



TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

Analisis de la implementacion de un parque fotovoltaico en la Universidad Central de las Villas

Analysis of the implementation of a photovoltaic park at the central University of las Villas

Yandi Aníbal – Gallego Landera¹
Leonardo – Casas Fernández¹

Rodolfo – Arias García²
Roberto – Sosa Plasencia³

¹Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba

²COPEXTEL Villa Clara, Cuba

³Ministerio del Interior(MININT), Cuba

E-mail: gallego@uclv.cu

Recibido: octubre del 2017 Aprobado: enero del 2018

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN/ ABSTRACT

Las fuentes renovables de energía son la alternativa del futuro ya que su impacto medioambiental es mínimo, frente a las energías actuales. El sector fotovoltaico se encuentra en estos momentos a la vanguardia de las energías renovables. Con este trabajo se analizará más detalladamente la factibilidad de la ubicación en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las villas (UCLV) de un parque solar fotovoltaico de 1 MW; lo que deberá generar en un año, lo que ahorrará al país en cuestión de dinero, combustible, emisiones de CO₂ a la atmósfera y la alternativa para el futuro de la energía solar fotovoltaica en Cuba: el sistema de seguimiento solar. También se analizarán las pérdidas en línea, el comportamiento del voltaje y la transferencia de potencias por las líneas con el *software* RADIAL, una vez analizado se propondrá el punto más factible para conexión del parque.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, parque fotovoltaico, seguimiento solar.

Renewable energy sources are the alternative of the future because their environmental impact is minimal compared to the current energies. The photovoltaic sector is now at the forefront of renewable energies. This work will analyze in more detail the feasibility of the location in the Central University "Marta Abreu" of Las Villas (UCLV) of a photovoltaic solar park of 1 MW; which will generate in a year, which will save the country on money, fuel, CO₂ emissions to the atmosphere and the alternative for the future of photovoltaic solar energy in Cuba: the solar tracking system. Also analyzed are the losses in line, the behavior of the voltage and the transfer of power by the lines with the software RADIAL, once analyzed will propose the most feasible point for connection of the park.

Key Words: renewable energy sources, photovoltaic system, solar tracking.

INTRODUCCION

El consumo global en aumento, sobre todo de la energía eléctrica, ha ocasionado grandes cambios en el ámbito de las redes de alimentación, así como también en la renovación y aplicación de las centrales eléctricas. Las repercusiones actuales en la disponibilidad y calidad de la energía atraviesan serias dificultades, por lo que se exigen soluciones que se puedan aplicar técnicamente y que respondan a las exigencias del desarrollo sostenible.

Durante las últimas décadas la utilización de las energías renovables, también llamadas “energías verdes”, ha demostrado que se puede contribuir sustancialmente a favor de la solución de este problema, no solo basándose en criterios ecológicos, sino también por motivo de la estructura descentralizada de las energías renovables [1].

La energía solar fotovoltaica constituye una fuente renovable para la generación de electricidad, este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad a gran escala para redes de distribución [2]. Debido a la creciente demanda de las fuentes renovables de energía, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años. Destacando el desarrollo tecnológico que ha logrado la República Popular China.

Desde hace unos años, los gobiernos y las instituciones públicas de muchos países han comenzado a aumentar su conciencia, no sólo frente a las limitaciones que presentan los recursos naturales, sino también frente a las consecuencias económicas de mantenerse dependientes de la importación de energías primarias de unos países cuya inestabilidad puede aumentar los precios de forma imprevisible. Por ello, son muchos ya los que han tomado diferentes tipos de medidas para fomentar el ahorro energético y el uso de energías renovables tales como la solar fotovoltaica donde el estado cubano es ejemplo de ello.

Sobre el desarrollo de las aplicaciones fotovoltaicas en Cuba se debe destacar que la mayor parte de la potencia instalada hasta el año 2011 fue en sistemas aislados al estar dirigidas a solucionar en parte las comunidades donde no ha llegado la red eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Hasta este momento la potencia instalada ascendía a 3,46 MWp. En el caso de las aplicaciones fotovoltaicas conectadas a la red su desarrollo se inició en el año 2012 con la instalación del primer MW en Cantarrana, provincia de Cienfuegos. Hoy en día nuestro país está inmerso en la política para el desarrollo prospectivo de fuentes renovables y el uso eficiente de la energía para lo cual se pretende cambiar la matriz energética incrementando la generación con fuentes renovables de energía hasta un 24 %, para lo que se pretende instalar solo en generación fotovoltaica 700 MW aprovechando la situación geográfica y las características propias de nuestro país, que le confieren condiciones excepcionales para la instalación de tecnologías que aprovechen las fuentes renovables de energía, con imponderables condiciones para la instalación de la solar fotovoltaica y la solar térmica

DESARROLLO

A. Descripción del proyecto

Este proyecto se origina producto la necesidad que existe en nuestro país de diversificar la generación de energía eléctrica, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y en concordancia con la política aprobada por el consejo de estado de aumentar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables de un 4 % actual a un 24 % para el año 2030, el interés de la Unión Eléctrica (UNE) de desplegar parques fotovoltaicos conectados a las redes eléctricas del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) como vía para incrementar la capacidad de generación eléctrica instalada, empleando la transformación directa en electricidad de la radiación solar, fuente renovable con manifestación estable y predecible en Cuba, que ha sido bien estudiada y caracterizada desde el punto de vista energético, y que:

- Reducirá la dependencia de importar combustibles fósiles que obligan al país a fuertes erogaciones de divisas, cuyos precios son inestables, y que, aunque se produzcan nacionalmente tienen elevado valor añadido si se emplean como materias primas para importantes procesos industriales.
- Fortalecerá el sistema eléctrico en la zona principalmente al reducir las pérdidas eléctricas desde el generador hasta los usuarios [3].
- Reducirá los impactos ambientales debidos al calentamiento global por emisiones de gases de efecto invernadero y las lluvias ácidas.

Tras la visita del viceministro de Energía y Minas a la UCLV a finales de 2015, se le solicitó la construcción de un parque fotovoltaico en la misma, propuesta que fue aceptada y puesta en marcha con la previa autorización de las instituciones pertinentes, el objetivo principal de este proyecto es realizar el diseño y el estudio técnico analizando las posibles conexiones del parque fotovoltaico de la UCLV

B. Localización

La ubicación del parque será en la zona suroeste de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, tal como se muestra en la figura 1; dicho parque va a inyectar energía a la red a través de un transformador central de conexión. El terreno comprende el parque en sí, además, toda la infraestructura de apoyo y su conexión con el SEN será a través de 34.5 kV debido a que cerca de la facultad llega un ramal trifásico, pero de un nivel de voltaje de 4 kV; que su conversión a 13.8 kV no se ha aprobado aún, por lo que su conexión a este voltaje es improbable. El circuito de 34.5 kV al que se va a conectar es el que alimenta el nodo de la universidad; o sea, la subestación en la que comienzan los circuitos que brindan servicio a la UCLV.

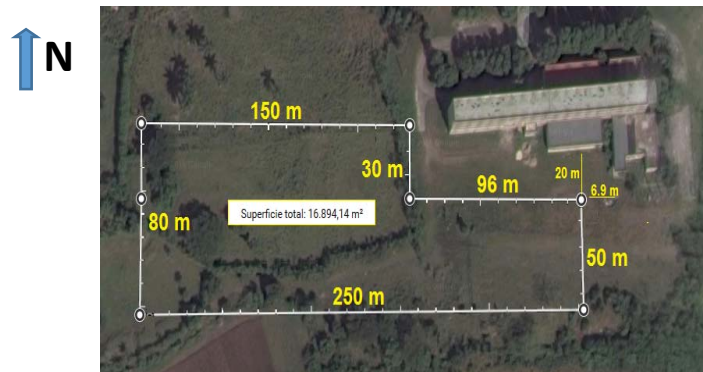


Fig.1. Ubicación del parque.

C. Descripción del circuito

El circuito al cual va tributar la instalación tiene su origen en la subestación (Santa Clara Industrial) que cuenta con un transformador de 25 MV.A de 110/34.5 kV, el que se alimenta a través del interruptor 6375. Las líneas que conforman el tronco del circuito tienen un recorrido de 38 km aproximadamente; cuenta con 11 nodos importantes que suman un total de 13 transformadores trifásicos (3f) y tres monofásicos (1f); todos los ramales son trifásicos, y casi en su totalidad tiene conductor de Cobre 3/0, aunque también hay ramales con conductor de Aluminio 70. Tiene posibilidades de conexión con los circuitos de los interruptores 1550 hacia la misma subestación, 1551 y 1552 hacia la subestación Santa Clara 110 kV y el 6611 hacia Camajuaní, véase la figura 2. Entre los nodos que alimenta se encuentra, lógicamente, el de la UCLV.

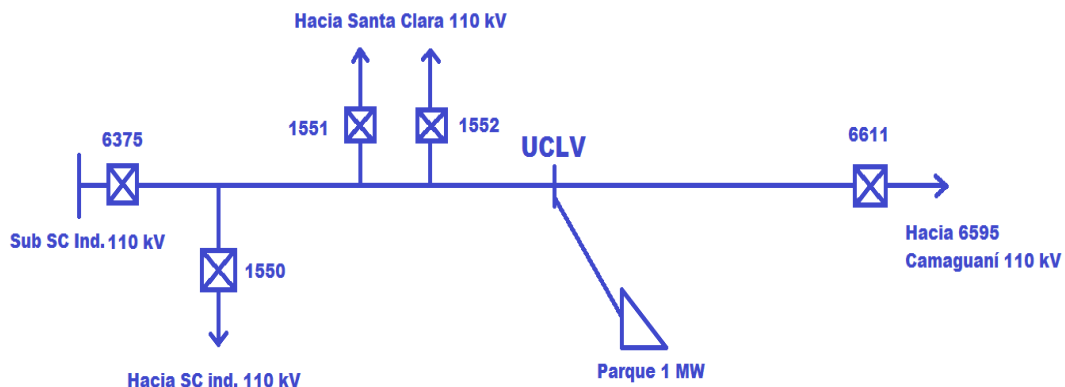


Fig. 2 Monolineal del circuito.

D. Evaluación del emplazamiento

El área seleccionada para el emplazamiento de la planta fotovoltaica es llana, y tiene las condiciones que facilitan su construcción, conexión a la red eléctrica y futura operación. En resumen, sus ventajas son:

- Excelente exposición de los paneles fotovoltaicos, libres de obstáculos naturales o edificaciones que proyecten sombras que afecten su eficiencia.
- No tiene restricciones para su orientación al Sur puro (acimut 0°) lo cual maximiza la generación de electricidad.
- Buena accesibilidad para el traslado de equipos pesados en su etapa constructiva (nivelación del terreno, acarreo de materiales, movimiento de tierra).
- La calidad del aire en la zona es satisfactoria para el propósito planteado al no haber emisiones industriales que puedan provocar deposiciones de polvos sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos que afecten su eficiencia. Ni aerosoles marinos.

E. Características tecnológicas

Para la protección, el mantenimiento ligero y supervisión de su funcionamiento el parque será atendido por operadores. Dispondrá de acceso por vía remota a través de sistemas de comunicaciones convencionales. Tendrá un pequeño local de control automático que alojará los armarios generales de protecciones y de medición, con facilidades básicas para apoyar las labores de verificación y mantenimiento; además, contará con un sistema automatizado de vigilancia tecnológica y sistema de alarma contra intrusos.

Los principales objetivos de obra son:

- Cercado perimetral
- Garita de control de acceso
- Camino perimetral exterior
- Caminos interiores
- Caseta de control
- Transformador de conexión a red
- Protecciones de media tensión
- Cables soterrados
- Sistema de supervisión remota de la operación.
- Sistema de malla de tierra.
- Sistema de vigilancia tele-comandada.
- Se utilizarán 189 estructuras soportantes, de 4x5 módulos de 250 Wp, organizadas en 15 filas con una separación de 2.60 m, cada fila constará con 252 módulos fotovoltaicos, la longitud de la estructura de descanso tendrá 3.97 m y el largo de las mesas en filas será de 107 m, con un ancho del arreglo de 95 m, además los módulos fotovoltaicos se anclarán a las estructuras metálicas con un plano de 19° respecto a la horizontal y con orientación al Sur puro (acimut 0°), figura 3.

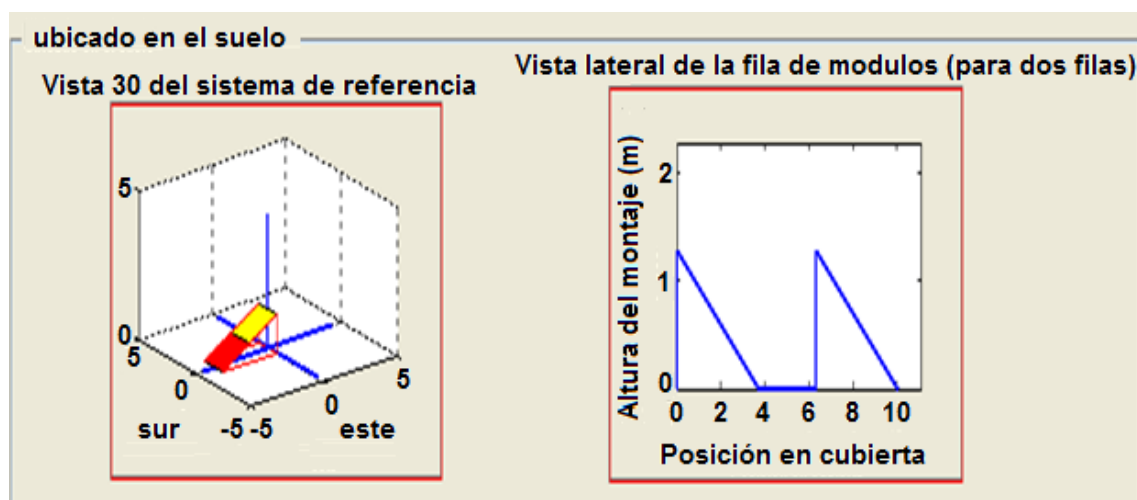


Fig. 3 Configuración de la estructura soportante en el suelo.

F. Equipamiento tecnológico principal

El equipamiento tecnológico del parque consta de:

- 3 780 módulos fotovoltaicos de silicio (mono o poli cristalino) con potencia de 250 Wp y tolerancia positiva.
- Conexiones entre módulos – Mediante cables con conectores del tipo Multi-contact para garantizar rápida instalación con máxima fiabilidad y durabilidad de las conexiones.
- 60 inversores SMA de potencia 17 kW, rango de operación de 400 - 800 V o de prestaciones similares. 21 módulos en serie por inversor y 3 ramas en paralelo por inversor.
- Dispondrá de una alimentación independiente para servicio de planta que asegure energía para la vitalidad de los inversores, el sistema de monitoreo y de protección física.
- Constará con un sistema de supervisión remota para la comunicación, el registro y la transmisión de datos, donde se emplearán dos vías independientes de comunicación, según establecen las normativas de la Unión Eléctrica, además de sensores externos para monitorear variables meteorológicas adicionales (al menos temperatura ambiente, temperatura de módulos, velocidad del viento).

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

A. Cálculo de la energía

Uno de los aspectos más importantes en este análisis es determinar la energía eléctrica anual generada por la instalación, pues es la justificación de su construcción, práctica esta que ha ganado extraordinaria relevancia en todo el mundo ofreciendo una variante prometedora en la integración de una nueva forma de generar energía eléctrica.

Se han utilizado dos métodos para determinar el aporte energético del parque, el primero consiste en estimar la generación a partir de los datos primarios obtenidos de diferentes fuentes como se muestra a continuación:

- Área de un módulo fotovoltaico, 1.64 m de largo por 0.92 m de ancho; $(1.64 \times 0.92 = 1.5)$ 1.5 m².
- Módulos del parque: 3 780 módulos, lo que da un área total de: $(1.5 \times 3780 = 5703)$, 5 703 m² de paneles solares.
- Según datos de la NASA en [4], para el punto de ubicación (22.4°N; -79.96°W) la irradiación promedio es de 5 kW.h/m² diarios.
- Según [5, 6] la eficiencia de un módulo fotovoltaico es del 15%.
- Energía eléctrica diaria generada: $(5 \times 0.15 = 0.75)$ y se obtiene 0.75 kW.h/m² diarios.
- Finalmente, la energía anual generada por el parque es de: $(0.75 \times 365 \times 5703 = 1\,561\,196)$, o sea 1 561 MW.h/año energía generada por el parque.

Para el segundo método se empleó un simulador, confeccionado en SIMULINK del paquete matemático MATLAB, que contiene todos los modelos necesarios para la realización de disímiles análisis del sistema, se realiza el estudio de factibilidad económica y el impacto medio ambiental del sistema, para lo que se toma en cuenta parámetros estandarizados de centrales térmicas y la tecnología fotovoltaica :

- CO₂ dejado de emitir a la atmósfera 0.826 kg/kW.h.
- Petróleo dejado de consumir 0.25 kg/kWh.
- Costo de los inversores de 0.3 Euros/W.
- Costo de los módulos fotovoltaicos 0.60 CUC/Wp.
- Valor del *kit* de instalación 1% del valor del Generador Fotovoltaico.
- Costo de Instalación del sistema 100 USD/kWp.
- Costo de la energía para realizar los cálculos de amortización de la inversión 0,13 CUC/kW.h.

Las figuras 4 y 5, muestran los resultados obtenidos en las simulaciones para los bloques del metro contador de energía y de análisis económico e impacto medioambiental.

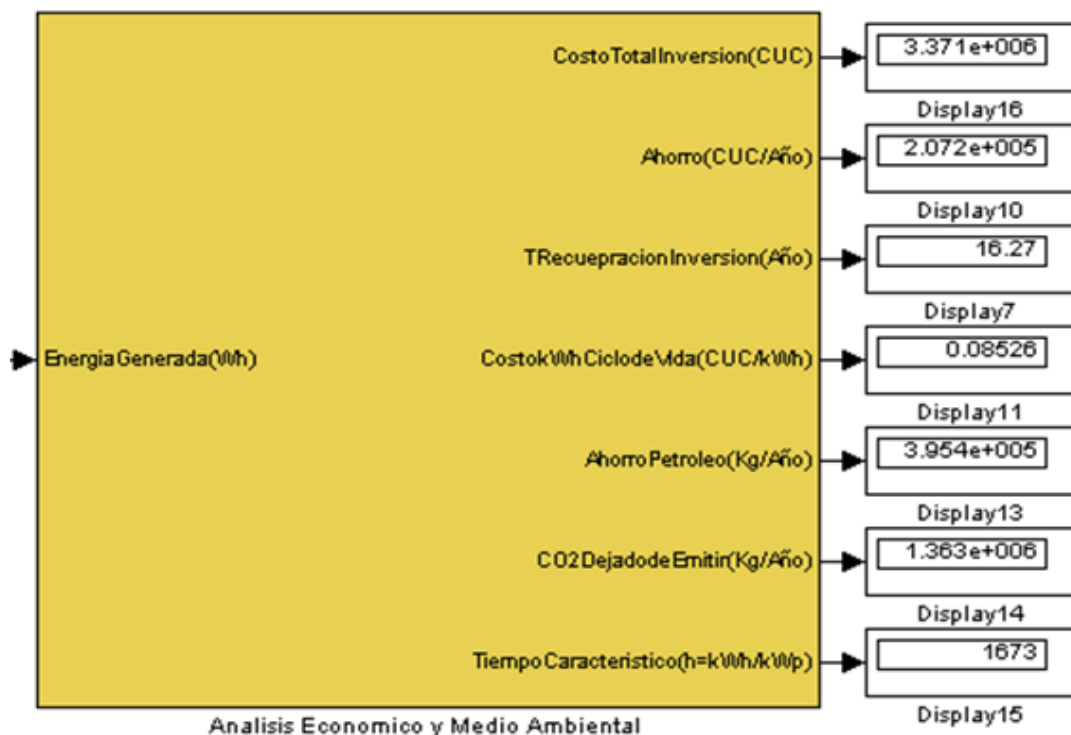


Fig.4 Resultados de la simulación del sistema para el bloque de análisis económico y medio ambiental

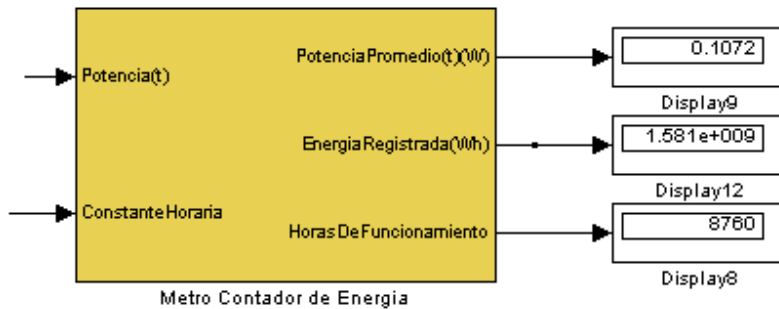


Fig. 5 Resultados de la simulación del sistema para el bloque metro contador de energía.

La tabla 1 , posee a modo de resumen los principales resultados que se esperan de la planta fotovoltaica durante su trabajo anual y considerando un ciclo de vida de 25 años.

Tabla 1. Resultados de los cálculos realizados con el software “Simulador de sistemas fotovoltaicos conectados a la red”.

| Ítem | Unidad de medida | Cantidad |
|---|------------------|----------|
| Energía Generada | MW.h/año | 1 581 |
| Ahorro Anual | Miles CUC/año | 207,2 |
| Costo del kW.h en el ciclo de vida del sistema | CUC/kW.h | 0,08526 |
| Tiempo característico | H = kW.h/kWp | 1 673 |
| Costo total de la inversión | Millones USD | 3,37 |
| Petróleo dejado de quemar | t/año | 395,4 |
| CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera | t/año | 1 363 |

Como puede apreciarse la diferencia entre ambos métodos es de apenas 20 MW.h/año, lo que representa una diferencia del orden de 1 %. Para instalaciones típicas con estas características según la UNE las pérdidas en el cableado, los inversores y transformadores son aproximadamente de un 5 %, lo que da una generación neta de 1 480 MW.h/año.

Se debe de señalar claramente que todos los cálculos se desarrollaron tomando en consideración los parámetros estandarizados antes señalados, sin embargo, las valoraciones económicas se realizaron sobre la base de considerar el costo de la energía a 0,13 CUC/kW.h, por lo que de variar ese valor, proporcionalmente a variará el ahorro anual, el tiempo en que se recupera la inversión del sistema y el costo del kW.h en el ciclo de vida del sistema.

Este último aspecto es vital en el análisis, por cuanto para una inversión grande de 3.37 MM de CUC la planta es capaz de generar durante 25 años una energía que al final de su vida útil solo ha costado 0,0853 CUC/kW.h.

En la tabla también se puede observar el impacto medio ambiental que posee el sistema por la elevada cantidad de gases de efecto invernadero que deja de emitirse a la atmósfera.

B. Alternativa del uso del seguimiento solar

En [7-9] se realizan estudios comparativos de los sistemas fotovoltaicos fijos, con seguimiento solar en un eje y un doble eje, en los mismos se muestra que el incremento de la generación al usar los seguidores de dos ejes, con respecto a los paneles fijos es del orden de un 45%.

Para el caso que se analiza, generación anual de 1 480 MW.h, esta cifra representa 666 MW.h/años adicionales. De acuerdo con [10], un seguidor solar de dos ejes de 70 m² cuesta 8 779.29 Euros, mediante las ecuaciones (1, 2, 3 y 4), se obtiene la inversión adicional que implica la incorporación de este seguidor solar de dos ejes al parque

$$\text{Módulos } _ \text{ por } _ \text{ equipo} = \frac{70m^2}{1.5m^2} \approx 45 \quad (1)$$

$$\text{cantidad } _ \text{ equipos} = \frac{3720}{45} = 84 \quad (2)$$

$$\text{cos to } _ \text{ equipo} = 84 \cdot 8779.29 = 737460 \text{ €} \quad (3)$$

$$\text{cos to } _ \text{ en } _ \text{ CUC} = 737460 \cdot 1.1 = 811206 \text{ CUC} \quad (4)$$

Con estos datos y aplicando las ecuaciones (5 y 6), se calculan los índices de CUC/MW.h/año

$$paneles _ fijos = \frac{3.37 \cdot 10^6}{1480} = 2277 \frac{CUC}{MW \cdot h / año} \quad (5)$$

$$con _ dos _ ejes = \frac{3.37 \cdot 10^6 + 0.811 \cdot 10^6}{1480 + 666} = 1948 \frac{CUC}{MW \cdot h / año} \quad (6)$$

Lo que permite afirmar que se obtienen beneficios del orden de un 14% sobre los parques fijos. Es evidente que sólo la verificación final para las condiciones de Cuba será la que ofrezca resultados más precisos, pero los aquí expuesto son una invitación nada despreciable para tener en cuenta esta variante.

C. Ahorro del proyecto

Para evaluar la factibilidad del proyecto se calcularon los ahorros e ingresos que se originan por concepto de:

Ahorro de combustible.

Una de las ventajas del uso de energías renovables, es precisamente la sustitución de combustibles fósiles, los cuales además de contaminar el medioambiente han tenido precios significativamente elevados durante las últimas décadas. Favorablemente, la instalación de los PSFV (Parques Solares Fotovoltaicos) permitirá ahorrar anualmente 207 000 CUC/año, por las 395 toneladas de diésel dejadas de usar.

Medio ambiente

Como ya se señaló, la ejecución de esta inversión tiene como objetivo construir el Parque Solar Fotovoltaico (PSFV) con una potencia total de hasta 1 MW para incrementar las entregas de energía al Sistema Eléctrico Nacional a partir de fuentes renovables, lo que permite reducir el consumo de combustible fósiles en el SEN, y por consiguiente disminuye la contaminación ambiental.

El efecto positivo que supone la generación eléctrica con energía solar queda reflejado en primer término, en la eliminación de las emisiones gaseosas, en comparación con las producidas en centrales térmicas [11].

Para el cálculo de la cantidad de emisiones de CO₂ se emplea la ecuación (7), donde se tuvo en cuenta el factor de emisión utilizado por la UNE con cierre año 2012, dato ofrecido por la UEB de Ingeniería Ambiental de INEL: 0,862 t de CO₂ por cada MW.h generado.

$$GPS \cdot Fe = tCO_2 \quad (7)$$

Dónde:

GPS: Generación anual del parque (MW.h).

Fe: Factor de Emisión de CO₂ por cada MW.h generado en el SEN.

Lo que representa 1 363 t/año dejadas de emitir hacia la atmósfera. Un impacto considerable que el medioambiente agradece.

D. Impacto del PSFV sobre el circuito

Con el software RADIAL se simuló el parque operando en el circuito 6375 de la Subestación Santa Clara Industrial con, y sin el PSFV durante un día típico, valorando los aspectos siguientes:

- Las pérdidas de potencia en línea.
- La situación del voltaje en los nodos del circuito.
- Las pérdidas de energía en las líneas.
- La demanda en la hora 12.

La tabla 2, muestra los resultados obtenidos por el software RADIAL, exponiendo una mejora en los mismos en la hora de máxima generación del parque, lo que corrobora que estamos en presencia de una alternativa para el mejoramiento de las condiciones actuales del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), en el caso de los aspectos antes analizados. En la figura 6, se muestra el comportamiento del gráfico de carga del circuito sin y con el PSFV.

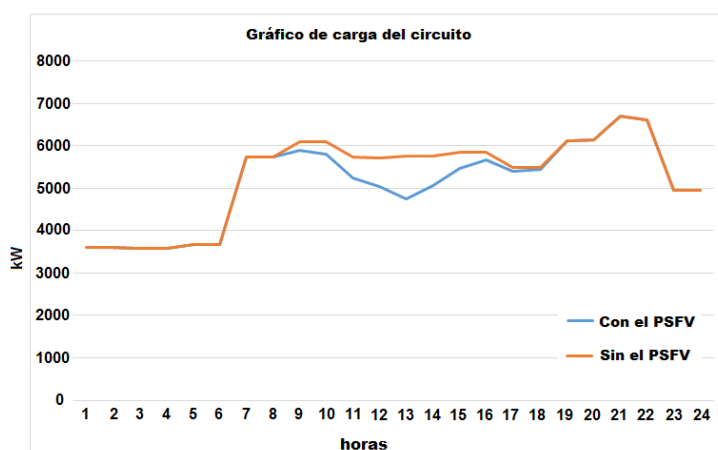


Fig.6 Gráfico de carga del circuito con y sin PSFV.

Tabla. 2 Situación del circuito.

| | kV mín. (kV) | ΔP en líneas hora 12 (kW) | ΔE en el día | Demanda hora 12 (kW) |
|-----------|--------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Sin panel | 34 | 63 | 1328 | 5750 |
| Con panel | 34 | 47 | 1255 | 4750 |

Las pérdidas de energía se reducen en 73 kW.h/ día (26,6 MW.h anuales) debido a la diferencia entre 1 328 – 1 255 que son las pérdidas de energía sin y con el parque en operación. El voltaje no sufre variaciones considerables y las pérdidas en líneas disminuyen al orden de los 47 kW.

CONCLUSIONES

Al desarrollar este trabajo se arribaron a las conclusiones siguientes:

- La planificación y montaje de un PSFV trae consigo innumerables aspectos a tener en cuenta, en la actualidad los mismos están normados, lo que no se descarta la adaptación que pueda tener al medio donde se desea instalar.
- Como resultado de las consultas a la bibliografía especializada, y de los cálculos llevados a cabo, la conexión del PSFV a la red de 34.5 kV resulta la más adecuada debido a que el circuito actual de 4 kV no cumple los requisitos técnicos y una nueva red de 13 kV para alimentar a la universidad y al parque no estaría disponible para el año 2017 a causa de la laboriosidad que implica su construcción teniendo en cuenta las instalaciones soterradas existentes.
- Con la implementación de todo el esquema de los circuitos estudiados con el software RADIAL se ha determinado el efecto favorable del PSFV el que se materializa en un ahorro de 395 toneladas de petróleo anual y la reducción de las emisiones de CO₂ en el orden de 1 363 toneladas anuales.
- Esta instalación ha de permitir la participación activa de profesores, investigadores y estudiantes en los estudios e investigaciones asociados a los PSFV.
- En el estudio de estabilidad no se detectan anomalías que puedan atentar contra el buen funcionamiento del sistema eléctrico.

REFERENCIAS

- [1] GIRAUDI, C. M, et al. Ingeniería Energetica 2014, vol. 35, n. 2, p. 141-148, ISSN 1815-5901. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/370180>
- [2] LARA-COIRA, M., et al. "Sostenibilidad de los sistemas de generación eléctrica". DYNA, 2016, vol. 91, n. 2, p.132-133. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://www.revistadyna.com/busqueda/sostenibilidad-de-sistemas-de-generacion-electrica>
- [3] BAHREYNI, S. A. H., et al. "Loss reduction in a probabilistic approach for optimal planning of renewable resources," En: actas de Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC), 2017 Conference on, (Semnan, Iran 19-20 de Abril de 2017), ISBN 978-1-5386-3011-2. Disponible en : <http://ieeexplore.ieee.org/document/8012734/>

- [4] STACKHOUSE, P.W., NASA: Surface meteorology and Solar Energy. [en línea] [fecha de consulta: 12 junio 2017] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=22.43&lon=-79.9&submit=Submit>
- [5] KWON J. M., et al. "High-efficiency module-integrated photovoltaic power conditioning system," IET Power Electronics, 2009, vol. 2, n. 4, p. 410-420, ISSN 1755-4543. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5160808/>
- [6] SUN, D., et al. "Modeling, Impedance Design, and Efficiency Analysis of Quasi- Z Source Module in Cascaded Multilevel Photovoltaic Power System," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, vol. 61, n. 11, p. 6108-6117, ISSN 0278-0046. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6736062/?denied>
- [7] AFRIN, F., et al. "Installing dual axis solar tracker on rooftop to meet the soaring demand of energy for developing countries," En: actas de India Conference (INDICON), 2013 Annual IEEE, (Mumbai, India, 13-15 de diciembre de 2013), ISBN 978-1-4799-2276-5. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6726033/>
- [8] RAY, S., at al. "Design and development of Tilted Single Axis and Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracking systems," En: actas de Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), IEEE International Conference, (Delhi, India, 4-6 de Julio de 2016), ISBN 978-1-4673-8588-6. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7853190/>
- [9] BOICEA, A. V., et al. "Comparison of operating parameters in grid connected photovoltaic systems with Single/Double sun-trackers at different latitudes," En: actas de Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), 2010 International Symposium, (Pisa, Italia 14-16 de junio de 2010), ISBN:978-1-4244-7919-1. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5542213/>
- [10] TECHNOSUN. Listado de precios [en línea] [fecha de consulta: 12 julio 2017] Disponible en: <http://www.technosun.com/es/descargas/TECHNO-SUN-lista-precios-solar-fotovoltaica.pdf>
- [11] LEMBO, G., at al. "Reduction of power losses and CO₂ emissions: Accurate network data to obtain good performances of DMS systems," En: actas de CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on, (Prague, Republica Checa 8-11 de Junio de 2009), ISBN 978-1-8491-9126-5. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5255549/>