot D_{aut}}{P_d} = \frac{66\,821 \cdot 5}{0,6} = 556\,842 \text{ Ah}$$

Una vez que es conocida la capacidad que debe tener el banco de baterías y teniendo las características de la batería como se muestra en la tabla 3, es obtenido el número de baterías necesarias.

Tabla 3 Baterías estacionarias mono bloque disponibles.					
Tipo	Capacidad	Dimensiones (mm)			Precio (€)
		Ah en C100	Largo	Ancho	
6OPzs – 1000	930	930	208	710	1576,8

(Fuente: (4))

$$\frac{C_{batería}}{C_{nominal}} = \frac{556\,842}{930} = 600 \text{ Número de baterías en paralelo.}$$

Elección del Regulador

Para determinar el regulador a utilizar, hay que conocer la corriente que podrá soportar el circuito de control de potencia, además de la tensión de trabajo. Se puede conocer la corriente ($I_{campo\,fotovoltaico}$) que debe soportar, realizando el producto de la corriente en corto circuito (I_{sc}) de cada módulo fotovoltaico por el número de ramas del campo fotovoltaico, hay que adicionar un margen de seguridad para evitar que el regulador trabaje al límite de corriente máxima que puede soportar, el margen de seguridad más usado es del 10 % (13), entonces finalmente la corriente del regulador sería:

$$I_{regulador} = 1,1 \cdot I_{sc} \cdot \text{Número de ramas} = 1,1 \cdot 8,76 \cdot 1\,518 = 14\,627 \text{ A}$$

La tabla 4 muestra los tipos de reguladores de los que se disponen para la selección.

Tabla 4 Reguladores disponibles.			
Tipo	Tensión	Corriente máxima	Precio (€)
SOLARIX OMEGA	12/24	40 A	132,89

SOLARIX 2401	12/24	30 A	234,00
SOLARIX 2070	12/24	70 A	1563,60
SOLARIX 2140	12/24	140 A	2024,50

(Fuente: (4))

Para utilizar estos reguladores es preciso asociarlos en ramas simétricas, la obtención del número de reguladores a conectar en paralelo se realiza mediante el cociente entre la corriente máxima que debe soportar el regulador y la corriente de cada regulador, obteniéndose el siguiente:

$$\text{Número reguladores} = \frac{I_{\text{regulador}}}{I_{\text{reg}}} = \frac{14\ 627}{140} = 104.$$

Selección del Convertidor

Su función es alterar la tensión y características de la intensidad que reciben, convirtiéndola a la adecuada para el suministro. El convertidor más utilizado en instalaciones fotovoltaicas aisladas es del tipo CC/CA (Corriente continua/ corriente alterna), que convierte la tensión del banco de baterías a consumos de 230 V de corriente alterna. La figura 6 muestra la ficha técnica del convertidor propuesto para la instalación.



Datos técnicos	
	SI 5048
Valores de salida	
Tensión nominal CA (configurable)	230 V (202 - 253 V)
Frecuencia de red (configurable)	50 Hz (45 - 55 Hz)
Potencia constante de CA a 25 / 45 °C	5000/4000 W
Potencia constante de CA a 25 °C durante 30 / 5 / 1 min	6500/7200/8400 W
Corriente nominal CA	21 A
Corriente máx.	100 A (por 100 ms)
THD CA	< 3 %
Factor de potencia	-1 a +1
Valores de entrada	
Tensión de entrada	230 V (172,5 - 250 V)
Frecuencia de entrada	50 Hz (40 - 60 Hz)
Corriente máx. de CA	56 A (2 - 56 A)
Potencia máx. de entrada	12,8 kW
Rendimiento/consumo de potencia	
Rendimiento máx. (tp.)	95 %
Consumo propio sin carga (en standby)	25 W (< 4 W)
Grado de protección conforme a DIN EN 60529	IP40
Peso y dimensiones	
Ancho / alto / fondo (mm)	467 / 612 / 235
Peso	63 kg
Temperatura ambiente	-25 hasta +50 °C
5 años de garantía	
3.900,04 €	

Figura 5. Datos técnicos del inversor propuesto

Como la instalación tiene una potencia instalada de 63 kW, entonces será necesario 5 inversores del **Tipo SI 5048**. La figura 6 muestra el esquema de la instalación con los resultados obtenidos y la elección de cada uno de los equipamientos.

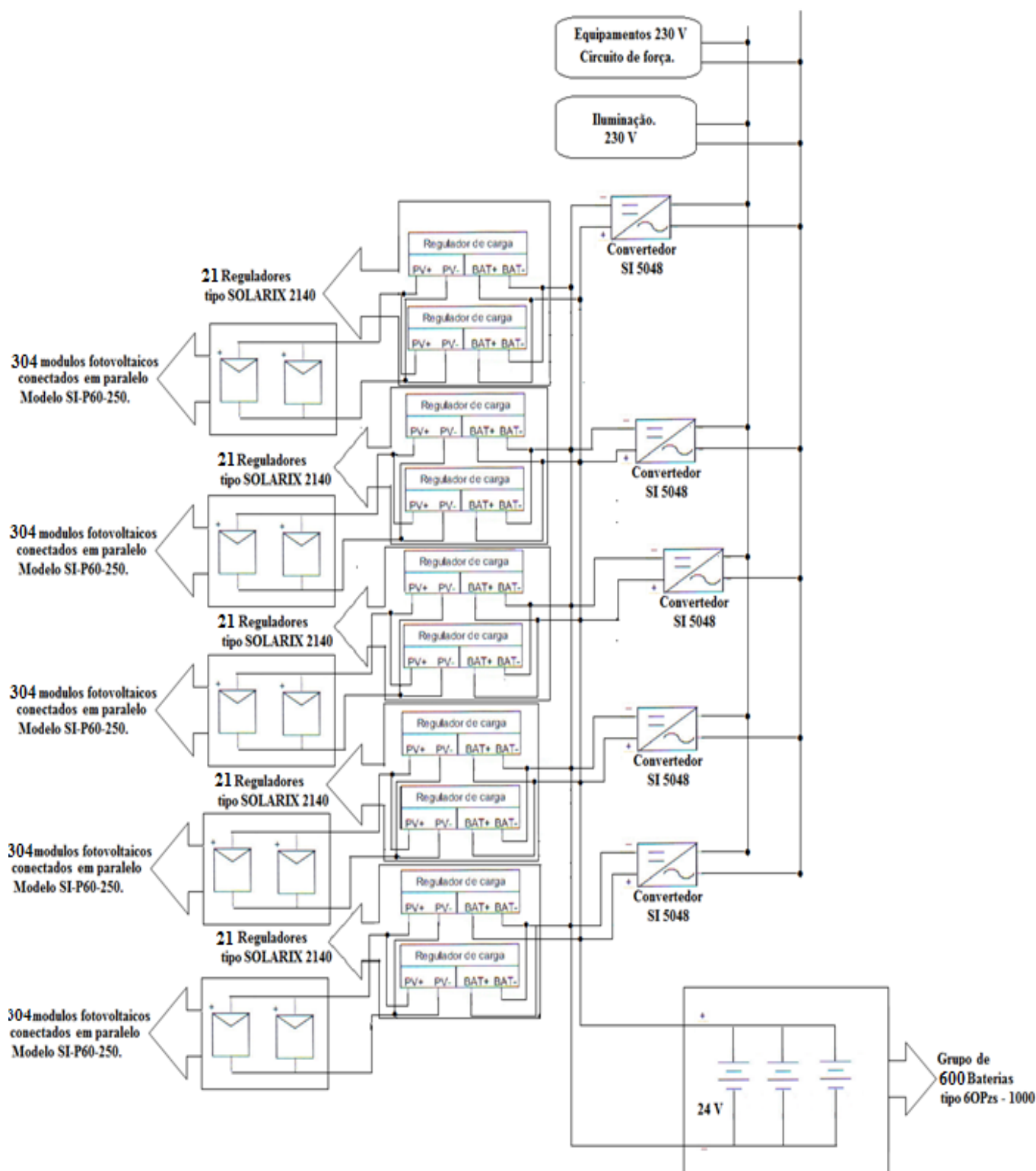


Figura 6. Esquema de la instalación

CONCLUSIONES

En este trabajo fueron presentados los principales indicadores utilizados para estudios sobre instalaciones fotovoltaicas en sistemas aislados, tomándose como objeto de estudio el Centro de Saúde 5 de Abril II, para lograr esto se realizó una búsqueda de las principales fuentes bibliográficas, como también manuales técnicos de los diferentes equipamientos que son utilizados en instalaciones de este tipo.

Con el fin de instalar, en el objeto de estudio, una central fotovoltaica aislada, se realizó un levantamiento eléctrico de todos los equipos presentes en el Centro de Salud y en base a esto se realiza un proyecto detallado de todos los componentes que intervienen en la instalación de una Central Fotovoltaica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Filho GLT, Riêra Salomon, Luzia Silva e Meira Jr., Roberto . Análise de viabilidade técnico econômica da geração solar fotovoltaica aplicada no setor de consumo Residencial, no Brasil. *Universidade Federal de Itajubá e Instituto de Recursos Naturais*. [Online] outubro de 2015. [Citação: 24 de Octubre de 2016.]

http://www.sepuf.funcogec.com.br/files/XVIII/palestras/20151028_10h00_ANGRA_A_UNIFEI.pdf. CEP: 37500-903.

2. Orbegozo C e Arivilca R. Energía Solar Fotovoltaica. Manual técnico para instalaciones domiciliarias. [Online] 2010.

3. Arenas DA S e Zapata Castaño HS. Libro Interactivo Sobre Energía Solar y Sus Aplicaciones. s.l. : Unirversidad Tecnológica de Peira. Facultad de Tecnología; 2011.

4. Aparicio MP. Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada. *www.marcombo.com*. [Online] Segunda edición, 2010. [Citação: 10 de octubre de 2016.] *www.marcombo.com*. ISBN: 978-84-267-1618-7.

5. González CU. Aplicaciones residenciales y comerciales de la energía fotovoltaica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica : s.n., 2010. p. 97, Diplomado como requisito parcial para optar por el grado de: Bachiller en Ingeniería Eléctrica.

6. Simec Chile SA. Diseño de un Sistema de Iluminación Alimentado por Paneles Fotovoltaicos, Utilizando Ampolletas LED. Santiago de Chile : The Global Compact, 2014.

7. Sepúlveda S. Radiación Solar: Factor Clave para el Diseño. [on line]. Universidad Francisco de Paula Santander : Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada, GIDMA, 19 de Diciembre de 2014; 8: 60-61.

8. Sera AS. Una unidad de medida que comienzan a conocer los cubanos beneficiados con instalaciones solares fotovoltaicas. Habana; 2003. Vols. 22-Abr-Jun.
9. (WRDC), World Radiation Data Center. RENOVÁVEIS - SOLAR. *angolaenergia*. [Online] Ministerio de Energía y agua de Angola, 2015. [Citação: 30 de octubre de 2016.] <http://www.angolaenergia2025.com/pt-pt/conteudo/renovaveis-solar>.
10. Silva AL e Demonti R. Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico. [En linea]. Brasil : s.n., Julho de 2013. Vol. 8(91):10-16.
11. Pinho JT e Galdino MA. Manual de Engenharia para Sitemas Fotovoltaicos. Revisada e Atualizada Rio de Janeiro – Março. Pará : CEPEL – CRESESB, Universodad Federal do Pará, 2014.
12. López YU. Análisis de Recurso Solar y Eólico en Colombia. Caso Valle del Cauca. Cali, Colombia : Universidad Autónoma de Occidente, 14 de julio-diciembre de 2011; 37:34-42.
13. Melo OB, Oliverira RD e Vieira M JC. Análise Económica da Implantação de Geradores Fotovoltaicos em Comparação Com a Expansão da Rede Eléctrica para Atender Localidades Isoladas. Campina Grande : CBA, 2012. CEP 13566-970.

BIBLIOGRAFÍA

Documentación para la versión de PSAT2.0.0 β, 8 de marzo de 2007.

Maykop Pérez Martínez M, Martínez García A, Acosta Noda Y. Utilización del paquete de programas PSAT para el análisis de avería en el sistema electroenergético. Pedagogía Profesional (En Internet). 2014; 12(1) Diponible: <http://rpprofesional.ucpejv.edu.cu>

Prabha K. Power System Stability and Control, Editors Neals J. Balu and MarkG.Lauby, TK 1005.K86. 1933.

Saadat H. Power System Analysis, Editor Betsy Jones, TK1011.S23. 1999.

Recibido: 24 de junio de 2018

Aceptado: 12 de noviembre de 2018