



TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A TRAVÉS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN EL HOSPITAL GENERAL DOCENTE “DR. AGOSTINHO NETO” DE LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO, CUBA.

TITLE: TECHNICAL STUDY OF ELECTRIC GENERATION THROUGH OF A PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM IN THE EDUCATIONAL GENERAL HOSPITAL “DR. AGOSTINHO NETO” OF THE GUANTÁNAMO CITY, CUBA.

Geordanis Montalvo Revé¹

Unidad Empresarial de Base Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Guantánamo
Universidad de Guantánamo
geordanis@gtm.hidro.cu.
Guantánamo, Cuba.

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Geordanis Montalvo Revé (2018): “Estudio técnico de generación eléctrica a través de un sistema solar fotovoltaico en el Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto” de la ciudad de Guantánamo, Cuba”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (abril 2018). En línea: [//www.eumed.net/rev/caribe/2018/04/estudio-generacion-electrica.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/04/estudio-generacion-electrica.html)

Resumen

En la presente investigación se realizó un estudio técnico previo para la generación eléctrica, a través de un sistema solar fotovoltaico de inyección a red, en el Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto” de la provincia Guantánamo. Cuba.

Como resultado se realizó una comparación técnica entre el consumo energético actual y una propuesta de inyección a red de energía eléctrica, a través de un sistema solar fotovoltaico en esta institución hospitalaria, obteniéndose las principales ventajas y desventajas entre ambos consumos.

Palabras claves: generación eléctrica, sistema solar fotovoltaico, inyección a red

Abstract

In the present research it was carried out a previous technical study for the electric generation, through a photovoltaic solar system of injection to net, in the Educational General Hospital "Dr Net Agostinho" of the county Guantánamo. Cuba.

As a result it was carried out a technical comparison between the current energy consumption and an injection proposal to electric power net, through a photovoltaic solar system in this hospital institution, being obtained the main advantages and disadvantages between both consumptions.

Keywords: electric generation, photovoltaic solar system, injection to net.

Introducción

La producción de energías “verdes” va en aumento no sólo por el desarrollo de la tecnología, fundamentalmente en el campo de la solar, sino también por claros compromisos políticos. La utilización de energías renovables para producir el 100% de la energía es técnicamente viable y económicamente asumible, por lo que, lo único que falta para que en el mundo se dejen a un

¹ Ingeniero en Ingeniería Mecánica. Especialista Principal del Grupo Comercial en la Unidad Empresarial de Base Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Guantánamo y Profesor Asistente (Adjunto) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Técnicas de la Universidad de Guantánamo. Cuba

lado las energías “sucias”, es necesaria voluntad política. Para lograrlo, son necesarios dos desarrollos paralelos: de las energías renovables y de la eficiencia energética (eliminación del consumo superfluo).

Las fuentes de energía renovables en la actualidad, representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy disperso: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%.

En Cuba existe una voluntad política dirigida al desarrollo sostenible, a pesar del complejo escenario económico, alimenticio, energético y ambiental mundial en el presente. Los lineamientos de la nueva política económica y social del país abordan el tema, con el objetivo de trazar estrategias favorables, tanto para el medio ambiente como para la economía.

En la década de los 90, con la instauración del “período especial” a consecuencia del desplome del campo socialista y desaparición de la Unión Soviética y por la intensificación del criminal y genocida bloqueo impuesto por los Estados Unidos de Norteamérica, Cuba viene realizando grandes esfuerzos para solucionar el problema energético y entre sus planes incluyó la intensificación de la utilización de energía solar, fundamentalmente en zonas de difícil acceso donde no llega el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), utilizando paneles solares constituidos por celdas fotovoltaicas. Estos sistemas comenzaron a instalarse fundamentalmente en consultorios del médico de la familia, hospitales rurales, círculos sociales, salas de televisión y escuelas.

El Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto” de la provincia Guantánamo ha presentado un sobreconsumo sostenido de energía eléctrica generada con combustible fósil en los tres últimos años, debido al número elevado de aires acondicionados individuales, a la obsolescencia del sistema centralizado de climatización que posee 30 años de explotación y al uso individual e indiscriminado de equipos electrodomésticos hogareños (calentadores de agua, ventiladores, etc.) por parte de los pacientes y/o familiares. Los que además, ocasionan daños en las instalaciones eléctricas de esta institución, ya deterioradas por los años, al no estar concebidas para el uso simultáneo de todos estos equipos por un tiempo prolongado.

Desarrollo

Los sistemas de inyección a la red eléctrica son los que han experimentado mayor desarrollo en los últimos años, gracias a los estudios técnicos realizados previamente. De este modo el sistema se convierte en una pequeña central productora de energía que reduce sensiblemente los plazos de amortización y de obtención de beneficios.

El Estudio Técnico consiste en proponer preliminarmente una central fotovoltaica de generación eléctrica de 27 kWp (Kilowatt pico) conectada a la red de baja tensión situada sobre la cubierta del Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto”, así como de realizar los cálculos técnicos previos para la realización de la misma definiendo la tipología de la instalación más adecuada y las características técnicas de la misma.

La instalación dispondrá de un generador independiente de 27 kWp, situado en la vertiente norte de la cubierta. El mismo dispondrá de 120 paneles fotovoltaicos, conectados a 2 inversores trifásicos de 17kW de potencia nominal. Para esta instalación utilizaremos módulos solares policristalinos de 225Wp.

La central fotovoltaica convertirá la energía proveniente del Sol en energía eléctrica a baja tensión (voltaje intermedio-230/400V) para verterla a la red eléctrica de la instalación hospitalaria. La producción de energía anual media estimada es de 26.3 MWh/año.

Así, las tareas del proceso de producción se orientan a la captación de energía solar, su transformación en energía eléctrica, transportación y por último la conexión con las líneas de baja tensión existentes en la zona.

Los rayos solares incidirán sobre las placas fotovoltaicas, siendo esta energía captada y transformada en corriente en sistema continuo y seguidamente es transportada al inversor donde se realiza la conversión de dicha corriente a alterna 400 V trifásica. Tras la agrupación de dos inversores y la instalación de las correspondientes protecciones, se efectúa el enlace con la red de baja tensión.

Para el montaje de la central se contará como entidad ejecutora a la Corporación Copextel S.A División Guantánamo. En la siguiente tabla se muestra los suministros que deben aportar dicha entidad y la administración del Hospital General Docente.

Suministros Corporación Copextel S.A División Guantánamo	
Denominación	Cant.
Módulos FV de 225 Wp, 29VDC.	120
Inversores de inyección a red de 17 kWac.	2
Equipamiento para: adquisición de datos (SUNNY WEB BOX), monitoreo (SENSOR BOX y SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE), sensor de temperatura del módulo.	1
Kit de cables y accesorios eléctricos para el montaje	1
Estructuras para colocar los módulos fotovoltaicos.	1
Suministros Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto”	
Sistema de tierra de toda la central fotovoltaica	
Punto de conexión en la pizarra general de distribución (PGD) que garantice evacuar la corriente suministrada por el sistema.	
Un terminal con conectividad a la red local para guardar la información del sistema fotovoltaico.	

La administración del Hospital General Docente debe garantizar además, un área que cumpla con los requerimientos de espacio (para colocar los módulos) y de ubicación (que no tenga barreras naturales o de otro tipo y garantice además la evacuación de la producción energética del sistema a través de la red nacional de energía); así como las fundiciones de las bases para colocar las estructuras metálicas de los módulos.

Realizar una configuración adecuada para mejorar al máximo posible el rendimiento y la eficiencia de una instalación fotovoltaica es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta dentro de la misma. Por esta razón describiremos todos los componentes a utilizar en la central propuesta.

Células Fotovoltaicas

Recomendamos utilizar células policristalinas de 156×156 mm, las que se construyen básicamente con silicio, mezclado con arsénio y galio ya que son más sencillas de conseguir y obtienen unos rendimientos nada despreciables (15%). No duran tanto tiempo pero son perfectas para lugares con condiciones ambientales severas, como la alta montaña, los desiertos etc.

Panel o módulo Fotovoltaico

El módulo seleccionado, modelo Yingli. YL225 Pb-2, genera 29.5 VDC y es capaz de entregar 225 Wp en su punto de máxima potencia y bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², T_c=25 °C y AM=1.5), compuesto por 60 células policristalinas con una capa antireflectante de Nitrato de Silicio. La capa posterior blanca ofrece un excelente aspecto visual y permite una estrecha tolerancia de potencia.

Está especialmente diseñado para sistemas de inyección a red, como tejados comerciales, sistemas residenciales y plantas fotovoltaicas. Este módulo ofrece más eficiencia y fiabilidad que los productos policristalinos estándares. Se ha elegido debido a sus excelentes prestaciones dentro de la gama de módulos fotovoltaicos de alta potencia adecuados a nuestra instalación, así como por otros condicionantes como la garantía del producto, la disponibilidad de suministro en el mercado cubano y la excelente relación prestaciones/costo por módulo.

Además dispone de 3 diodos bypass que evitan la anulación completa del módulo en caso de posibles sombras. Las 60 células que lo componen se encuentran encapsuladas en el interior de dos láminas de Etilen Vinil Acetato con el fin de protegerlas de las condiciones climáticas severas como lluvia, polvo o granizo.

Central (Campo o Generador) Fotovoltaica (o)

Número máximo de módulos en serie por ramal

El valor máximo de la tensión de entrada al inversor corresponde a la tensión de circuito abierto del generador fotovoltaico cuando la temperatura del módulo es mínima. La temperatura del módulo mínima corresponde con una temperatura ambiente mínima, que definimos como 25°C y una irradiancia mínima de 1000 W/m², ya que son los valores usados habitualmente para este tipo de cálculos.

La temperatura del módulo en estas condiciones se consigue mediante la siguiente expresión:

$$T_p = T_a + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \cdot I \quad (1)$$

Dónde:

T_p Temperatura del módulo (°C)

T_a Temperatura ambiente (25 °C)

T_{ONC} Temperatura nominal de funcionamiento de la célula (47 °C)

I Irradiancia (1000 W/m²)

Introduciendo nuestros valores en la expresión (1) y sustituyendo obtenemos un valor de:

Temperatura del módulo $T_p = 58.75$ °C

Por otra parte, sabemos que la tensión en circuito abierto del generador fotovoltaico debe ser siempre inferior a la tensión máxima de entrada al inversor, ya que si por algún motivo el inversor se paraliza se puede dar una tensión en circuito abierto que impida que el inversor arranque.

Es por la razón anterior por lo que el número de módulos por ramal conectados en serie se calcula mediante el cociente entre la tensión máxima de entrada del inversor y la tensión en circuito abierto del módulo a la temperatura mínima.

Para determinar la tensión a circuito abierto del módulo a la temperatura mínima del módulo utilizamos la siguiente expresión:

$$U_{ca(Tmin)} = U_{ca(STC)} - [(25^\circ C - T_p) \cdot \Delta U] \quad (2)$$

Dónde:

$U_{ca(STC)}$ Tensión de circuito abierto del módulo

ΔU Variación de la tensión (V/ °C)

Según podemos observar en las especificaciones del módulo el valor de $U_{ca(STC)}$ es 29.5V, mientras que la variación de la tensión es de -0.160V/K.

Por lo tanto sustituimos en la expresión anterior y obtenemos un valor de: Tensión de circuito abierto a la temperatura mínima $U_{ca(Tmin)} = 24.1$ V.

El número máximo de módulos en serie por ramal es por tanto:

$$n_{max} = \frac{U_{max(INV)}}{U_{ca(Tmin)}} \quad (3)$$

Dónde:

$U_{max(INV)}$ Valor de tensión máxima de entrada al inversor (V)

$U_{ca(Tmin)}$ Valor de la tensión en circuito abierto a la temperatura mínima (V)

Si buscamos el valor máximo de entrada de nuestro inversor vemos que dicho valor es de 1000 V, con lo que sustituyendo en la expresión anterior obtenemos 41.49 módulos, los cuales ajustamos a 41 para asegurarnos que no superamos el valor de la tensión máxima de entrada al inversor.

Número máximo de módulos en serie por ramal $n_{max} = 41$ módulos

Número mínimo de módulos en serie por ramal

Cuando la tensión en el punto de máxima potencia del generador está por debajo de la tensión de entrada mínima del inversor, éste no será capaz de seguir el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico o incluso, en el peor de los casos, puede que se apague.

El número mínimo de módulos en serie por ramal viene limitado por la tensión mínima de entrada al inversor y la tensión en el punto de máxima potencia del módulo a una temperatura aproximada de 70 °C.

$$n_{min} = \frac{U_{PMP(INV)}}{U_{PMP(Tmax)}} \quad (4)$$

Dónde:

n_{min} Número mínimo de módulos en serie por ramal

$U_{PMP(INV)}$ Tensión mínima de entrada al inversor en PMP (V)

$U_{PMP(Tmax)}$ Tensión de máxima potencia del módulo a 70 °C

El valor de $U_{PMP(Tmax)}$ se calcula de la siguiente manera:

$$U_{PMP(Tmax)} = U_{PMP(STC)} - [(T_{max} - 25^\circ C) \cdot \Delta U] \quad (5)$$

Sustituyendo los valores en la expresión anterior a partir de los datos que nos dan los fabricantes del inversor y de los módulos deducimos:

Tensión de máxima potencia del módulo $U_{PMP(Tmax)} = 28$ V

Y sabiendo que el valor de $U_{PMP(INV)}$ es 400 V obtenemos un total de:

Número mínimo de módulos en serie por ramal $N_{min} = 14$ módulos

Número de ramales en paralelo

El número de ramales en paralelo se determina mediante la expresión:

$$n_{\max} = \frac{P_{PMP,fov}}{P_{PMP,ramal}} \quad (6)$$

Dónde:

$P_{PMP,fov}$ Potencia pico del generador

$P_{PMP,ramal}$ Potencia pico de un ramal

Sabemos que el número de módulos en serie por ramal estará comprendido entre 14 y 41, para nuestra instalación utilizaremos un total de 20 módulos en serie por ramal.

Por lo tanto la potencia

$$P_{PMP,ramal} = 20 \text{ módulos} \cdot 225 \text{ W/módulo} = 4\,500 \text{ Wp}$$

Como la potencia pico del generador es de 27 000 W con lo que si calculamos en la expresión (6) obtenemos un total de 6 ramales en paralelo.

Número de ramales en paralelo $N_{\text{ramales}} = 6$

Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares.

El sol se desplaza en el cielo de este a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía. Por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija; no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo.

Por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90 grados) durante toda la jornada. El ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales. En invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno.

Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. Cada latitud presenta un ángulo de inclinación óptimo. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador.

Para el caso que nos ocupa el ángulo de los paneles solares, suele ser 2° menos de su latitud (θ).

$$\beta_{opt} = \theta - 2^\circ = 20^\circ - 2^\circ = 18^\circ$$

Como nuestro país se encuentra en una latitud muy próxima al trópico de cáncer, la orientación idónea de los módulos fotovoltaicos es hacia el norte - noreste, debido a que la trayectoria del sol en movimiento este-oeste es simétrica respecto a la posición que ocupa al mediodía. Es en ese momento del mediodía cuando la captación de energía solar es máxima.

Las vertientes de la cubierta más adecuadas para maximizar la producción de energía son aquellas cuya orientación se encuentra más próxima al norte - noreste, descartando la posibilidad de utilizar las vertientes con orientación sur.

Por lo tanto para garantizar la máxima eficiencia de los módulos solares fotovoltaicos de la instalación orientaremos los mismos hacia el norte – noreste (NNE).

Resumiendo, en nuestro caso la central fotovoltaica estará integrada en su conjunto por 120 módulos fotovoltaicos de 225Wp cada uno. Los módulos fotovoltaicos serán colocados en 12 estructuras metálicas de 10 módulos cada una, con un ángulo de inclinación de 18° . Se utilizará una configuración de 3 filas y en cada fila 2 estructura, para un total de 20 módulos por fila.

La distancia entre filas estaría aproximadamente en 1.80 m. Por lo que la central fotovoltaica ocupará un área total aproximada de $36 \times 10 \text{ metros} = 360 \text{ m}^2$, lo que implica una densidad de potencia de 75 Wp/m^2 .

A continuación se expone la lista de componente a emplear, detallando las cantidades unitarias, así como las cantidades totales necesarias para la instalación futura del sistema.

No	DESCRIPCIÓN	Cant.	Precio	
			Unitario	CUC
1	Módulo fotovoltaico 225Wp/29.5 VCD	120	327.50	39 300.00
2	Estructura soporte para 20 módulos	16	700.00	11 200.00
3	Inversor Sunny Tripower 17000TL	2	7 900.00	15 800.00
4	Sunny Web Box	1	728.60	728.60
5	Sunny Sensor Box	1	420.00	420.00
6	Sensor de Temperatura Ambiente	1	80.00	80.00
7	Kit de cables y accesorios de montaje	1	6 800.00	6 800.00
8	Mano de obra de Instalación y puesta en marcha	1	916.94	916.94
TOTAL INSTALACION DEL SISTEMA				75 245.54

El consumo mensual a generar por el sistema solar (8 100 kWh) representa un 2.56 % del consumo promedio de la institución (316 265 kWh) en las condiciones actuales.

COMPARACIÓN TÉCNICA Ventajas	
Consumo de energía eléctrica generada a través del Sistema Solar Fotovoltaico propuesto.	Consumo de energía eléctrica a través del Sistema Electroenergético Nacional (SEN)
Necesita de una sola inversión inicial.	Todas las centrales termoeléctricas tradicionales que tributan al SEN no necesitan de inversión inicial, pues están construidas hace más de 25 años y superan en número a los Sistemas Solares Fotovoltaicos existentes.
Reduce el consumo de energía actual en un 2.56 %.	
Se contribuye con las políticas de conservación ambiental.	
Bajo Mantenimiento y Bajos Costos Operativos.	
Monitoreo en tiempo real de la cantidad de energía generada y ahorrada por el sistema instalado. Esta puede ser visualizada por el personal hospitalario y de igual forma puede ser anexada en el sitio web corporativo de la institución.	
Vida útil mayor a 25 años	
Disminuye la dependencia de combustibles fósiles y se evita la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de carbono), permitiendo contribuir con el cuidado del medio ambiente.	

COMPARACIÓN TÉCNICA Desventajas	
Consumo de energía eléctrica generada a través del Sistema Solar Fotovoltaico propuesto.	Consumo de energía eléctrica a través del Sistema Electroenergético Nacional (SEN)
Es una fuente intermitente de energía, depende de la energía solar recibida en la localidad, fenómeno que puede fluctuar considerablemente a través del tiempo.	Los combustibles fósiles son una fuente de energía finita, por lo tanto su uso está limitado por la disponibilidad de las reservas y/o por su rentabilidad económica.
	Sus emisiones térmicas y de vapor pueden

	alterar el microclima local. Al generar monóxido y dióxido de carbono, así como dañar la salud humana.
La construcción del sistema solar fotovoltaico es costosa.	Su rendimiento y su eficiencia es bajo, a pesar de haberse realizado grandes mejoras en los últimos años
	La conducción de estas por el tendido eléctrico causa grandes pérdidas debido a las grandes distancias entre las centrales y los consumidores.

Conclusiones

Después de realizada la comparación técnica entre el consumo energético actual y la propuesta de inyección a red de energía eléctrica, a través de un sistema solar fotovoltaico en el Hospital General Docente “Dr. Agostinho Neto” se puede concluir que la propuesta realizada:

- Necesita de una sola inversión inicial ascendente a: 75 245.54 CUC
- Reduce el consumo de energía actual en un 2.56 %.
- Contribuye con las políticas de conservación ambiental.
- Bajo Mantenimiento y Bajos Costos Operativos.
- Vida útil mayor a 25 años.
- La construcción del sistema solar fotovoltaico es costosa.
- Monitoreo en tiempo real de la cantidad de energía generada y ahorrada por el sistema instalado. Esta puede ser visualizada por el personal hospitalario y de igual forma puede ser anexada en el sitio web corporativo de la institución.
- Disminuye la dependencia de combustibles fósiles y se evita la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de carbono), permitiendo contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- La energía solar es una fuente intermitente de energía, que depende de la energía solar recibida en la localidad, fenómeno que puede fluctuar considerablemente a través del tiempo.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar C. (Cuatrimestre Enero – Abril de 2006). Sistemas de alimentación conmutados. Notas de Curso. CENIDET. Cuernavaca, México.
- Alonso, M and Abella, F. (2004). Choosing the right inverter for grid-connected PV systems”. Renewable Energy World. James and James. Disponible en: http://jxj.base10.ws/magsandj/rew/2004_02/inverter.html
- Alonso, O., P. Sanchis, E. Gubía and L. Marroyo. (2003). Multilevel H-Bridge Converter for photovoltaic systems with Independent Maximum Power Point Tracking for each photovoltaic array. European Power Electronics Conference. Toulouse. Francia.
- Calais, A., J. Myrzik, T. Spooner and V. Agelidis. (2002) Inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems – an overview. IEEE Power Electronics Specialists Conference.
- Calleja H. (2000). Estudio de inversores resonantes de alta eficiencia y seguimiento rápido de la frecuencia. Tesis de Doctorado. Cuernavaca. México.
- Contreras JR. (1997). Inversor trifásico alimentado en tensión y regulado en corriente para aplicaciones en el acondicionamiento de un motor de inducción. Tesis de Maestría. CENIDET. Cuernavaca. Morelos. México.
- Comisión Federal de Electricidad. Fuentes alternativas de energía. CONAE. México. Disponible en: <http://conae.org.mx.html>.
- Consejo Nacional de Energía. Instalación de sistemas solares sobre techos. El Salvador.
- Cugat J. (2003). Ondulador monofásico para aplicaciones fotovoltaicas: Análisis y Simulación. Tesis de Licenciatura. Escola Técnica Superior Enginyeria and Universitat Rovira i Virgili.
- Gonzáles E. (2008). Sistema fotovoltaico con mínimo almacenamiento de energía en el enlace de CD. Tesis de Maestría. CENIDET. Cuernavaca. Morelos. México.