ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 21, pp 08.105-08.116, 2017. Impreso en la Argentina
ISSN 2314-1433 - Trabajo selecionado de Actas ASADES2017

OPTIMIZACION DE SISTEMAS SOLARES CON SIMUSOL

Diego Saravia, Nilsa Sarmiento
Dpto. De Física. Universidad Nacional de Salta.
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta. Tel. 0387 - 4255579- E-mail: diego.saravia@gmail.com,
Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Universidad Nacional de Salta
Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta
Tel. 0387 - 4255579- E-mail: nilsa@ututo.org

Recibido 27/07/17, aceptado 28/09/17

RESUMEN: Éste artículo presenta dos programas, Optimus y Simplot, y un modelo elemental de colector solar plano con tanque para calentar agua. El software Optimus permite: a) Ejecutar Simusol, introducir datos, recuperar resultados, y reconvocar Simusol usando los resultados recuperados. b) Utilizar dos algoritmos de optimizacion: i) genético que opera sobre valores discretos de varias variables. ii) simplex continuo multidimensional (Nelder--Mead). Simplot independiza la producción de gráficos de Simusol. Finalmente el modelo elemental de colector solar plano más tanque para calentar agua, incluye el cálculo de costos y producción, como ejemplo para su optimización ante series temporales de radiación, sean reducidas (SSRRS) o no.

PALABRAS CLAVES: Simulación, Simusol, Optimización, Colector, SSRRS.

INTRODUCCIÓN

Simusol (Alía D. et al., 2002) ha sido usado en varios trabajos (Gonzalez et al., 2013; Watkins, 2009) para optimizar sistemas. Esto se hizo corriendo el programa con distintas configuraciones, usando el mecanismo de Sceptre identificado como "RERUN", para realizar varias corridas del modelo, con distintos parámetros, tomando en cuenta los resultados en forma manual. Este procedimiento es factible en caso de optimizar pocas variables y configuraciones, sin embargo puede resultar engorroso.

Por otra parte, es difícil con Simusol llevar adelante simulaciones largas en el tiempo, necesarias para evaluar el rendimiento de sistemas con acumulación en condiciones aproximadas a las reales. En (Saravia, 2016) se trató el desarrollo de series sintéticas reducidas de radiación solar (SSRRS). Para introducirlas se necesita un software que pueda correr series de tiempo de larga duración.

En este trabajo se avanza en otro aspecto del mismo problema: la elección del equipo que mejor se adapte a cada proyecto (objetivo del usuario) o bien, el diseño de equipo/s o las mejores combinaciones de ellos para cubrir de la mejor forma posible todo el espectro de potenciales proyectos (objetivo del fabricante).

Se resuelven dos problemas, uno es la posibilidad de correr simulaciones de larga duración, mediante la ejecución repetida con condiciones iniciales iguales a las finales de la corrida anterior, y otro la posibilidad de variar las condiciones iniciales en cada conjunto de corridas. Ambas situaciones podían resolverse usando el comando RERUN del Simusol. Pero ahora se pueden usar los resultados de salida de una corrida para generar la próxima.

A éste fin se ha desarrollado un software llamado Optimus, que recibe los resultados de la corrida del Simusol, usa estos resultados y genera nuevos "equipos" o combinaciones de ellos para simularlos.

Simusol presenta sus gráficos con rutinas que procesan un lenguaje específicamente desarrollado para

especificarlos, contenido en archivos de extensión ¨.paraplot¨. A partir de dichas rutinas se creó un programa denominado Simplot, independiente de Simusol para representar los resultados de Optimus.

A los efectos de probar estas ideas se diseño un modelo en Simusol de termotanque solar de tipo plano. Hasta donde sabemos este sería el primer modelo de Simusol, publicado, de colector solar plano con tanque para calentar agua.

El modelo y el software descriptos se encuentran disponibles en el sitio del Simusol (http://simusol.org), se recomienda acompañar la lectura del trabajo con los mismos.

DATOS Y MÉTODOS

Colector Solar Plano y Tanque para Calentar Agua

Se creo un modelo de colector solar plano con tanque para calentar agua, basado en el desarrollado por el Dr. Luis Saravia (comunicación personal, 2016). En el modelo original se utilizaban tres puntos del colector a distinta temperatura. En el que se presenta se usa un solo punto pero se realizan ajustes siguiendo la metodología de Duffie (1991) para tener en cuenta la variación de la temperatura del agua a medida que recorre el colector y otros. El modelo original tenía un sistema de calentamiento auxiliar del agua que se modificó en el actual.

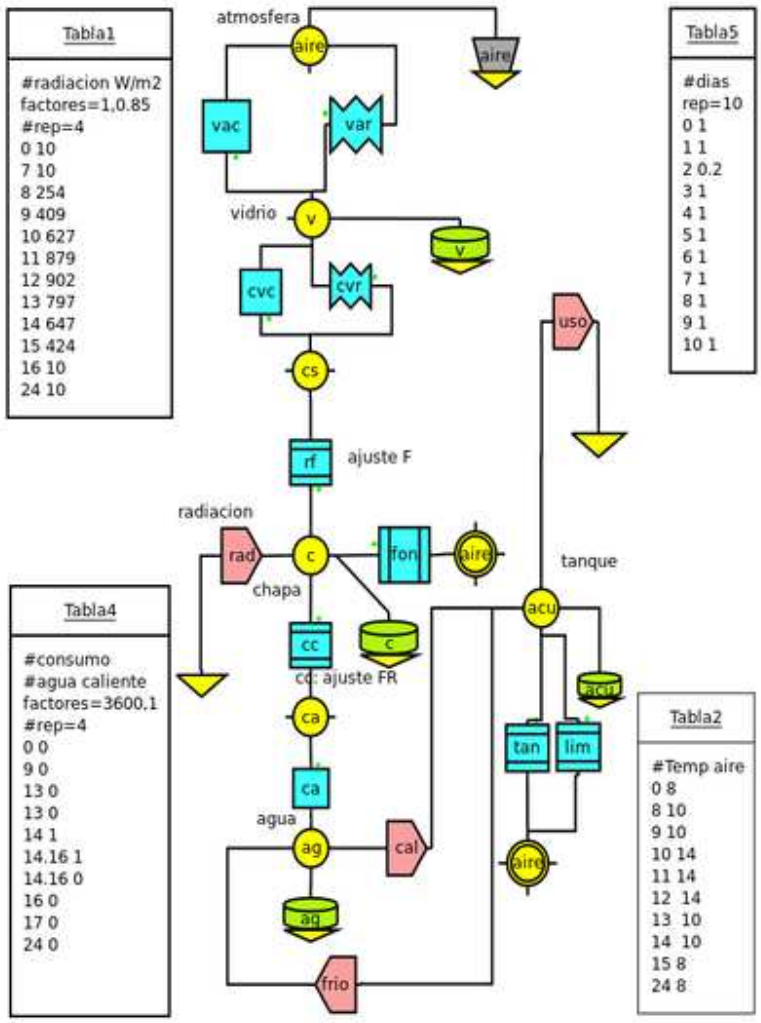


Figura 1. Diagrama de colector solar de tipo plano con acumulador

Convección Natural

El modelo contiene dispositivos para controlar su funcionamiento como el uso de la funcion tanh() para simular el flujo de convección natural.

La diferencia de la temperatura del agua, entre la entrada y la salida en una amplia clase de colectores, se mantiene por diseño en el orden de los 10 grados centígrados (Duffie, 1991). Si la temperatura aumenta, aumenta el flujo lo que baja la temperatura de salida. Si baja, sucede lo inverso, estableciéndose un punto de equilibrio en la diferencia de temperatura por realimentación negativa. Este punto depende de varios factores de diseño que suelen ajustarse en los 10 grados de diferencia.

Lo descripto es simple de simular usando una función como la 0.5+tanh(X)/2. El valor de dicha función varia rápidamente entre 0 y 1, en los alrededores de X = 0. Reemplazando X con la diferencia de temperaturas menos diez grados, la función cambia de cero a uno al pasar la diferencia de temperaturas el valor 10. Al multiplicar un flujo base arbitrario por la anterior función, se obtiene un flujo convectivo razonable para la simulación.

Ajustes

El modelo en cuestión calcula las resistencias de diversos tipos siguiendo lo indicado por (Duffie, 1991). En particular F es la eficiencia de aleta, FP el factor de eficiencia del colector, y FR el factor de remoción de calor. Éste último se encuentra incluido en el modelo en la resistencia CC.

Secuencia de Radiación

La radiación se ingresa mediante dos tablas, una que contiene un perfil de radiación por horas durante un día, y otra con un multiplicador por días. Si uno quiere simular una secuencia de días soleados, se coloca en la segunda tabla el valor 1 en todos los días. Si algún día se lo quiere nublar, se coloca una fracción de 1, la que será multiplicada ese día por la radiación en todas las horas. Para evitar repeticiones de tablas se usa la función módulo.

$$PD = TIEMPO / 3600 \tag{1}$$

$$PT24 = mod(PD, 24) \tag{2}$$

$$PDIA = (PD - PT24)/24 \tag{3}$$

PT24: hora de cada día.
PDIA: número de día desde el inicio de la simulación.

Se ingresa al modelo la radiación recibida en la chapa absorbedora directamente. Esto ocasiona que el modelo no tenga en cuenta la absorción de la radiación en el vidrio, y que por lo tanto la optimización del ancho del vidrio sea inútil. No obstante se la mantiene a efectos de dejar constancia de este tipo de problemas.

Consumo de agua

El consumo de agua se coloca en otra tabla en función del tiempo, estableciéndose, en la tabla, el valor uno (1) cuando se quiere extraer agua y cero (0) cuando no. Posteriormente el programa fija el caudal en 12 litros por minuto, cuando el valor en la tabla es uno. La tabla usada simula que extrae agua en dos duchas consecutivas que consumen 60 litros cada una.

El modelo sólo extrae agua si el tanque tiene mas de 45 grados (PFSIG2), y cuanto más tiene, extrae menos cantidad, de forma de extraer siempre una cantidad determinada de potencia, durante el tiempo

pedido. La simulación se efectuá con el equipo pretendiendo sacar cierta cantidad de energía en los horarios prefijados. Obtiene el total de la potencia pretendida hasta que completa el requerimiento o bien hasta que la temperatura es menor a 45 C. Podrían plantearse estrategias diferentes, como extraer siempre agua a la temperatura en que se encuentra y calcular la energía eléctrica auxiliar necesaria para calentar el agua obtenida hasta llegar a la temperatura especificada (45ºC).

Este consumo fijo es el que hace que la optimización llegue a un valor determinado de área de colección. Aunque la optimización quisiera incorporar más energía al sistema, no tendría sentido pues no se extraería más que la demandada.

Las fórmulas en cuestión son:

$$PFSIG2 = 0.5 + \sinh(TempACU - 45) / \cosh(TempACU - 45) / 2 \quad (4)$$

$$PFRR = PC1 * Tabla4(pt\,24 * 3600) * 45 / (TempACU) \quad (5)$$

$$PFUSO = PFRR * PFSIG2 \quad (6)$$

PC1: factor para ingresar lo demandado.
PFRR: es lo demandado.
PFUSO: es lo entregado.

Cambios de Escala y modelos aptos para optimización.

Uno de los problemas más complejos de resolver al efecto de hacer modelos para su optimización es asegurarse de que este funciona ante cambios de escala. Por ejemplo:
(a) A un modelo que normalmente funciona con temperaturas en el tanque de 50 grados, si se le multiplica la superficie de colección por diez, puede mostrar resultados de temperatura del agua por encima de los 300 C, lo que no tiene sentido físico, pues el agua herviría. Para simular este efecto sin considerar fluidos multi-fase, se agregó una conductancia térmica en el tanque, cuya conductividad crece enormemente si la temperatura del mismo supera los 90 C de tal forma que todo calor que ingrese por encima de esa temperatura se pierde.
(b) Determinados parámetros como por ejemplo la cantidad de caños, son números enteros. Esto debe tenerse en cuenta ante cambios del ancho de colector, con formulas apropiadas.
(c) El optimizador ayuda a encontrar errores en los modelos. Por ejemplo, un error que se mantiene en el modelo a los efectos de mostrar su funcionamiento en éstas condiciones, consiste en que no se tiene en cuenta la absorción de radiación en el vidrio. Entonces, el optimizador puede incrementar con muy pocas consecuencias negativas (sólo su costo) el espesor de vidrio, lo cual hace en las corridas donde la temperatura promedio es mas alta, ya que el vidrio actúa en el modelo solo como resistencia térmica, llegando a proponer vidrios de 8 cm.

Condiciones Iniciales

Al simular secuencias de sólo 4 días, la condición inicial del tanque es muy importante. Si se comienza la simulación con una temperatura baja en el tanque, casi todo el primer día transcurre sin poder extraer agua, ya que la misma no alcanza los 45 C.

Se han hecho simulaciones con una temperatura inicial para el agua de 45 C en algunos casos y 14 C en otros.

Evaluación económica

Se optimiza eligiendo entre colectores de diferente área (parámetro ancho), tanques de diferentes volúmenes (parámetro altura) y algunos parámetros constructivos, entre todos los que podrían variarse, se tomaron: espesor del vidrio, espesor de aislación de tanque y de colector.

Valores constantes en cada simulación a optimizar entre las simulaciones

PANC: Ancho del colector., **PATAN:** Altura del tanque, **PEAC:** Espesor de la aislación del colector. **PEV:** Espesor del vidrio. **PET:** Espesor de la aislación del tanque acumulador.

Otros valores siempre constantes:

PEC: Espesor de chapa, **PALT:** Altura del colector, **PLARGO**: Largo del colector, **PRTAN**: Radio del tanque

Todos los parámetros se varían, por un lado, con un algorítmo genético (Qumsieh A. 2005) que toma entre 5 valores posibles cada variable; y por otro, con un algoritmo de optimización simplex continua, donde los valores pueden adoptar cualquier valor; así la optimización continua tiene el problema de que no todos los valores optimizados expresan equipos posibles.

En este trabajo no se tuvieron en cuenta valores reales, por ejemplo de espesores de vidrios disponibles. No es el objetivo del trabajo presentar resultados concretos, sino mostrar la metodología de trabajo y presentar el software que la hace posible.

Para la evaluación económica se han utilizado las siguientes fórmulas simples. La función ganancia se calcula como los ingresos menos los costos. Los costos se calculan sumando los costos de cada parte del sistema:

$$Colector = (Area\,del\,colector) * (Precio\,colector\ por\,unidad\,de\,área) \tag{7}$$

$$\begin{aligned} Aislante = {} & [(Espesor\,del\,vidrio) * (Area\,del\,colector) * (Precio\,de\,vidrio/m^3)] \\ + {} & [(Area\,del\,colector) * (Espesor\,aislante\,colector) * (Precio\,de\,aislante/m^3)] \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} Tanque = {} & (Volumen\,del\,tanque) * (Precio\,por\,litro\,del\,tanque) \\ + {} & (Superficie\,del\,tanque) * (Espesor\,del\,aislante\,del\,tanque) * (Precio\,del\,aislante) \end{aligned} \tag{9}$$

Se suman los costos, dando como fórmula final de costos:

$$Costos = Costo\,Colector + Costo\,Aislante + Costo\,Tanque \tag{10}$$

Los ingresos se calculan totalizando durante diez años el valor de la energía obtenida, tiempo razonable de vida útil del calefón, Se calcula momento a momento en el curso de 4 días de simulación, y se proyecta a 10 años.

$$Ingresos = CEA/[(cuatro\,días) * (10\,años) * (365\,días/año) * 1.57\,(electricidad/kWh)] \tag{11}$$

No se ha tenido en cuenta el interés del capital. Si se hubiera tenido en cuenta contribuiría a reducir la ganancia dado que todo el costo está al inicio del proceso. La variable resultante de la simulación es PGAN, ingresos - costos del equipo. Llamando CEA a la cantidad de energía acumulada en kWh usada en cuatro días para calentar el agua a 45 C desde 14C. los Ingresos quedan:

Precios

El precio usado para la energía es el que paga un usuario perteneciente a la categoría T1R1 [0 <= E <= 192]; según el cuadro tarifario de EDESA S.A, empresa proveedora de energía eléctrica de Salta, válido de Mayo del 2017 a Julio del 2017. Para el resto de los precios se usaron valores obtenidos de Mercado Libre (http://mercadolibre.com.ar/).

Para el costo del equipo se consideró un promedio del costo total de varios colectores solares y acumuladores de características similares a los simulados. A dicho promedio se le resto el costo del vidrio y de los aislantes para las características del colector promediado.

Equipo promedio: $5000, estimando $3000 para el colector y $2000 para el tanque. La separación de costos es ficticia en el sentido que los equipos con tanque integrado son relativamente más económicos que los que tienen colector y tanque separados. En la tabla 1 se muestra el costo por unidad de medida (superficie en el colector, volumen en el acumulador, vidrio y aislantes).

Todo valor está expresado en pesos argentinos. A la fecha de cálculo, el promedio compra venta del dolar es 17.5 pesos, según Banco de la Nación Argentina .

Componente	Precio
Colector	$ 906,25/m²
Tanque	$ 20/litro.
Vidrio	$ 8750/m³
Aislante	$ 800/m³

Tabla 1. Costos de componentes

Se trabajan, en el mismo modelo, dos problemas diferentes: a) el problema de un usuario que quiere seleccionar entre equipos diferentes preexistentes. b) el problema de un fabricante que quiere confeccionar un equipo optimo para condiciones dadas, o una serie de equipos óptima para diversas condiciones.

Métodos de Optimización:

1) Módulo Perl "Math::Amoeba", Minimización multidimensional simplex de funciones.

Se utilizó el módulo de Perl que instrumenta el método de Nelder-Mead, algoritmo de optimización que minimiza una función fitness/objetivo en un espacio multidimensional continuo (Williams, 2005).

Se usa la rutina “MinimiseND”. Devuelve una lista que consiste en una referencia a los parámetros de la función en el mínimo y el valor del mínimo.

2) Módulo Perl "AI::Genetic", Algoritmo genético.

Instrumenta un algoritmo genético. Los algoritmos genéticos, llamados así porque se inspiran en la-

evolución biológica y su base genético-molecular, son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización.
Un algoritmo genético parte de una base de "ejemplares" y decide cuales de ellos generan descendencia para la nueva iteración. Se ejecuta para un número discreto de pasos de tiempo, llamados generaciones. Lo que ocurre durante cada generación puede variar mucho dependiendo de la estrategia de selección que se esté usando:

1. **Selección:** el rendimiento de todos los individuos se evalúa en función de la función de fitness/objetivo, y a cada uno se le da un valor específico de fitness/objetivo. Cuanto mayor sea el valor, mayor será la probabilidad de que un individuo transmita sus genes a las generaciones futuras.
2. **Crossover:** los individuos seleccionados se emparejan al azar para el crossover. Esto es controlado por la tasa de cruce especificada y puede resultar en una nueva prole individual que contiene genes comunes a ambos padres. Se inyectan nuevos individuos a la población actual.
3. **Mutación:** cada individuo puede mutar basándose en la probabilidad especificada. Si un individuo muta, uno o más de sus genes cambia aleatoriamente su valor a algún otro.

Software Optimus:

Es un programa desarrollado en Perl que llama al Simusol en forma repetitiva y lee sus resultados. El programa tiene un ciclo interno que repite el programa poniendo como condiciones iniciales, las finales de la corrida anterior. Una función que engloba la anterior permite cambiar las condiciones iniciales de la primer corrida y presentar los resultados de la última.

Como primera medida el programa llama al Simusol (completo) sobre el diagrama original. Luego va ejecutando el programa sceptre-simusol.pl sobre el archivo ".d" generado por el Simusol inicialmente, donde en forma previa se le reemplazan los valores que correspondan. Luego de ejecutar sceptre-simusol.pl se leen tanto del ".simul", como del ".sim", como del ".res" los valores que se requieran.

El programa recibe, a través de una lista de perl, las variables a modificar y a leer. En el diagrama (archivo .dia), las variables a modificar se establecen con dos valores: el primero con el valor inicial y el segundo con el valor cero, al estilo RERUN. Se hace esto para evitar que el Simusol reemplace el uso de los parámetros por sus valores en las fórmulas que los usen. Cuando los archivos ".d" se modifican, Optimus colocará un solo valor allí. La primera vez que se ejecuta Simusol, estos valores ocasionaran un RERUN innecesario usando ceros, lo que debe ignorarse.

En la linea de comandos del programa Optimus, se especifica el diagrama original y la cantidad de repeticiones que se desea calcular. Todas estas repeticiones son convocadas oportuna y repetitivamente mediante los optimizadores. Finalmente se muestran los resultados pedidos con el programa Simplot. En resultados deben estar todos los datos pedidos.

Software Simplot:

Se desarrolló una versión preliminar del programa Simplot, que era hasta hoy una parte indivisa de Simusol, y que sirve para realizar gráficas de datos a partir de definiciones textuales de "alto" nivel. Simplot puede tomar datos de archivos tipo .ds usados por Siru (alternativa del Sceptre en desarrollo [Saravia D. (2014)]), o de archivos .caj producidos por Simusol a partir de archivos .dia, o bien a partir de los árboles de datos internos de simusol1.pl. Simplot puede hoy ser usado en forma totalmente independiente de Simusol para facilitar la realización de gráficos aptos para su publicación.

RESULTADOS

Se muestran diferentes simulaciones efectuadas y sus procesos de optimización.

Simulación Base: simula los dos primeros días con el sol a pleno, el tercero nublado y el cuarto con sol pleno, la temperatura inicial del tanque es de 14C.

Algunas variables a notar:

JRAD: Flujo energético radiativo total que ingresa al sistema, tomado de la tabla horas y días. Se debe colocar el flujo efectivo ingresado ya que el modelo no tiene en cuenta ni lo reflejado, ni lo absorbido en el vidrio.

JCF: Diferencia de flujos Jcal y Jfrio, la potencia que sale del colector e ingresa al tanque.

JUSO: es el flujo de energía utilizado. Cuando se simula correctamente el uso para duchas, se extrae toda la potencia en un intervalo corto. Por eso su intensidad puede ser muy alta.

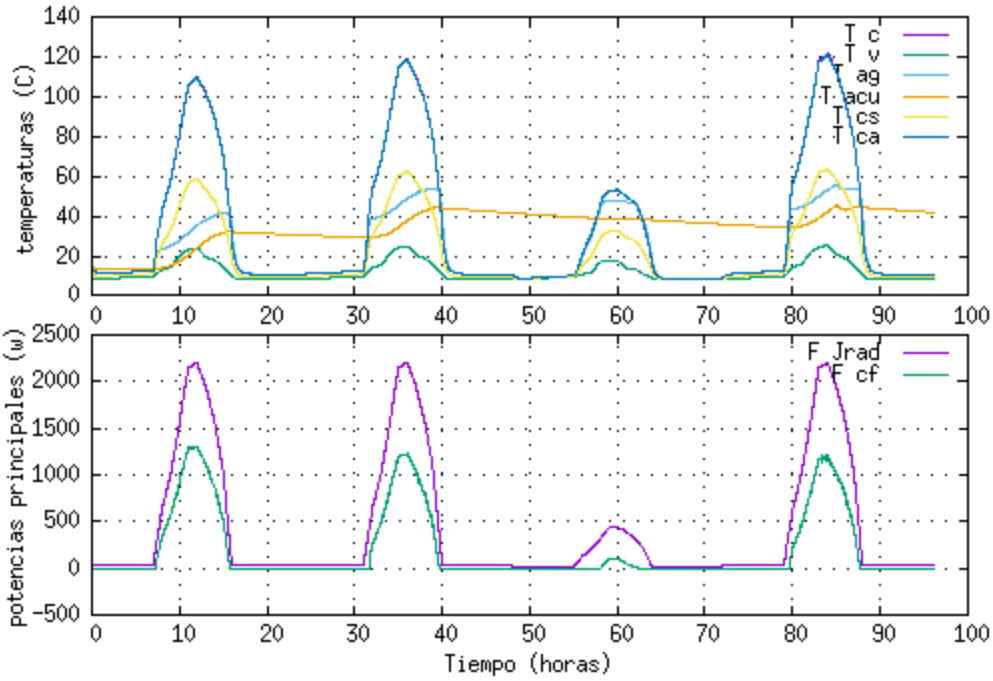


Figura 2. SIMULACIÓN BASE: Temperaturas y potencias principales. Las temperaturas de cada curva son las del nodo del diagrama denominado de igual manera. Jrad es la radiación efectiva en el absorbedor. Cf es la potencia que ingresa al acumuldor.

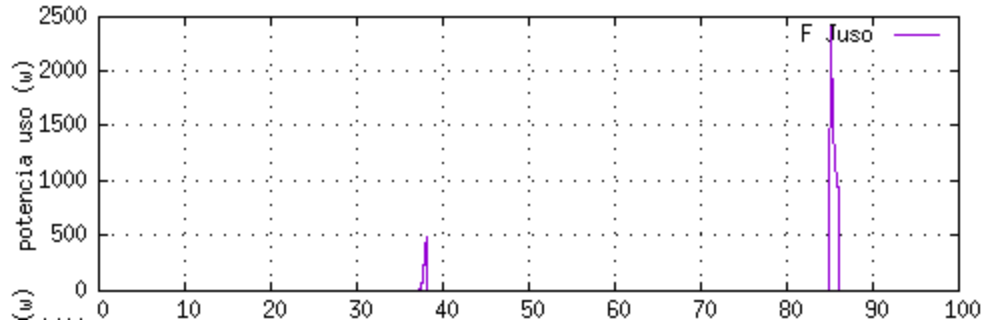


Figura 3. *SIMULACIÓN BASE: potencia efectivamente utilizada. En todos los diagramas se representan las variables contra el tiempo en horas.*

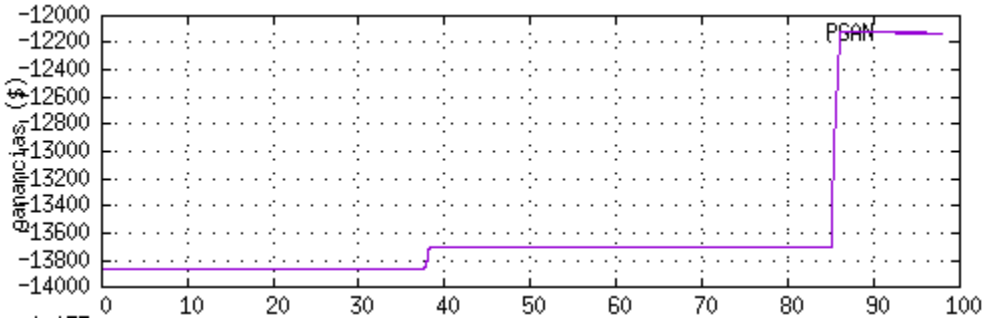


Figura 4. *SIMULACIÓN BASE: ganancias. Nótese que si bien son 100 horas de simulación, están proyectadas a 10 años en los cálculos económicos. En ésta curva, nótese que el equipo no optimizado cuesta aproximadamente $14000 y se recuperan apenas unos $2000. Contrástese con las optimizaciones de la tabla final, donde se consiguen "ganancias" en todos los casos.*

Simulación Repetida

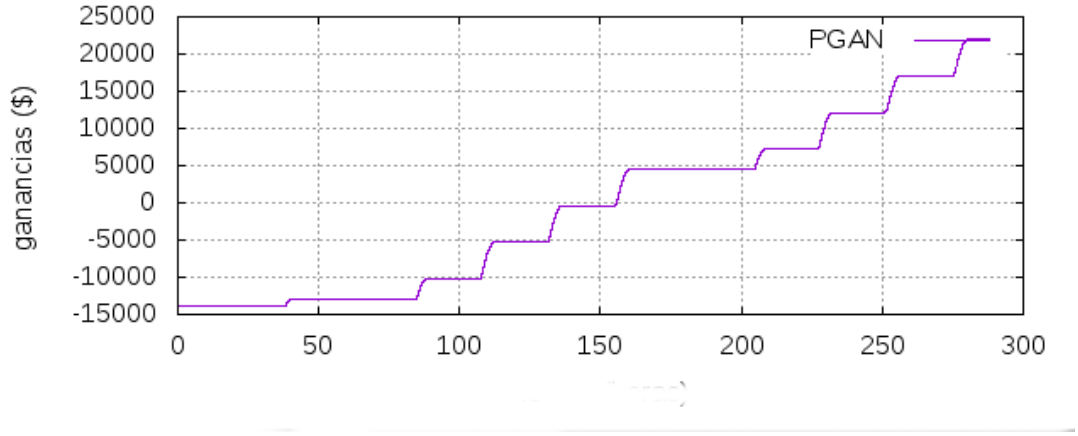


Figura 5. *SIMULACIÓN REPETIDA: ganancias. Esta gráfica es sólo a efectos de mostrar el cáclulo repetido, en términos económicos estas ganancias representan 30 años de funcionamiento, sin mantenimiento, lo cual es irreal. La simulación repite tres veces una simulación de 100 horas.*

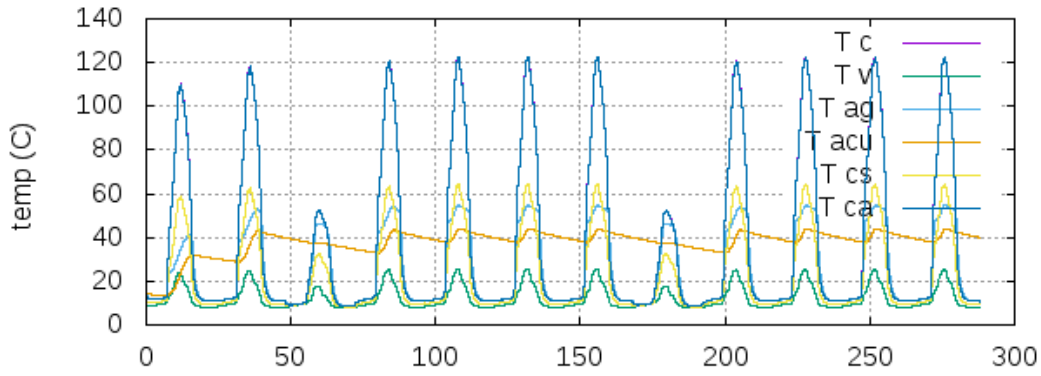


Figura 6. *SIMULACIÓN REPETIDA: temperaturas*

Optimizaciones

Se simulan 4 dias (96 horas).
Las condiciones iniciales usadas para el tanque, en cuanto a temperatura, son:

I14: 14 C,

I45: 45 C

Las secuencias de días soleados y nublados usadas:

TS: Todos los dias con máxima radiación

UDM: El tercer día con un 20% de radiación, el resto al máximo.

N	Algoritmo	Carateristicas	PANC	PATAN	PEAC	PET	PEV	PGAN
1	Genetico	I45-UDM	2,16	0,36	0,10	0,05	0,0019	6549,20
2	Genetico	I45-TS	2,16	0,36	0,10	0,05	0,0026	6526,50
3	Genetico	I45-TS	2,16	0,36	0,08	0,05	0,0026	6066,40
4	Genetico	I45-UDM	2,16	0,36	0,10	0,05	0,0026	6526,50
5	Simplex	I14-TS	5,56	0,85	0,36	0,20	0,0011	44911,00
6	Simplex	I45-TS	5,75	0,87	0,27	0,12	0,0078	57689,00
7	Simplex	I45-UDM	6,85	1,23	0,37	0,25	0,0004	42576,00

Tabla 2. Resumén de todas las corridas.

El algoritmo genético realiza 200 simulaciones por cada resultado. El Simplex 100. Se observa que:

- Incementar PANC (ancho del colector) es el camino que sigue el optimizador para hacer crecer la captura de energía, lo que sucede con ambos algoritmos en todos los casos. En el genético usando el máximo disponible.
- Incrementar PATAN (altura del tanque) es el camino que sigue el optimizador cuando la radiación fluctua, en éste caso un dia nublado de cuatro.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado software para:

- Correr ejecutar y controlar el programa Simusol en forma autónoma utilizando algoritmos tanto de optimización genética como continuos, cambiando parámetros. de un modelo dado, para buscar un óptimo.
- Realizar una serie de corridas sucesivas, sobre el mismo modelo, donde cada una se inicia con los valores obtenidos en la anterior, para, de esta forma, superar los tiempos máximos de simulación el Sceptre.
- Graficar los resultados en el marco de un paquete independiente de Simusol.

Se creó un modelo elemental de colector solar plano con acumulador de agua, para Simusol, que incluye sus costos.

Se probó el software maximizando la recuperación de valor económico teniendo en cuenta el costo de la energía eléctrica ahorrada en 10 años y el costo de adquisición del sistema.

Se encontró que:

- La optimización genética no es determinista. Corridas con los mismos datos generan resultados ligeramente diferentes. Sin embargo a los fines prácticos los resultados que encuentra están cercanos entre sí, y son iguales desde el punto de vista práctico. Debe calcular más casos, en las condiciones de los ensayos efectuados, que la optimización simplex
- La optimización simplex puede estudiar, sin que uno lo presuponga, condiciones de funcionamiento del modelo más alejadas que las presupuestas, y por lo tanto constituye una prueba más severa para el modelo. Es también más rápida y consigue mejores resultados. Pero si no se tiene especial cuidado, realiza pruebas sobre configuraciones que pueden no tener sentido,
- La optimización genética parece la mejor para optar entre equipos, la simplex para diseñar equipos y probar modelos.

- El software desarrollado puede ser útil también a los fines de adquirir y diseñar equipos o para la enseñanza

REFERENCIAS

Alía, D., Saravia L. y Saravia D. (2002). Avances introducidos en la capacidad del simulador de sistemas solares térmicos SIMUTERM (SIMUSOL). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. AVERMA. 6, 2, 8.31-8.36. http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t008-a006.pdf

Belmonte S., Sarmiento N., Escalante K., Franco, J., Ramirez Camargo L., Dorner, W. (2015). Aportes a la planificación energética en Salta. información de base, marco legal y desafíos al corto plazo. AVERMA. 3, 12.23-12.34. http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2015/2015-t012-a007.pdf

Duffie, J.A. y Beckman,W.A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. 2ª edición, pp 54-59. Wiley Interscience, New York.

EDESA (2017). Cuadro tarifario. https://www.edesa.com.ar/pdf/cuadrotarifario.pdf

Gelažanskas L. y Gamage, K. A. A. (2015). Forecasting Hot Water Consumption in Residential Houses. Energies. 8,11, 12702-12717; doi:10.3390/en81112336 http://www.mdpi.com/1996-1073/8/11/12336

GPO. U.S. Government Publishing Office (2016). Uniform Test Method for Measuring the Energy. Consumption of Water Heaters. Append. doi:10.3390/en81112336 https://www.govinfo.gov/content/pkg/GPO-STYLEMANUAL-2016/pdf/GPO-STYLEMANUAL-2016.pdf

Liu B. y Jordan R.C. (1963). The Long Term Average Performance of Flat-Plate Solar Energy Collectors. Solar Energy. 7, 2, 53-74.

Ko M. J. (2015). Analysis and Optimization Design of a Solar Water Heating System Based on Life Cycle Cost Using a Genetic Algorithm. Energies, 8, 11380-11403; doi:10.3390/en81011380. http://www.mdpi.com/1996-1073/8/10/11380/pdf

Qumsieh A. (2005). Módulo Perl AI::Genetic. Optimización Genética. http://search.cpan.org/~aqumsieh/AI-Genetic-0.04/Genetic.pm

Ramirez Camargo L., Franco J., Sarmiento N., Belmonte, S. , Escalante K, Pagany R, y Dorner W. (2016). Technical, Economical and Social Assessment of Photovoltaics in the Frame of the Net-Metering Law for the Province of Salta, Argentina. Energies, 9, 3, 133; doi:10.3390/en9030133. http://www.mdpi.com/1996-1073/9/3/133/html

Saravia, D. (2014). SIMUSOL: Simulación de diagramas de enlace o Bond-Graphs. AVERMA, 18, 08.43-08.50. http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2014/2014-t008-a006.pdf

Saravia, D. (2016). Caracterización de radiación solar y construcción de series sintéticas reducidas de radiación solar y construcción de series sintéticas reducidas de radiación solar (SSRRS) para simular equipos con SIMUSOL. AVERMA 20, 08.13-08.22. http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2016/2016-t008-a004.pdf

Saravia D., Alia D., Saravia L., Echazu R., Sarmiento N. (2017). Sitio del Simusol. http://www.simusol.org

Saravia L., Saravia, D. (2000). Simulacion de sistemas solares termicos con un Programa de calculo de circuitos electricos de libre disponibilidad. AVERMA. 4, 4, 8.17-8.22. http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t008-a004.pdf

Sarmiento N., Ramirez Morales J, Sarmiento J., Massé Palermo M. L. , Reyes. C. (2016). Software Libre para la Gestión de Energías Renovables en Salta. SIE, 10° Simposio de Informática en el Estado. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/58361/Documento_completo.PDF-PDFA.pdf?sequence=1

Gonzalez S., Flores Larsen S., Hernández A. (2013). Optimización del área de colección y del flujo de aire de un colector solar de doble flujo mediante simulación con SIMUSOL.AVERMA. 17, 08.53-08.58. http://www.simusol.org/downloads/trabajos/2013-t008-a007.pdf

Watkins M., Iriarte A., García V. y Bistoni S. (2009). Optimización del Diseno de un Sistema Sol-Gas para camas de enraizamiento empleando Simulación. AVERMA 13, 02.11 02.18. http://www.simusol.org/downloads/trabajos/2009-t002-a002.pdf

Williams J., Chau, T. (2005). Módulo Perl Math::Amoeba. Optimización Multidimensional Simplex. http://search.cpan.org/~tom/Math-Amoeba-0.05/lib/Math/Amoeba.pm

Agradecimientos: Se agradece el asesoramiento y colaboración del Dr. Luis Saravia y Mg. Dolores Alia.

ABSTRACT: This article presents two software, Optimus and Simplot, and an elemental model of flatbed solar collector with tank. Optimus software allows: a) to run Simusol , to enter data, to retrieve results, and to recall Simusol using retrieved results. b) Use two optimization methods: i) A genetic algorithm that operates on discrete values of several variables. ii) A multidimensional continuous simplex (Nelder – Mead) algorithm. Simplot, based on Simusol, is an independent software to produce graphics. Finally, the elemental model of a flat-bed solar collector plus a water-heating tank, includes cost and production calculations, as an example for optimization of time series of radiation, whether they are reduced (SSRRS) or not.

Keywords: Simulation, SIMUSOL, Optimization, Collector, SSRRS.