ASADES

Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 13, pp. 45 - 52, 2003
Impreso en la Argentina. ISSN 0328-932X

SIMUSOL: UN SIMULADOR NUMÉRICO DE SISTEMAS SOLARES

L. R. Saravia[1], D. Alía de Saravia y D. Saravia

INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Universidad Nacional de Salta, Calle Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax: 54-387-4255489, E-mail: saravia@unsa.edu.ar

Recibido : 30 de setiembre de 2003 ; Aceptado : 22 de octubre de 2003

RESUMEN.- Se describe un programa de simulación numérica de sistemas solares, SIMUSOL, desarrollado en el INENCO. El mismo se utiliza bajo el sistema operativo Linux y se distribuye como software libre bajo la licencia GPL. Se resuelven problemas térmicos relacionados con sistemas a parámetros concentrados, aunque se pueden resolver problemas con distribución continua aplicando una aproximación en diferencias finitas. La simulación del comportamiento térmico se lleva a cabo mediante la analogía eléctrica usando un programa escrito en FORTRAN, conocido con el nombre de Sceptre, el que permite calcular un conjunto muy amplio de sistemas teniendo en cuenta elementos no lineales. Se ha preparado una entrada gráfica del circuito usando un programa conocido con el nombre de Dia desarrollado con el fin de representar gráficamente diagramas de flujo. A partir del dibujo del circuito, un programa intermedio escrito en Perl genera la descripción textual requerida por el Sceptre. Se han agregado varias mejoras, tales como el control cuidadoso de los datos, el uso de modelos que permiten encarar el uso repetitivo de partes de circuitos y la posibilidad de agregar nuevos tipos de elementos para incluir otros fenómenos físicos. La simulación mediante la analogía térmica-eléctrica puede ser extendida a otros campos físicos, lo que aumenta en mucho las posibilidades de uso. En el trabajo se explica suscintamente la utilización del programa y se exponen varios ejemplos para ilustrar los alcances del programa.

Palabras Claves: Simulación solar, analogía eléctrica, interfase gráfica, simulación termistor, modelos.

SIMUSOL: A NUMERICAL SIMULATION PROGRAM FOR SOLAR SYSTEMS

ABSTRACT.- A solar system numerical simulation program, Simusol, has been developed in the INENCO. The program works under Linux and it is distributed as a free software under the GPL license. Thermal problems in solar systems with concentrated parameters are simulated, although problems related with continous distributions can also be considered using a finite difference aproach. The simulation is performed using the electrical analogy and a program written in FORTRAN, known as Sceptre, which can solve nonlinear electrical systems. A graphical input, using a program called Dia, has been prepared and a Perl program use the data provided by Dia to generate the text files required by Sceptre. Several improvements have been introduced, such as careful data control, the use of model libaries and the possibility of using new graphical symbols if other physical problems are considered. The paper introduces the use of Simusol and explains two examples.

Keywords: Solar simulation, electrical analogy, graphical interface, thermistor simulation, models.

1.- INTRODUCCIÓN

La simulación numérica de los sistemas solares constituye una herramienta importante para su estudio. Dado que en algunos casos estos sistemas presentan constantes de tiempo en el orden de minutos, es necesario utilizar métodos de simulación de buena precisión. A nivel comercial se ofrecen diferentes programas con este fin, Por ejemplo, el TRNSYS es uno de los más reconocidos. Debido al costo elevado de los mismos, su uso se encuentra restringido en la Argentina. Los autores decidieron desarrollar un nuevo simulador que se distribuya como soft libre bajo licencia GPL(Saravia y otros, 2000, 2002), al que han dado el nombre de ¨Simusol¨ y cuyas posibilidades de uso se describen en este trabajo La versión disponible actualmente se utiliza bajo el sistema operativo Linux y hace uso de varios programas en ese entorno, todos los cuales son de libre disponibilidad.

El programa resuelve problemas relacionados con sistemas a parámetros concentrados. Básicamente, se incluyen los fenómenos térmicos estudiados en libros de transferencia de calor como el de Incropera y DeWitt(1995). En los casos en que se necesite considerar un problema con distribución continua de las variables se usa una aproximación en diferencias finitas.

La simulación de los sistemas solares térmicos se lleva a cabo utilizando la técnica de la analogía eléctrica de los sistemas térmicos, en la forma que se encara en libros como el de Duffie y Beckman, 1992. A esos efectos la resolución numérica de los circuitos se realiza mediante el uso de un programa escrito en lenguaje FORTRAN, que se conoce con el nombre de Sceptre. El mismo se desarrolló para máquinas grandes en la década del 70 (Bowers y Sedore(1971), Becker (1973). Novender (1998), adoptó este programa para su uso en computadoras personales bajo el sistema operativo GNU-Linux , habiéndole agregado una

1. Investigador del CONICET

salida gráfica mediante el programa GNUPLOT. Su utilización en la resolución de sistemas dinámicos como los circuitos eléctricos y los sistemas mecánicos fue descripta por Novender (1999). Entre sus propiedades, que lo hacen muy conveniente para el estudio numérico de sistemas solares, se encuentran

a) obtiene la respuesta transitoria de circuitos formados por elementos a parámetros concentrados (resistencias, condensadores, etc) lineales y no lineales lo que permite encarar la representación de flujos térmicos como los radiativos y algunos convectivos;
b) puede resolver circuitos grandes con varios cientos de nodos en tiempos breves;
c) la descripción de los datos que definen los circuitos se realiza en un archivo escrito en ASCII permitiendo preparar una interfaz gráfica sencilla para describir los sistemas solares,
d) permite introducir el uso de librerías de modelos para el estudio de circuitos con partes repetitivas.

La entrada de los datos que definen el circuito mediante un archivo de texto es lenta y sujeta a errores, por lo que se ha decidido utilizar una entrada basada en una representación gráfica del circuito. Con ese fin se ha utilizado un programa bajo el entorno Linux conocido con el nombre de ¨Dia¨, desarrollado para representar diagramas de flujo, el que se ha adaptado para su utilización conjunta con el Sceptre Se ha desarrollado un procedimiento cómodo y seguro que consiste en dibujar el circuito con ese programa, habiéndose incorporado una simbología adecuada para los circuitos térmicos. A partir de ese dibujo, mediante un programa escrito en el lenguaje Perl, se genera automáticamente la descripción textual que necesita el Sceptre. A medida que el simulador se comenzó a usar se han ido agregando diversas mejoras tales como un control cuidadoso de la consistencia de los datos introducidos; el uso de modelos con el fin de encarar el uso de circuitos que se usan en forma repetitiva y la posibilidad de que el usuario agregue nuevos tipos de elementos tanto en lo que tiene que ver con su descripción física como con su representación gráfica.

La simulación mediante la analogía eléctrica-térmica puede ser extendida a otros campos físicos como ser a la simulación de circuitos de flujo de líquidos, de flujos de fluidos en movimiento por convección natural, de flujos de aire húmedo y otros. Estos sistemas pueden ser estudiados mediante el uso del Sceptre ya que al mismo no le interesa las magnitudes físicas que analiza sino solamente que las magnitudes en juego cumplan con las ecuaciones básicas utilizadas en el programa. Esta posibilidad enriquece en mucho las posibilidades de uso del Simusol, permitiendo analizar sistemas solares muy diversos y no solamente aquellos que hacen uso de elementos térmicos. Por otra parte, el Sceptre puede encarar el estudio de sistemas combinados, que se basan en diversos campos de la física que interaccionan en un fenómeno dado. Por ejemplo, en los sistemas fotovoltaicos intervienen en forma simultánea fenómenos de tipo térmico y eléctrico. El Simusol no tendrá problema para llevar a cabo la simulación de los paneles fotovoltaicos teniendo en cuenta los dos aspectos en forma simultánea e interactuante. Lo mismo puede decirse, por ejemplo, del estudio de un secador solar, donde pueden interaccionar los aspectos térmicos con los intercambios de agua que ocurren en el aire húmedo que recorre el secador y los problemas de movimiento del aire por convección natural.

El uso del Simusol durante los últimos tres años ha mostrado a los autores que permite encarar los problemas de simulación relacionados con la investigación y desarrollo de sistemas físicos en una forma muy cómoda y rápida, sin perder de vista la interpretación física del problema en el proceso de generación del circuito a partir del sistema solar. Por otro lado, ha mostrado que se puede convertir en un auxiliar muy adecuado en el dictado de clases de grado y posgrado, permitiendo encarar en forma sencilla el análisis numérico de sistemas que serían difíciles de estudiar en forma analítica.

En las secciones que siguen se explicarán los fundamentos del uso del Simusol, ilustrándolo con algunos ejemplos simples. Se explicarán los aspectos básicos del uso del Sceptre y el Dia para un sistema térmico, se aplicará el simulador al estudio de un sistema térmico-eléctrico como ejemplo de dos sistemas físicos que interactúan y se introducirá el concepto de modelos y la forma que se ha adoptado para su representación.

2. LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS TÉRMICOS.

Los sistemas térmicos a simular deberán tener una estructura a parámetros concentrados. En el sistema se individualizarán las temperaturas que definen su funcionamiento y los intercambios térmicos que determinan su evolución en el tiempo se realizarán entre parejas de temperaturas a través de elementos físicos que recibirán el nombre de elementos del sistema.

Las explicaciones en el contexto del trabajo se realizarán a través de ejemplos concretos. Ellas harán hincapié en los aspectos más relevantes y los detalles para la realización práctica se encuentran en el Manual del Simusol.

El primer paso en la simulación es el de definir el sistema seleccionando las temperaturas que caracterizan su funcionamiento, cada una de las cuales se representa con un nodo. Estos se dibujan como un círculo amarillo, como se muestra en la figura 2, y se identifican con un nombre alfanumérico que se coloca dentro del círculo. Luego se tienen los elementos térmicos que unen a los nodos, por los cuales fluye la energía. Existen distintos tipos de elementos, cada uno caracterizado por un dibujo apropiado, como se muestra en la figura 2. Ellos son los elementos básicos: resistencias térmicas, condensadores, acumuladores, fuentes y flujos de calor. En algunos casos existen variaciones de un mismo tipo. Por ejemplo, se tendrán resistencias conductivas planas y cilíndricas .

La figura 1 muestra esquemáticamente el primer ejemplo a utilizar: un colector solar horizontal de tipo acumulador consistente en una bolsa con agua colocada en una estructura que la cubre con un aislamiento por debajo y un vidrio en la parte superior, el que permite el acceso de la radiación a la bolsa para su calentamiento.

El segundo paso consiste en crear la representación gráfica del sistema solar mediante el uso del programa Dia, para poder generar los datos que se necesitan para la simulación. La figura 3 muestra esa representación a la que se conoce en adelante con el nombre de "*circuito*".

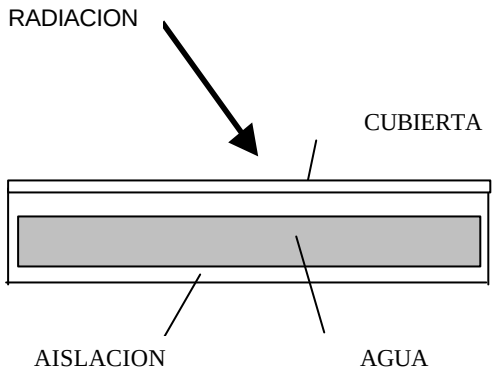


Fig. 1.- Esquema del colector solar horizontal.



Fig. 2.- Objetos básicos disponibles en el Dia para dibujar circuitos térmicos

Los elementos que se van agregando se unen a los respectivos nodos mediante rayas de fácil uso. El Dia pone a disposición del usuario conjuntos de "formas" agrupados en plantillas con una temática determinada.. Con el ratón se lleva el símbolo hasta el lugar de destino. El símbolo puede ser cambiado de tamaño para adaptarlo al gráfico que se dibuja. Hasta el presente se han creado dos plantillas con formas que se usan en circuitos térmicos y en circuitos eléctricos.

Para la simulación del sistema dibujado en la figura 1 se han elegido 5 nodos, identificados con números del 1 al 5. El 1 está en el agua que se calienta, el 2 en el aire que rodea al agua, el 3 en el vidrio, el 4 representa la temperatura ambiente y el 5 da la temperatura del fondo, separado del agua por el aislamiento. Las distintas resistencias térmicas unen a los nodos y se representan con los objetos que se han mostrado en la figura 2. El agua está en contacto con el aire mediante la resistencia convectiva 1 y con el fondo mediante el aislamiento conductivo 5. También intercambia energía con el vidrio por efecto radiativo mediante la resistencia 13. A su vez, el vidrio se contacta con el ambiente por la resistencia convectiva 3 y el fondo hace lo mismo a través de la resistencia convectiva 4. Además la temperatura del ambiente queda dada por la fuente de temperatura 4 y el agua absorbe la radiación solar incidente representada por el flujo de calor 1. Por último, el agua tiene una masa representada por el acumulador 1.

Para definir el circuito no basta con dibujar su representación gráfica. Es necesario dar datos concretos sobre cada elemento. Con ese fin se dispone de cuadros, que pueden introducirse a un costado del gráfico y dondese van escribiendo los datos necesarios. Cada uno tendrá datos específicos. El más importante, de nombre DATOS, contiene las especificaciones de cada elemento. Por ej., el elemento R5 es una resistencia conductiva plana (tipo D1), con una cierta área, un espesor y una conductividad térmica, en ese orden. En el manual se da un detalle de las especificaciones para cada tipo de elemento, es decir, la fórmula que usa Simusol para calcular los valores de los mismos. Otros datos son el tiempo de cálculo, los valores iniciales de temperatura de los acumuladores, las variables que quieren guardarse en un archivo y dibujarse, eventualmente, tablas con datos (como ser temperaturas o radiaciones como función del tiempo) e información sobre los gráficos que se desea obtener.

Una vez terminada la entrada de toda la información, el diagrama se guarda en un archivo con un nombre dado.

El tercer paso consiste en ejecutar el programa Simusol. Con esto se realiza la transformación del gráfico en datos ASCII para el Sceptre, que se colocan en otro archivo de texto, que termina con la sigla .d; a continuación se ejecuta el Sceptre y se realiza la simulación, la que habitualmente es muy rápida. Al terminar se muestran, en sucesión, las gráficas de los resultados para su análisis. En paralelo, se guardan en otro archivo los valores de las variables requeridas como función del tiempo.

Puede haber errores de descripción de los sistemas detectados por el Simusol, ya sea durante la traducción o durante la ejecución. Al respecto, el programa es capaz de entregar información bastante detallada sobre la naturaleza del error. Si esta no fuese suficiente, también se ha guardado en archivos información sobre el desarrollo del proceso de cálculo que ayuda en la interpretación de posibles problemas

El programa es muy interactivo, permitiendo la rápida corrección y repetición de las simulaciones hasta lograr el objetivo buscado. Los sistemas de tamaño mediano suelen tener entre 50 y 100 nodos . El Sceptre acepta hasta 300 nodos.

El Sceptre está escrito en FORTRAN y es muy rápido, raramente las simulaciones de algunos días pasan de unos pocos segundos en las máquinas actuales.

El Sceptre decide por sí solo el avance del cálculo en el tiempo para que el error esté acotado a un valor bajo. Existen circunstancias de combinación de especificaciones o conexiones que dan lugares a oscilaciones numéricas, que no tienen origen físico. Usualmente son solucionables mediante algunos cambios tales como el agregado de acumuladores o cambios de valores de algunas resistencias.

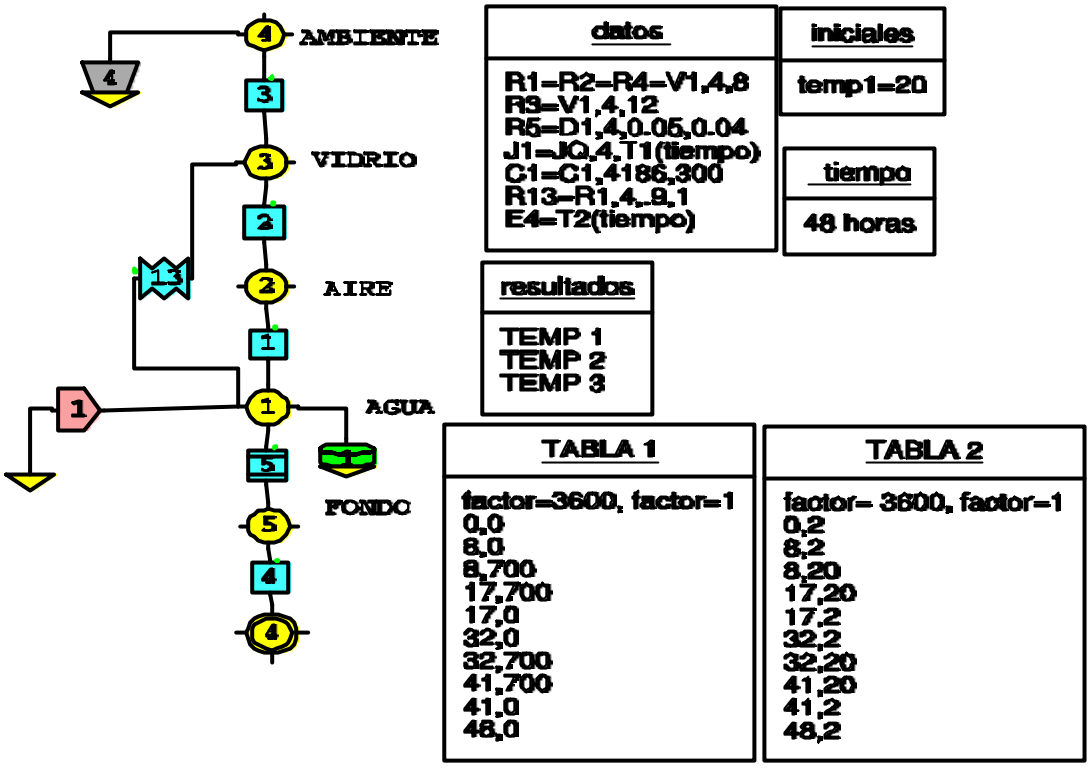


Fig. 3.- Circuito dibujado con el DIA correspondiente al colector horizontal

3. LA SIMULACIÓN DE UN SISTEMA TERMICO-ELECTRICO.

Ya se ha expresado que el uso del Simusol no se limita al estudio de sistemas térmicos. En esos casos, se puede trabajar con gráficos que combinen más de un sistema físico a la vez, debiéndose usar un sistema de unidades coherente.

A continuación se analizará esta posibilidad mediante un ejemplo muy sencillo, la simulación de un termistor usado para realizar una medida de temperatura.

La figura 4 muestra un esquema del circuito físico básico de un termistor NTC, incluyendo las conexiones necesarias para realizar una medida de temperatura con el mismo.

La medida de temperatura utiliza la propiedad de que la resistencia del termistor varía con su temperatura, de acuerdo a la fórmula siguiente (Norton, 1982):

$$Rt=Rto*\exp[b*(1/T-1/To)] \quad (1)$$

donde To es una temperatura de referencia, Rto es la resistencia correspondiente del termistor, T es la temperatura actual del elemento y Rt su correspondiente resistencia. b es un parámetro característico del termistor. Las temperaturas deben expresarse en grados Kelvin. En los manuales se pueden encontrar las características fundamentales de los termistores dedicados a mediciones de temperatura. Se ha elegido un termistor miniatura encapsulado en vidrio (GM Electrónica, 2000) como referencia para preparar los circuitos que se presentan a continuación. La Tabla 1 muestra las propiedades del mismo, tal cual se detallan en el manual.

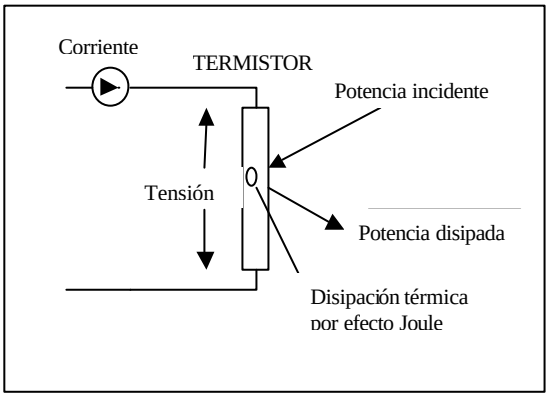


Fig.4.- Esquema del termistor con la fuente de corriente, su tensión entre bordes, las potencias que inciden y se disipan y la disipación térmica de origen eléctrico.

El análisis del comportamiento del termistor comprende dos partes: la eléctrica y la térmica. En la primera se coloca en los bornes del termistor una fuente de corriente que atraviesa la resistencia del termistor y se mide la tensión que aparece entre bornes con el fin de determinar su resistencia, con la cual se obtiene la temperatura. En la segunda el termistor posee una masa con un cierto calor específico, la cual eleva su temperatura hasta ser similar a la del fluido cuya temperatura quiere obtenerse. Las dos partes interactúan entre sí ya que la resistencia eléctrica depende de la temperatura y a su vez, el pasaje de corriente eléctrica produce una disipación térmica (efecto Joule) que afecta la temperatura del termistor.

Tabla 1 : Propiedades del termistor utilizado en el modelo

Propiedad	Valor	Unidad
Resistencia eléctrica a 25 C	10000	ohms
Parámetro b	3500	K
Disipación térmica al ambiente	0.8	mW/C
Temperatura máxima de trabajo	200	C
Disipación máxima	2.50	mW
Diámetro	1.6	mm
Longitud	6.4	mm
Calor específico	835	W/kg.C
Densidad	2300	Kg/m3

Las dos partes, en forma simultánea, puede simularse utilizando el Simusol mediante el uso de los símbolos correspondientes a los circuitos térmicos, tal cual se muestra en la figura 5.a). A la izquierda se muestra el circuito eléctrico representado con un elemento térmico, en este caso una resistencia convectiva (R4). En los bornes a y b se conectará la fuente de corriente y se medirá el voltaje. A la derecha se muestra el circuito térmico usándose una masa de acumulación (C4), una resistencia convectiva (R6) hacia el exterior por la que ocurren las pérdidas de calor al ambiente y una fuente de calor (J4) que representa la generación térmica de origen eléctrico. Este circuito será interpretado por el Sceptre utilizando los valores adecuados para las variables eléctricas y térmicas. No obstante debe reconocerse que esta forma de encarar el problema va a traer múltiples confusiones en cuanto el circuito crezca en complejidad ya que la representación gráfica no permite distinguir claramente los distintos sistemas físicos que integran el circuito.

Sería preferible disponer de elementos convenientemente individualizados para el sistema eléctrico y para el sistema térmico. Por otro lado, también se aumentaría sustancialmente la ductilidad del simulador si los propios usuarios pudiesen crear los gráficos que representen a los elementos que pretendan simular, incluyendo también las fórmulas que definen el funcionamiento de los mismos. Esta tarea ha sido llevada a cabo modificando a Simusol para que pueda aceptar la representación gráfica de los elementos con nuevas formas. Para el caso del ejemplo que ilustra los conceptos que se están introduciendo, ha sido necesario crear un conjunto de dibujos de tipo eléctrico (resistencias, fuentes de corriente y tensión, condensadores, etc). La figura 5.b) muestra la forma en que queda representado el circuito del termistor, donde la resistencia eléctrica R4 es ahora representada por un dibujo típico y a la misma se adjuntan las ecuaciones necesarias para representar su funcionamiento. Las representaciones que se muestran en 5.c y 5.d se discutirán en la próxima sesión.

4. LA NOCIÓN DE MODELO

En muchos casos existen partes de un circuito utilizado en la simulación de un sistema que pueden utilizarse en otras simulaciones y que se caracterizan por tener unos pocos nodos de contacto con el resto del circuito. En el Sceptre es posible aislar esa parte del resto y guardarla como un "modelo" para ser utilizada en otras simulaciones. Un ejemplo de esta situación en las aplicaciones donde se ha usado originalmente el Sceptre son, por ej. el modelo de un transistor o un circuito integrado, los que seguramente se utilizarán en circuitos diversos.

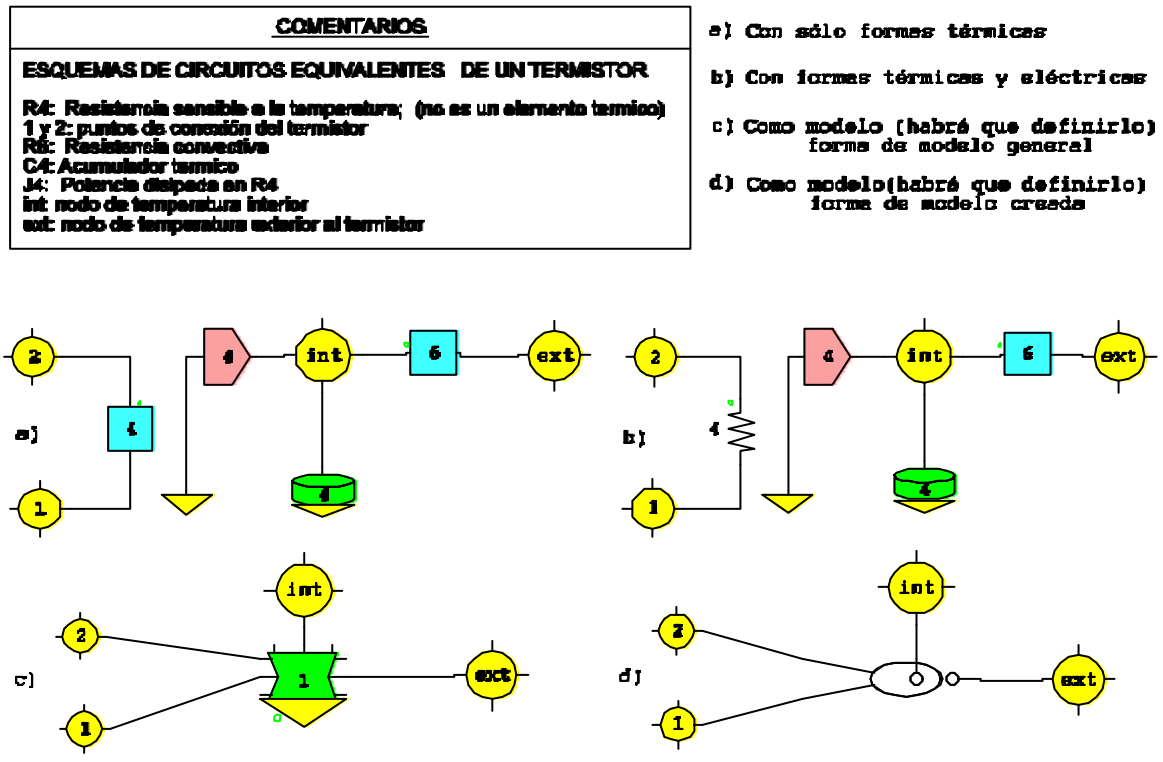


Fig. 5.- Muestra los diferentes esquemas para el circuito de un termistor con sus partes térmicas y eléctricas.

Un posible ejemplo típico de modelo térmico son las paredes que se utilizan en la simulación de edificios, donde cada pared aparece como una sucesión de nodos a los que se conectan resistencias térmicas y acumuladores. Esta pared, que puede tener unos cuantos nodos, se conecta al resto del circuito únicamente a través de los dos nodos extremos.

Otro ejemplo es el del termistor que se introdujo en la sección anterior, el que se usará en la explicación que sigue.

El hecho de poder guardar estos circuitos térmicos como modelos ahorra mucho trabajo ya que no será necesario volver a dibujarlos en detalle en cada caso, a lo sumo habrá que cambiar algunos valores. Esta posibilidad ha sido trasladada al Simusol, de manera que a través del programa que genera los dibujos del circuito, el Dia, se pueda generar el modelo y guardarlo para su uso posterior. Si bien Simusol usa la idea de modelos del Sceptre, la metodología es diferente: los archivos de extensión " .d " que el Simusol genera para que el Sceptre realice el cálculo no contendrán una descripción del modelo, sino que directamente integrarán los circuitos que representan al modelo en el contexto central del archivo.

A continuación se explicará cómo se introduce un modelo mediante el uso del Dia usando el ejemplo del termistor visto en la sección anterior.

El procedimiento diseñado, que se muestra en la figura 6, consiste en dibujar la parte del circuito que interesa directamente en el Día en forma similar a la que se dibuja un circuito habitual, pero la información necesaria se entra con dos recuadros diferentes.

La figura 6 muestra el circuito que define el modelo. Como se aprecia, el circuito hace contacto con el resto del circuito mediante cuatro nodos, dos de tensión llamados 1 y 2, y otros dos de temperatura, llamados "int" y "ext". Esto se representa esquemáticamente con un dibujo resumido que se muestra encima del dibujo completo. Un nuevo símbolo representa al modelo.

Tres cuadros muestran los datos que deben darse.

El cuadro llamado "USO" muestra el renglón que luego deberá usarse para identificar el modelo cuando se lo use en un circuito completo. En la expresión va el nombre que se le asigna dentro de la descripción final, en el ejemplo T2. Luego va el nombre del modelo, en este caso TERMISTOR y los nombres de los parámetros del modelo. Los comentarios explican que es cada parámetro y sus unidades. Como se aprecia en el dibujo del modelo, todos los elementos del mismo deben terminar con el nombre T2.

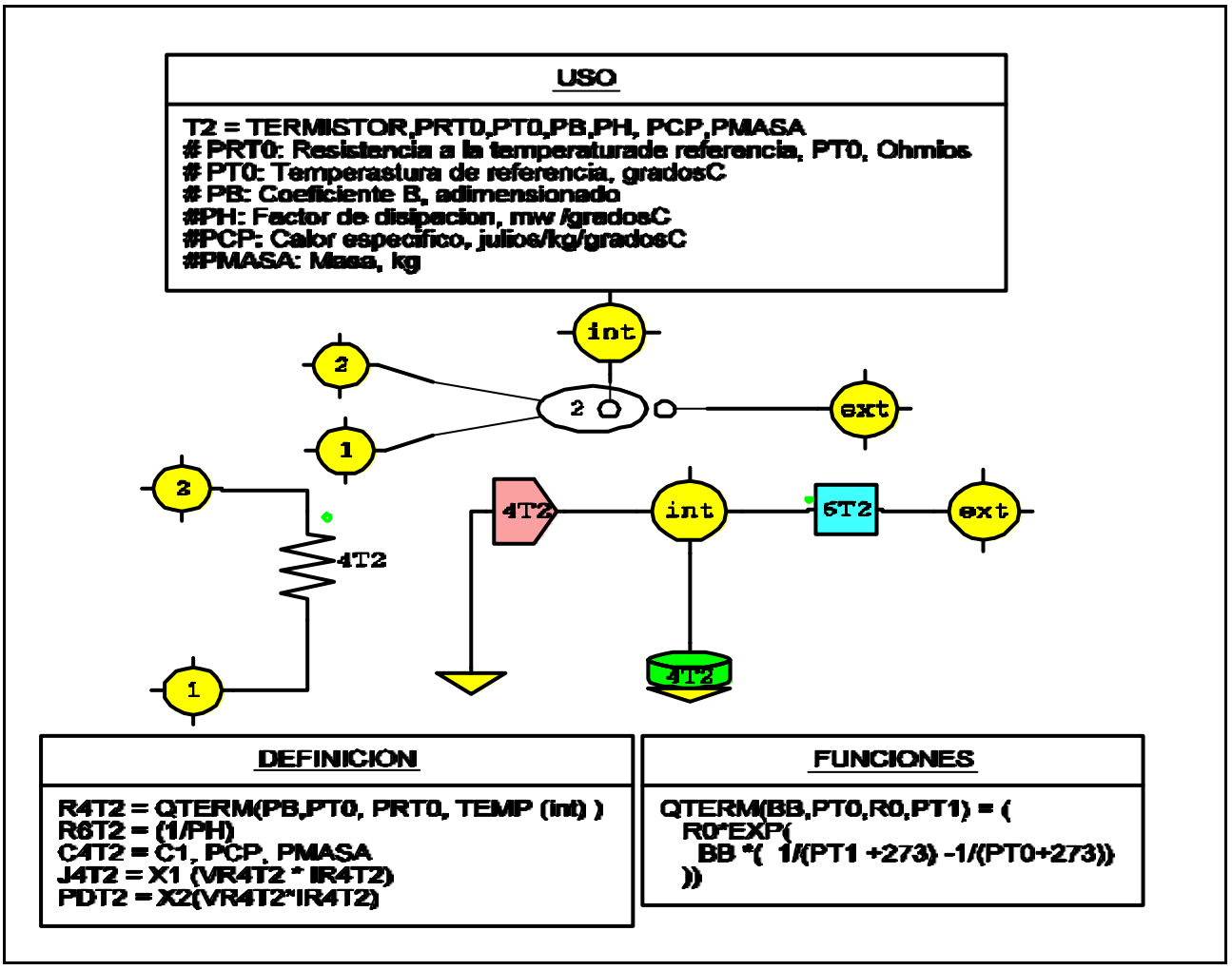


Fig. 6.- Muestra la manera en que se define un modelo en el Simusol. Se aprecia el circuito a adoptar como modelo y el dibujo que lo representará. Algunos cuadros guardan la información necesaria.

El cuadro llamado "DEFINICIÓN" contiene las definiciones de los elementos térmicos usados en la generación del modelo. Se definen uno por uno cada uno de los elementos que se coloca en el circuito adjunto como función de los parámetros dados en el otro cuadro.

En este caso se introduce en un tercer cuadro la definición de la resistencia del termistor como función de los parámetros.

Cumplida la etapa de definir el modelo, se pasa a la etapa de integrarlo dentro del circuito que lo utiliza, según muestra la figura 7. En este ejemplo el circuito es muy sencillo y consiste simplemente en una fuente de corriente que alimenta los bornes del termistor y una fuente de temperatura que determina la temperatura ambiente. El borne "int" solo se usa para medir la temperatura interna del termistor. En este circuito completo se agregan los cuadros habituales para cualquier circuito común. Ellos suministran información sobre la definición de los componentes del circuito, el tiempo de cálculo, los valores iniciales en los acumuladores y los resultados que se van a graficar como función del tiempo. En particular se encuentra el renglón donde se suministran el nombre identificatorio del modelo, en este caso TERMISTOR, el nombre lógico, en este caso T2, y los valores de los parámetros. Estos pueden ser números o tablas, como se ilustra en el ejemplo o eventualmente una fórmula dependiente de otros parámetros.

El modelo, T2, dentro del circuito puede usarse con un nombre distinto del que se usa en la definición.

Para llevar a cabo el cálculo se llamará al programa Simusol, indicando el archivo donde está el diagrama general. La expresión sería:

simusol archivogeneral

El programa buscará los archivos de los modelos en el directorio en que se está trabajando. Puede definirse una librería de modelos en un directorio especial. En ese caso si el Si Simusol no encuentra el archivo del modelo en el directorio de trabajo, lo buscará en la librería de modelos existentes.

La figura 8 muestra el resultado del cálculo.

5. CONCLUSIONES

El programa que se presenta en este trabajo brinda la oportunidad a profesionales latinoamericanos de disponer de una herramienta de cálculo sin costo y en idioma español. El desarrollo está suficientemente avanzado para ser utilizado en forma provechosa, pudiéndose simular sistemas físicos muy variados que cubren prácticamente todo el espectro de sistemas solares.

En el futuro próximo se seguirá trabajando en su desarrollo, de manera que se pueda disponer en forma sencilla de las posibilidades de simulación para los distintos sistemas físicos mediante el agregado de plantillas con objetos propios para cada uno de ellos.

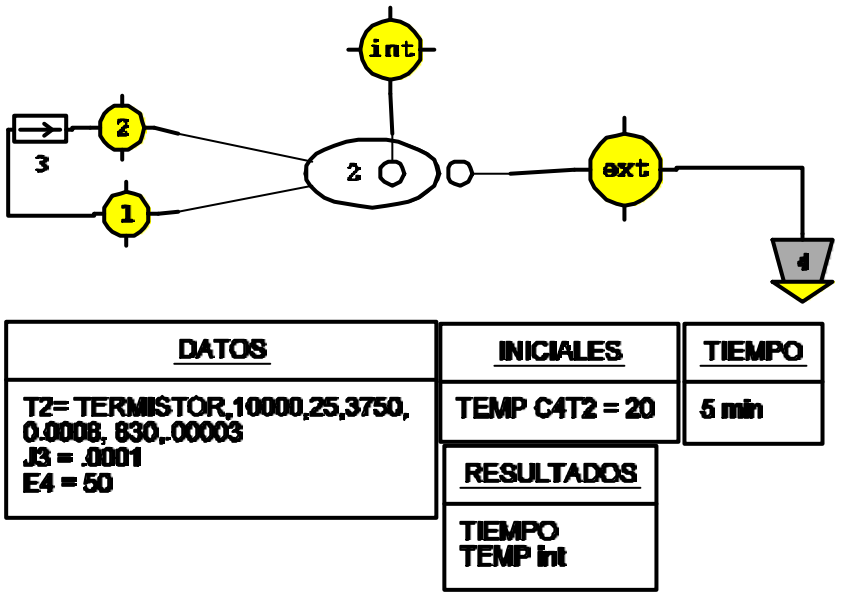


Fig. 7.- Diagrama general donde se utiliza el modelo del termistor.

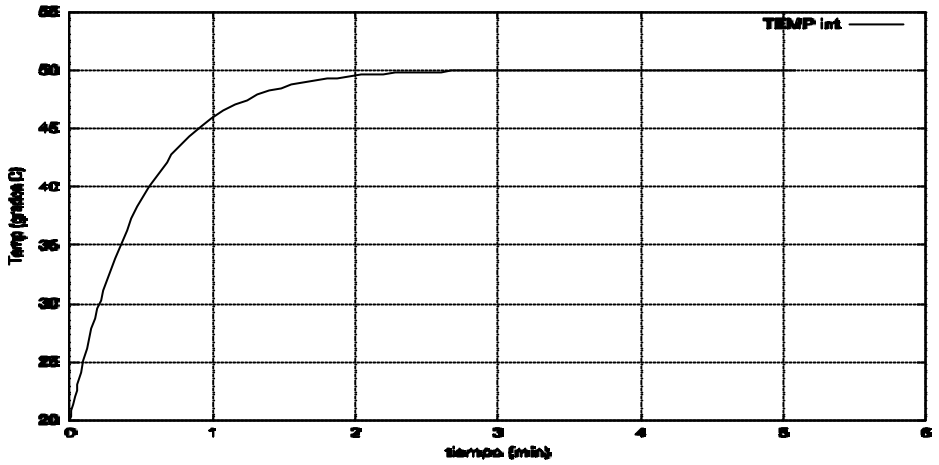


Fig. 8: Muestra la gráfica de la temperatura del nodo "int" en función del tiempo en minutos.

REFERENCIAS

Alía de Saravia, D.; Saravia, L. y Saravia, D., (2002), *Avances en la capacidad del simulador de sistemas solares térmicos, Simusol*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, ASADES, vol. 6, No. 2, pp. 08.31-08.36.

Becker D. (1973) Extended Sceptre:Vol 1, User Manual, AFWL-TR-73.

Duffie, J. A and Beckman, W. A. (1991) Solar Engineering of Thermal Processes, 2da edición, Wiley InterScience, New York.

G. M. Electrónica (2000), *Manual de componentes*, Edición de la propia Compañía, Buenos Aires.

Norton, H. N. (1982), *Sensor and Analyzer Handbook*, Prentice Hall International, ISBN 0-13-806760-0.

Novender, W. R. (1998), Revision and Edition of the Extended Sceptre, User Manual, Giessen-Friedberg University, Germany.

Novender, W. R. (1999), Sceptre: simulación de circuitos eléctricos no lineales, Linux Journal, versión española, 3, 41-44.

Saravia, L. y Saravia, D., (2000), *Simulación de sistemas solares térmicos con un programa de cálculo de circuitos eléctricos*, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, ASADES, vol. 4, No. 1, pp. 08.17-08.22.