

LOCALIZACIÓN DE SITIOS PARA FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES UTILIZANDO EL SOFTWARE SAM

MSc. Kirenia de la Caridad Viamontes Ravelo - Universidad de Camagüey, Cuba

Dr.C. Luis Benigno Corrales Barrios - Universidad de Camagüey, Cuba

MSc. Naryara Ronquillo Valdés - Universidad de Camagüey, Cuba

Dr.C Yoesdely Cruz Acosta - Universidad de Camagüey, Cuba

Resumen

En el presente trabajo se realiza un análisis de las variables necesarias para localizar emplazamientos que empleen fuentes de energía renovable en el sistema electroenergético. Se hace una revisión de los diferentes tipos de software utilizados a nivel internacional como el HOMER, SAM, WEKA, PV F-Grafico, PV PLANNER, PVSYST, SOLAR PRO, y PROMETHEE, así como las técnicas y algoritmos que se aplican en ellos. Se argumenta el uso del software SAM basado en algoritmos genéticos, para la localización óptima de emplazamientos de fuentes renovables de energía en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). analizándose datos para una posible ubicación de un emplazamiento de un parque solar fotovoltaico ubicado en una zona cercana entre el aeropuerto Ignacio Agramonte y camino Viejo de Nuevitas. Las coordenadas de su ubicación (latitud, longitud) son 21.39,-77.83 en Camagüey, el puente de Jibara Las Tunas, 46,9N, -96,8E GMT -6 y se obtienen los resultados que validan la propuesta utilizando el software SAM como herramienta digital.

PALABRAS CLAVES: energía renovable; Variables; software SAM; localización optima; parque solar fotovoltaico.

Summary

In the present work an analysis of the variables necessary to locate sites that use renewable energy sources in the electrical energy system is carried out. An review of the different types of software used internationally such as HOMER, SAM, WEKA, PV F-Grafico, PV PLANNER, PVSYST, SOLAR PRO, and PROMETHEE is made, as well as the techniques and algorithms that are applied to them. . The use of the SAM software based on genetic algorithms is argued for the optimal location of locations of renewable energy sources in the National Electroenergetic System (SEN). Analyzing data for a possible location of a photovoltaic solar park site located in a nearby area between the Ignacio Agramonte airport and Old Road of Nuevitas. The coordinates of its location (latitude, longitude) are 21.396158333333332,-77.83101944444444 in Camagüey, the Jibara Las Tunas bridge, 46.9N, -96.8E GMT -6 and the results that validate the proposal are obtained using the SAM software as digital tool.

KEYWORDS: renewable energy; variables; SAM software; optimal location; photovoltaic solar park.

1. INTRODUCCIÓN

En Cuba el consumo de energía va de la mano con el crecimiento económico y, por ende, con la capacidad de generación, transmisión y distribución con el fin de asegurar la disponibilidad de energía; es decir, su seguridad energética. Esto representa el desafío que implica aumentar la eficiencia energética (EE) y la porción de energía renovable (ER) en sus matrices energéticas. (BITENC, 2020)

Las fuentes renovables de biomasa, solar fotovoltaica, eólica, son las de mayor explotación en Cuba ya que éstas dependen de los recursos naturales de la zona en cuestión. Cada fuente renovable tiene características específicas que son las que las diferencian unas de otras. Basado en esas características se determinaron las variables claves que permitirían ubicar la localización óptima para el emplazamiento de cada fuente renovable utilizando como método principal la información de datos geográficos del lugar en cuestión. La búsqueda de dichas variables es el resultado de un estudio exhaustivo, principalmente en el caso de las variables particulares para cada tipo de fuente. Ya que éstas deben ser estudiadas por un largo período de tiempo para definir si el potencial energético y la orografía de la zona escogida son los mejores para la ubicación de los emplazamientos. Por otra parte, están las variables generales las

cuales estarán vigentes en todas las fuentes renovables pues éstas constituyen normas que deben cumplirse a la hora de escoger el emplazamiento y también determinan la factibilidad del proyecto.

De acuerdo a lo explicado anteriormente, resulta de interés hacer un análisis para la localización óptima de emplazamientos renovables de energía fotovoltaica, definiendo las principales variables que la determinan, la información requerida y que constituya un aporte de interés para las empresas e inversionistas del área. (X,Yu; W, Li; A, Malak; M, Rosen; A, Komeili Birjandi & L,Tang, 2021)

Estas variables se seleccionan a partir de las características específicas de cada fuente renovable de energía y pueden agruparse en los siguientes grupos para su evaluación:

- Variables orográficas: Composición del terreno, Accesibilidad, Pendiente, Inicialización, Ubicación física.
- Variables energéticas: Disponibilidad de fuente primaria, Pérdidas, Interconexión con el Sistema Electroenergético, Potencial energético.
- Variables medioambientales.: Hidrología / Afección a cauces, Usos del Suelo, Vulnerabilidad o fragilidad paisajística, Vías de comunicación.
- Variables económicas: Costo de inversión, Pérdidas, Costo de operación y mantenimiento.
- Variables meteorológicas: Radiación atmosférica, Temperatura ambiental (extremas), Nubosidad, Grado de insolación.

Estas actúan, generalmente, como variables de entrada y pueden ser de máxima o mínima en los sistemas donde se parametrizan para obtener un resultado óptimo tomando en consideración restricciones entre las que se pueden mencionar el número de módulos FV, capacidad de los aerogeneradores, estado de carga de las baterías y nivel de las emisiones

La utilización de software como herramientas indispensables para los procesos de optimización se ha convertido en un aliado para los investigadores en el área de las energías renovables. Permiten además, desarrollar simulaciones de cómo los sistemas renovables responde a las necesidades eléctricas de una zona.

En general, los métodos de inteligencia artificial (IA) son una respuesta al deseo de aproximar el comportamiento y el pensamiento humano a diversos sistemas para la solución de determinadas problemáticas. En la actualidad los métodos de la inteligencia

artificial (IA) tienen un gran auge y muchos investigadores se encuentran estudiando nuevas alternativas en el área. Lo que se pretende con estos métodos en ingeniería es resolver los problemas, no sólo de una manera novedosa, sino sobre todo tener mejores soluciones, más eficientes y mejor planeadas. La optimización determina el valor óptimo de las variables sobre las que el diseñador del sistema tiene control, como la combinación de componentes que componen el sistema y el tamaño o la cantidad de cada uno. (X,Yu; W, Li; A, Malak; M, Rosen; A, Komeili Birjandi & L,Tang, 2021)

En los últimos años para evaluar, dimensionar y modelar sistemas híbridos y/o renovables existen disímiles herramientas computacionales como HOMER, SAM, PV F-GRÁFICO, PVPLANNER, PVSYST, PROMETHE Y WEKA entre otros. Estas herramientas permiten desarrollar simulaciones de cómo los sistemas renovables responden a las necesidades eléctricas de una zona. En los estudios de optimización, las restricciones serán parte clave en la labor de encontrar una solución óptima, ya que definirán los límites para el espacio de búsqueda (S. M, Mahmoudi; A, Maleki & D, Rezael, OHBELAGH, 2021)

El software HOMER realiza tres tareas principales: simulación, optimización y análisis de sensibilidad. En el proceso de simulación, HOMER modela el desempeño de una configuración particular de un sistema de micro energía cada hora del año para determinar su viabilidad técnica y el costo del ciclo de vida. (GONZALEZ,E, GUALOTUNA.& QUINTEROS FLORES, J., 2022)

En el software SAM la arquitectura del sistema se especifica mediante una definición recursiva de teoría de conjuntos, de modo que las composiciones de varias capas y los refinamientos del sistema jerárquico se pueden definir y analizar por separado. (FAN, X.; SAYER, S. Z.; HAN & CHIZARI, H., 2020)

El software WEKA Es de libre distribución (licencia GPL) y destacada por la cantidad de algoritmos que presenta gran cantidad de herramientas para la realización de tareas propias de minería de datos, la visualización y permite la programación en JAVA de algoritmos más sofisticados para análisis de datos y modelado unidos a una interfaz gráfica de usuario para acceder fácilmente a sus funcionalidades.

El PV F-GRÁFICO es un programa de diseño de análisis de sistemas fotovoltaicos que utiliza datos de radiación solar para calcular la generación de energía fotovoltaica basándose en un módulo genérico y un inversor. Todos los datos deben agregarse manualmente y, por lo tanto, es difícil comparar rápidamente los datos de generación cambiando los datos del módulo, la capacidad del sitio o la ubicación. Sin análisis de

sombreado. No apto para el cálculo de la potencia fotovoltaica en condiciones reales. Se pueden generar gráficos simples o datos tabulados, pero no se pueden exportar. No hay posibilidad de agregar datos del módulo o del inversor al cálculo.

El software PVPLANNER proviene del proveedor de bases de datos de recursos solares Solar Gis. Es un software basado en la nube que funciona en la plataforma SaaS (software como servicio) y afirma que sus datos son altamente precisos y ofrece un enfoque de validación sistemático riguroso que aumenta la confiabilidad de los datos. Calcula automáticamente el sombreado del terreno, sin embargo, no hay opciones para configurar estructuras circundantes o realizar análisis de sombreado cercano. Sólo está disponible como versión en línea, por lo que es obligatoria una conexión a Internet. Permite a las empresas utilizar su API y acceder a Solar Gis a través de aplicaciones de terceros. La configuración es sencilla basada en simulación en tres pasos. Los mapas interactivos de recursos solares de alta resolución (iMaps) permiten a los usuarios identificar con precisión la ubicación del sitio. La interfaz es ordenada e intuitiva, pero el rendimiento de la interfaz podría verse afectado por las velocidades de conectividad a Internet, lo cual es un inconveniente del software en línea. (CARREÑO, M. & MARES, Jesús, 2021)

El software PROMETHEE es un método de decisión multicriterio discreta basado en sobreclasificación. Existe una implementación de software más reciente, completa y actualizada de los métodos PROMETHEE y GAIA llamada Visual PROMETHEE.

Este es un software para la Ayuda a la Decisión Multicriterio que ha sido diseñado para: evaluar un conjunto de alternativas de acuerdo con criterios múltiples usualmente en conflictos entre sí; identificar las mejores soluciones de compromiso; ordenar las alternativas desde la mejor a la peor; clasificar las alternativas en clases predefinidas; visualizar problemas de decisión o evaluación para comprender mejor las dificultades de adoptar buenas decisiones; alcanzar decisiones de consenso cuando diversos decisores poseen puntos de vista conflictivos; justificar o validar decisiones. (BARBERIS, 2005)

2. INFORME CIRCUNSTANCIADO.

2.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO APLICAR.

Para la investigación se escogió el software System Advisor MODEL (SAM) es un programa gratuito que calcula el rendimiento, el costo y las medidas financieras diseñado para facilitar la toma de varias alternativas para una selección óptima de

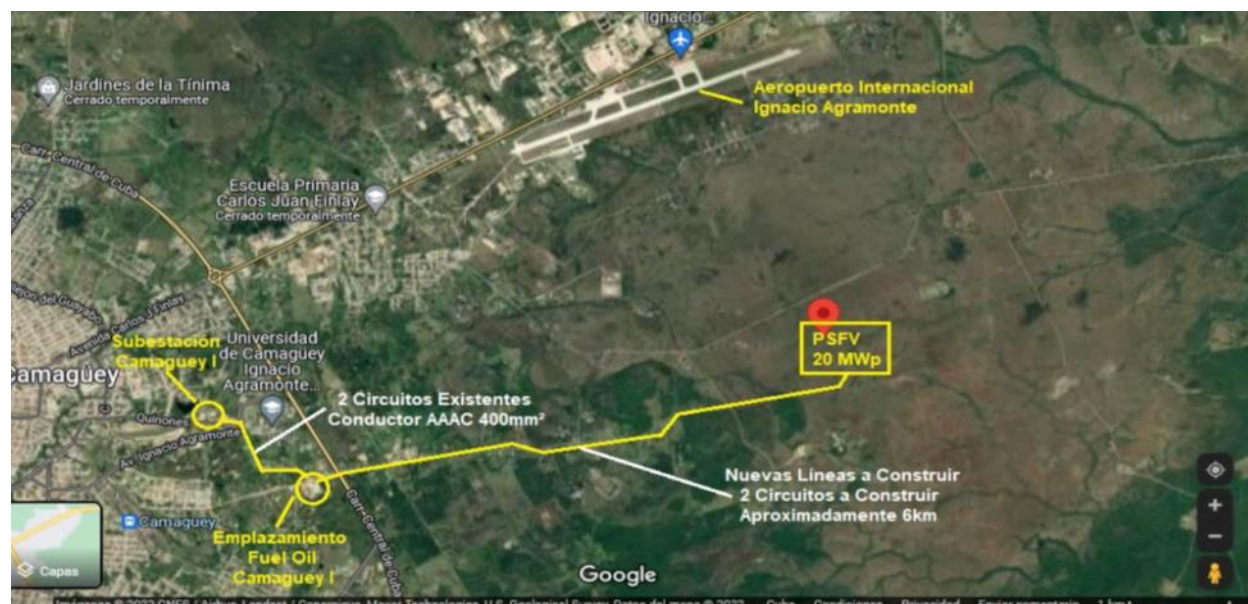
emplazamientos en la industria de fuentes renovables de energía. (FAN, X.; SAYER, S. Z.; HAN & CHIZARI, H., 2020) Este método tiene amplias ventajas: Está diseñado con una plataforma consistente, realiza análisis paramétricos y de incertidumbre, incluye varias bases de datos sobre rendimiento y coeficientes para componentes del sistema, como módulos e inversores fotovoltaicos, receptores y colectores cilindro - parabólicos, turbinas eólicas o sistemas de combustión de bioenergía. Los modelos de rendimiento de SAM realizan cálculos de series temporales (por hora o sub - horas) de la producción eléctrica de un sistema de energía, generando datos de series de tiempo que representan la producción de electricidad del sistema durante un solo año. Puede explorar las características de rendimiento del sistema en detalle mediante la visualización de tablas y gráficos de los datos de rendimiento de series de tiempo, o utilizar métricas de rendimiento como la producción anual total del sistema y el factor de capacidad para evaluaciones de rendimiento más generales.

Específicamente utilizando esta herramienta se determinó el estudio de la ubicación de un emplazamiento para la ubicación de un PSFV por ser una de las fuentes no convencionales más explotadas en nuestra matriz energética y tomando en consideración las variables y datos obtenidos por la Empresa Eléctrica de la provincia de Camagüey que determinan que la elección fue acertada.

2.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN.

Se delimitó, a partir de la aplicación del software SAM basado en algoritmos genéticos, para la localización de emplazamientos de fuentes renovables de energía en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), que la zona cercana entre el aeropuerto Ignacio Agramonte y camino Viejo de Nuevitas, es la que a partir de un estudio de la orografía del terreno, la distancia a la red eléctrica y la pendiente es la más acertada para la ubicación de PSFV. (Bolla, 2021) Las coordenadas de su ubicación (latitud, longitud) son 21.39, -77.83 en Camagüey. (Figura 1)

Figura 1: Ubicación de la zona del lugar del emplazamiento para fuente fotovoltaica.



Fuente: Suministrada por la Empresa Eléctrica de la provincia de Camagüey.

A partir del análisis técnico –económico que provee el software Sam se propone que se utilicen 7 módulos por string con celdas de material mono-c-Si conectadas en paralelo con una potencia instalada para corriente directa de 335,2 W y una tensión en DC de 475,30 V. Se propone que el PSFV se interconectará a las Barras de 13.8 kV de la Subestación Camagüey I de 110/13.8 kV a través de dos líneas de 13.8 kV. Esta propuesta se debe a que, a pesar de existir una distancia corta entre el PSFV y el punto de interconexión, existe la posibilidad de falla de una de las líneas de salida y en este caso no se perdería la potencia generada, quedando la transferencia a través del otro circuito.

La subestación Camagüey I, posee una barra seccionalizada por 13.8 kV. Ambas secciones de barra constan de un totalizador (Y-113 y Y-104), 5 circuitos de salida a la distribución primaria, un interruptor de entrada de una generación Diesel, de dos baterías de 15,04 MW y un interruptor de entrada de una generación Fuel Oil de 4 baterías de 7,52 MW, más las demás celdas correspondientes a los transformadores uso de planta potenciales y enlace de barra.

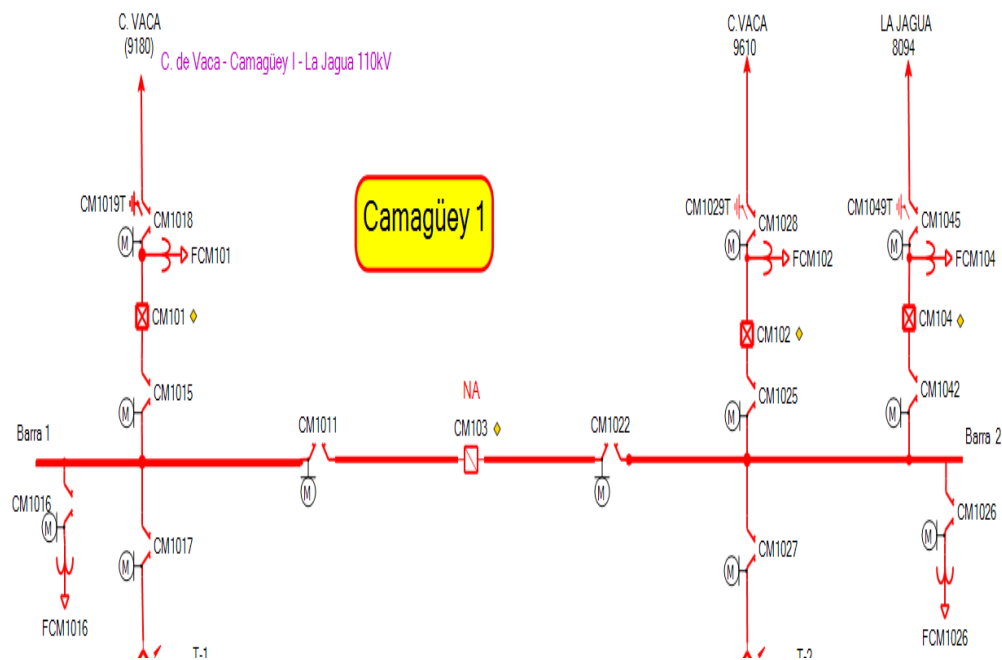
De esta manera la interconexión se realizaría con la construcción de dos líneas de aproximadamente de 6.0 km desde el PSFV hasta el Shelter del emplazamiento Fuel Oil Camagüey I. (Figura 2) Ambas líneas serán construidas con conductor AAAC 400mm² o dos conductores por fase AAAC 199 mm². Desde este punto (Shelter del emplazamiento Fuel Oil), se interconectará a las barras de 13.8kV de la Subestación a través de las dos líneas que actualmente existen y entregan la potencia generada por

el emplazamiento. Para esta variante es necesario la reconstrucción del Shelter o la construcción de un nuevo local de celdas con la conformación de una nueva barra interconectada a la barra existe en el Shelter.

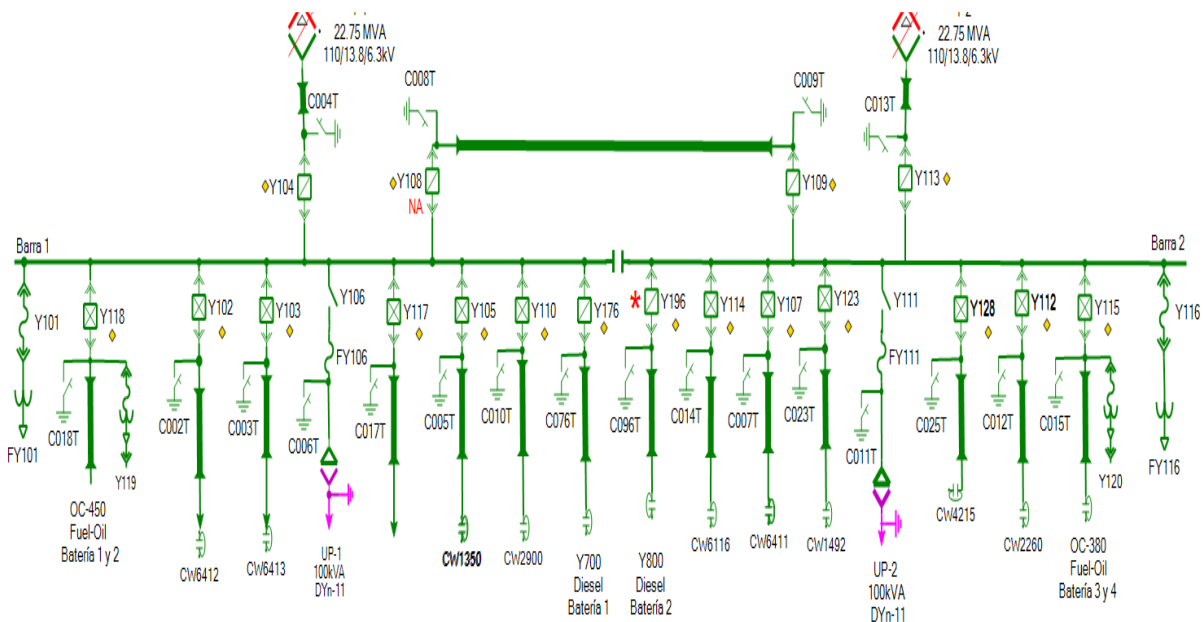
2.2.1 EVALUACIÓN DE LOS COSTOS DE INTERCONEXIÓN.

Los dos circuitos de salida del PSFV se interconectarán primero a la barra de 13.8kV del Shelter del Emplazamiento, a través de interruptores. Desde de la barra del Shelter a la barra a la subestación, la interconexión se realizará a través de las dos líneas existentes, dominadas por interruptores de salida, como se muestra en el esquema monolineal que se propone.

Figura 2: Monolineal de la subestación Camagüey I, al que estará conectado el PSF de 20 MWp.



Fuente: Suministrada por la Empresa Eléctrica de la provincia de Camagüey.

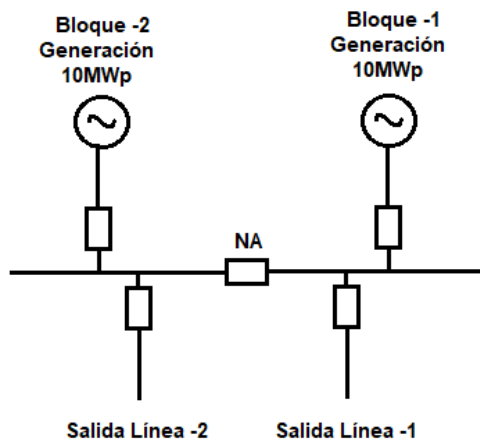


Fuente: Suministrada por la Empresa Eléctrica de la provincia de Camagüey.

La interconexión de las dos líneas de salida del PSFV a las dos líneas existentes entre el Shelter y la Subestación, no se debe de realizar de manera directa a través de empalmes, si no, ambas secciones de línea deben de ser protegidas por interruptores independientes. Esto se debe fundamentalmente, para obtener un esquema flexible y confiable.

Sugerimos para este caso de interconexión, que la configuración del esquema de de este PSFV tenga como mínimo 2 salidas, es decir, dos interruptores de salida conectados a una barra seccionalizada con enlace de barra automático que operaría normalmente abierta y se cierre en caso de falla de una de las líneas de salida.

Figura 3: Monolineal de esquema de salida propuesto.



Fuente: Propia autoría. (2023)

Al estudiarse los ajustes de rendimiento en la simulación con el software SAM se precisa que los porcentos de degradación son prácticamente nulos al igual que las pérdidas por hora, lo que permite minimizar los costos como se comprobó en el informe de la simulación.

Tabla 1: Modelo de reporte del software SAM.

System Advisor Model Report		
Detailed Photovoltaic Residential	4.69 kW Nameplate \$2.51/W Installed Cost	33.45, -111.98 UTC -7
Performance Model		Financial Model
Modules		Project Costs
SunPower SPR-X21-335		Total installed cost \$11,784
Cell material Mono-c-Si		Salvage value \$0
Module area 1.63 m ²		Analysis Parameters
Module capacity 335.2 DC Watts		Project life 25 years
Quantity 14		Inflation rate 2.5%
Total capacity 4.69 DC kW		Real discount rate 6.4%
Total area 22 m ²		Project Debt Parameters (Mortgage)
Inverters		Debt fraction 100%
SMA America: SB3800TL-US-22		Amount \$11,784
Unit capacity 3.850000 AC kW		Term 25 years
Input voltage 100 - 480 VDC DC V		Rate 5%
Quantity 1		Tax and Insurance Rates
Total capacity 3.85 AC kW		Federal income tax 15 %/year
DC to AC Capacity Ratio 1.22		State income tax 7 %/year
AC losses (%) 1.00		Sales tax (% of indirect cost basis) 5%
Array		Insurance (% of installed cost) 0.5 %/year
Strings 2		Property tax (% of assessed val.) 0 %/year
Modules per string 7		Incentives
String Voc (DC V) 475.30		Federal ITC 26%
Tilt (deg from horizontal) 20.00		Electricity Demand and Rate Summary
Azimuth (deg E of N) 180		Annual peak demand 4.3 kW
Tracking no		Annual total demand 10,829 kWh
Backtracking -		Generic Residential
Self shading no		Fixed charge: \$10/month
Rotation limit (deg) -		Monthly excess with kWh rollover
Shading no		Tiered TOU energy rates: 4 periods, 1 tier
Snow no		Results
Soiling yes		Nominal LCOE 7.6 cents/kWh
DC losses (%) 4.44		Net present value \$4,600
Performance Adjustments		Payback period 10.1 years
Availability/Curtailment none		
Degradation none		
Hourly or custom losses none		
Annual Results (in Year 1)		
GHI kWh/m ² /day 5.79		
POA kWh/m ² /day 150.00		
Net to inverter 9,120 DC kWh		
Net to grid 8,740 AC kWh		
Capacity factor 21.3		
Performance ratio 0.78		

System Advisor Model Standard Report generated by SAM 2020.2.29 on Sun Nov 20 09:34:22 2022

1 / 3

Fuente: Software SAM.

3. CONCLUSIONES

Se determinan las variables de entrada al software SAM específicamente relacionada con la orografía del terreno, la distancia a la red eléctrica, la pendiente y pérdidas. En función de los resultados obtenidos en la simulación con el software se

pueden extraer una serie de datos de las distintas soluciones generadas, como son: superficies, degradación, pérdidas por hora, porcentajes, costo y precios de mantenimiento. Estos datos se pueden interpretar a partir de las distintas estadísticas de las capas obtenidas en el análisis de la simulación realizándose la propuesta para el emplazamiento del PSFV en la zona estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

- BARBERIS, F. (2005). *Aplicación del VISUAL PROMETHEE: planteamiento y resolución de un problema real de Decisión Multicriterio*.
- BITENC, N. (2020). Análisis de la viabilidad técnico- económico de un sistema renovable para el abastecimiento de una aplicación aislada en el cono Sur de América. Cerros de Vera, Sur América.
- CARREÑO, M. & MARES, Jesús. (2021). *La optimización estructural y sus aplicaciones*. Ticoman, México: La Laguna.
- FAN, X.; SAYER, S. Z.; HAN & CHIZARI, H. (2020). *Review and classification of bio-inspired algorithms and their application* (Vol. 17).
- GONZALEZ, E, GUALOTUNA. & QUINTEROS FLORES, J. (2022). Diseño de una Micro-Red óptima mediante el uso del recurso solar fotovoltaico en la Universidad Politécnica Salesiana-campus Sur, utilizando el software HOMER PRO. *I+D Tecnológico*, 2(18), 109-123.
- S. M, Mahmoudi; A, Maleki & D, Rezaei, OHBELAGH. (febrero de 2021). Optimization of a hybrid energy with/without considering back-up system by a new technique based on fuzzy logic controller. *Energy Convers*, 229, 113723.
- X, Yu; W, Li; A, Malak; M, Rosen; A, Komeili Birjandi & L, Tang. (junio de 2021). Selection of optimal location and design of a stand-alone photovoltaic scheme using a modified hybrid methodology. *Sustain Energy Technol Assessments*.