

**INENCO**

**Instituto UNSa – CONICET**

**Bolivia 5150, 4400, Salta, Argentina  
saravia@unsa.edu.ar**

**SIMUSOL**

**TUTORIAL**

**Versión 1.0**

**Luis Saravia, Dolores Alía de Saravia**

**Agosto/2007**

## INDICE

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN BÁSICA.....	3
1.2 LOS SISTEMAS FÍSICOS A ESTUDIAR.....	4
1.2.1.- PARÁMETROS CONCENTRADOS, TEMPERATURAS.....	4
1.2.2.- LOS FLUJOS ENERGÉTICOS.....	5
1.2.3.- LA DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FÍSICO.....	5
1.3 EL PROGRAMA DIA.....	7
1.4 LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS.....	9
1.4.1.- LAS RESISTENCIAS CONVECTIVAS.....	9
1.4.2.- LAS RESISTENCIAS CONDUCTIVAS.....	10
1.4.3.- LAS RESISTENCIAS RADIATIVAS.....	10
1.5 LAS ECUACIONES PARA CADA PÉRDIDA TÉRMICA.....	11
1.6 LAS MASAS TÉRMICAS.....	12
1.7 DEFINICIÓN DE TEMPERATURAS.....	13
1.8 FLUJOS DE CALOR.....	14
1.9 NOMENCLATURA DE TEMPERATURAS Y FLUJOS.....	15
1.10 EL CÁLCULO CON EL SIMUSOL.....	16
CAPITULO 2.- CONCEPTOS AVANZADOS.....	20
2.1 TABLAS Y ARCHIVOS.....	20
2.2 LAS VARIABLES.....	22
2.3 LOS PARÁMETROS, DERIVADAS.....	22
2.4 LAS FUNCIONES.....	24
2.5 INSERCIÓN DE FIGURAS DEL DIA EN EL WORD.....	25
2.6 CUADRO COMENTARIOS Y CUADRO CONTROLES.....	25
CAPITULO 3.- OTROS SISTEMAS FÍSICOS.....	27
3.1 INTRODUCCIÓN.....	27
3.2 LOS SISTEMAS TERMOELÉCTRICOS.....	28
CAPITULO 4.- EJERCICIOS.....	32
4.1 EJERCICIOS PARA RESOLVER EN CLASE.....	32
4.2 PROBLEMAS SUPLEMENTARIOS.....	33
4.3 RESOLUCIÓN DE LOS EJERCICIOS 2 AL 7.....	34

# CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

## 1.1 DESCRIPCIÓN BÁSICA

El SIMUSOL es un programa que calcula numéricamente el funcionamiento transitorio de distintos sistemas físicos, ya sea térmicos, eléctricos, mecánicos, con aire húmedo o combinaciones de los mismos. En este curso estudiaremos su aplicación al estudio de equipos solares como ser calentadores de agua, generadores fotovoltaicos de electricidad, cocinas, invernaderos, calentamiento de viviendas, secadores, y otros.

El programa ha sido preparado por sus autores: Luis Saravia, Dolores Alía de Saravia y Diego Saravia usando diversos programas ya existentes y creando las interfaces necesarias en el lenguaje PERL. Toda la programación se realiza bajo la licencia GPL que permite el uso libre del Simusol en el entorno de sistema operativo LINUX.

En una primer etapa explicaremos el uso del programa basándonos en aplicaciones solares térmicas, pero más adelante pasaremos a estudiar los otros sistemas físicos.

El Simusol utiliza como base para realizar los cálculos un programa llamado Sceptre, que evalúa circuitos eléctricos y los otros sistemas, como los térmicos, se estudian utilizando la equivalencia existente entre los dos tipos de sistemas. El Sceptre fue creado en los años 70 para su uso en computadoras grandes de tipo “mainframe”, pero en los 90 el Prof. Novender (Novender, 1998) lo adaptó para su uso con el sistema operativo Linux en las minicomputadoras de uso generalizado en la actualidad. El Sceptre ha sido preparado en lenguaje Fortran. Es un programa potente que permite su aplicación a casos complicados que tienen en cuenta diversos aspectos como ser los circuitos no lineales, el uso de modelos, etc.

Por nuestra parte hemos decidido utilizar una interfaz gráfica para la entrada de datos que permita una interacción sencilla con el programa, pudiendo entrar los datos necesarios para su funcionamiento en forma sencilla y realizar cambios con facilidad. A esos efectos se utilizó el programa Dia que permite el trazado de elementos geométricos y segmentos que los unen formando diagramas. También es capaz de permitir la incorporación de los íconos que sean necesarios para representar los sistemas térmicos.

Por último se utiliza el programa Gnuplot para presentar los resultados en forma gráfica.

Los tres programas trabajan en forma conjunta mediante un conjunto de interfaces preparadas en Perl y se han diseñado un conjunto de herramientas que permiten el control de los datos que se entran y la ejecución de distintas opciones que facilitan el uso del programa.

En el curso iremos presentando paulatinamente el funcionamiento y uso del Simusol para facilitar en lo posible su aprendizaje. Comenzaremos explicando qué tipos de sistemas físicos es posible estudiar y cómo se debe encarar su descripción para que sea posible usar el Simusol. Luego repasaremos los elementos básicos de un sistema térmico, especialmente aquellos de utilidad en el caso de los sistemas solares y veremos cómo podemos describir un circuito térmico usando el Dia. Cuando se ejecuta el Simusol, estaremos controlando posibles errores, usaremos el Sceptre para calcular el estado transitorio del circuito y una vez obtenidos los resultados se dibujarán mediante el Gnuplot.

Una vez que se haya dominado el uso del programa en los casos térmicos entraremos en la descripción de otros sistemas físicos de interés para los equipos solares.

### ACTIVIDAD 1.1

*En la tabla 1.1 que se muestra se designan las filas con los nombres de distintos equipos solares y las columnas con los tipos más habituales de sistemas físicos. Para cada fila ponga una X en cada celda de un sistema físico que intervenga en el equipo de la fila seleccionada.*

Tabla 1.1.- Tabla cruzada de equipos solares y sistemas físicos

	TERMICO	ELECTRICO	MECANICO	AIRE HUMEDO
Panel Fotovoltaico.				
Cocina solar				
Invernadero				
Calentamiento de Edificios.				
Generacion eléctrica con ciclo Stirling.				
Destilador de agua				
Secador solar				
Colector calentador de agua.				

## 1.2 LOS SISTEMAS FÍSICOS A ESTUDIAR

### 1.2.1.- PARÁMETROS CONCENTRADOS, TEMPERATURAS

El Simusol es capaz de estudiar los llamados “sistemas a parámetros concentrados”, los que explicaremos a continuación usando como ejemplo los sistemas térmicos.

En un sistema térmico la variable más importante es la temperatura. Un sistema concentrado es aquel que puede ser dividido en partes cada una de las cuales está determinada por una sola temperatura. Esto implica que el número total de temperaturas será finito.

#### EJEMPLO 1.2.1.1

*Un sistema físico está constituido por una masa de aire a temperatura constante, en la cual se coloca un tanque de agua que tiene una temperatura dada. El sistema queda definido en cada instante por dos temperaturas: la del aire y la del agua. Por tanto, es un sistema a parámetros concentrados.*

#### EJEMPLO 1.2.1.2

*Un sistema físico está constituido por un colector plano. Por un lado entra el agua fría y por el otro sale el agua caliente. El agua se va calentando a medida que recorre el colector. Por tanto, en cada instante existe una distribución continua de temperaturas desde la entrada a la salida. Una descripción exacta del equipo necesita conocer la distribución continua de temperaturas por lo que el sistema no es a parámetros concentrados.*

En muchos casos es posible transformar en forma aproximada un sistema que no es “a parámetros concentrados” en otro que sí lo es, pudiendo entonces realizar un cálculo aproximado del sistema utilizando el Simusol. Por ejemplo, en el caso del ejemplo 1.2.1.2 el colector se puede dividir en un conjunto de pedazos a lo largo del mismo y considerar que cada parte tiene una sola temperatura. El sistema se convierte en uno a parámetros concentrados y puede ser estudiado por el Simusol. La representación es aproximada y los resultados se aproximarán al resultado exacto cuando se aumente el número de partes que se utilice.

### **1.2.2.- LOS FLUJOS ENERGÉTICOS**

Las temperaturas que describen un equipo pueden cambiar en función del tiempo como respuesta a la variación de los parámetros externos al mismo. El Simusol podrá calcular esa variación (funcionamiento transitorio). Estos procesos serán producidos por el intercambio de los flujos de calor entre las partes del equipo y el exterior, por lo que el Simusol deberá disponer de los datos necesarios para realizar el cálculo..

### **1.2.3.- LA DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FÍSICO**

Una vez que el funcionamiento del equipo a estudiar se ha definido en la forma adecuada a través de sus temperaturas y flujos, como para someterse a un cálculo con Simusol, será necesario indicar expresamente las mismas al programa, lo que se hace a través de una

descripción gráfica mediante el programa Dia. De esa forma estos datos se podrán pasar al Simusol para realizar los cálculos.

Con ese fin conviene comenzar dibujando un esquema del equipo a mano alzada, en el que se indican todas las variables a introducir, al que llamaremos “esquema térmico”.

En primer lugar, las temperaturas de cada parte del equipo se dibujan en el esquema y se les asigna un nombre identificatorio a cada una. Aquí utilizamos un redondel amarillo para indicar la temperatura. Este será el símbolo utilizado en el Dia. El nombre se colocará dentro del redondel. El nombre puede tener hasta 4 símbolos alfanuméricos. Por ejemplo puede usarse un nombre que empieza con una T y es seguido por un número que cambia con cada temperatura, como ser T12. El símbolo alfabético puede usarse en mayúscula o minúscula, entendiéndose que para el Simusol no se distingue esa diferencia. La única diferencia se establece en el caso de los nombres de archivos, donde se distingue entre ambos tipos de símbolos, lo que se reiterar más adelante.

En segundo lugar, entre cada pareja de temperaturas puede ocurrir un flujo de calor. El mismo se indicará con un dibujo distinto para cada tipo de flujo, como se indicará más adelante. En este dibujo se introduce un nombre identificatorio que cumple las mismas condiciones que los nombres de temperatura, con la diferencia de que la primer letra ya está definida para cada tipo de flujo, según se explicará más adelante. Este nombre se coloca como parte del dibujo.

#### .EJEMPLO 1.2.3.1

*Veamos el ejemplo 1.2.1.1., donde se dispone de un tanque de agua colocado en contacto con el aire de un local. Su esquema se muestra en la figura 1.2.1*

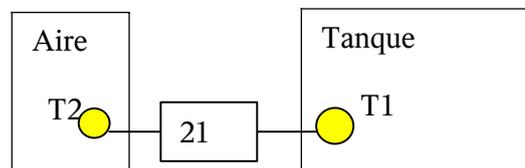


Fig. 1.2.1- Esquema que describe el equipo del ejemplo 1.2..3.1

*Las dos partes del sistema son el tanque y el aire que lo rodea, cada una con su temperatura, a las que se llama T1 y T2. Es de observar que cada temperatura se indica en la forma usada por el Simusol, es decir, con un pequeño círculo amarillo. Entre las dos partes ocurre un flujo de calor por convección que determina el funcionamiento. El mismo se indica con un rectángulo al que se le da el nombre R21 (la R se omite) y se une con un par de segmentos a las dos temperaturas.*

#### ACTIVIDAD 1.2.3.1

*Un bloque de cobre con forma cúbica de 20 cm de arista tiene 5 de sus caras cubiertas con una aislación térmica de 3 cm de espesor, encontrándose colocado en un local a 20 C. Sobre la sexta cara circula una corriente de aire con una temperatura de 80 C. El bloque está a una temperatura inicial de 20 C y se supone que se calienta con una temperatura*

*uniforme.. Dibujar el esquema térmico del sistema, indicando y dando nombres a las temperaturas y flujos de calor.*

## 1.3 EL PROGRAMA DIA

El próximo paso consiste en la definición del esquema térmico en forma gráfica para que luego pueda ser pasado al programa Simusol. Con ese fin se utilizará el programa Dia:

El programa se llama por su nombre (Dia) y se mostrará en la pantalla como una ventana donde figuran algunos menues, botones y plantillas con los cuales se introducirá el esquema. Mediante el menu se abre la ventana donde se dibujará el diagrama.El circuito térmico a definir en forma gráfica estará compuesto por :

1.- Nodos de temperatura.; uno por cada temperaura de interés.

Un temperatura presente en casi todos los circuitos es la de cero grado centígrado; es una temperatura de referencia muy importante, que se incluye en la mayoría de las descripciones físicas, por lo cual Simusol lo representa con un símbolo especial constituido en un triángulo amarillo que se muestra en la figura 1.3.1.. No hay que asignarle nombre porque ya tiene el nombre 0 Su papel dentro de nuestro esquema de trabajo se irá explicando en las secciones que siguen.



1.3.1- Muestra la representación grafica del cero grado centígrado.

2.- Elementos

Ellos introducen las partes del sistema térmico tales como acumuladores que indican las masas capaces de guardar calor, resistencias que representan las formas básicas de transmisión de calor, fuentes de temperatura, flujos de calor, etc. El Dia permitirá elegir el tamaño del elemento que se introduce y se poda colocar un nombre de hasta cuatro símbolos alfanuméricos que identifique al elemento.

3.- Uniones

Los elementos tienen puntos de entrada y salida a través de los cuales intercambian energía con los otros elementos del circuito.cada punto de entrada y salida de cada elemento debe ser unido a un nodo.

4.- Cuadros

Cada elementos está definido térmicamente por un conjunto de parámetros cuyos valores numéricos deben entregarse al programa para la simulación. Ellos se introducen mediante Cuadros que se abren como ventanas donde se escriben los valores. También es necesario entregar varias instrucciones que configuran la simulación como ser, por ejemplo, el tiempo de cálculo.

Los elementos variarán con el tipo de diagrama a dibujar. Para cada tipo se ha preparado una plantilla para que el programa Dia pueda ofrecer, en su menú principal, las representaciones gráficas de los elementos. En nuestro caso se usará la plantilla Simusol-Termico. Estas plantillas se seleccionan en la parte central del menú principal del Dia.

Las uniones se indican mediante segmentos o líneas quebradas o curvas (tomadas del menú principal de Dia); cada unión debe engancharse con sus dos extremos: uno con un nodo y el otro con un elemento. La línea quebrada permite cambiar de dirección con el fin de trazar diagramas de fácil lectura.

Al “tocar una unión con el ratón” se colorean sus extremos: con verde cuando el extremo no está enganchado y con rojo cuando si lo está. Con el ratón se toma el punto verde y se mueve para colocarlo encima de un punto de conexión del nodo o del elemento. Cuando se coloca correctamente el punto verde se transforma en rojo. La zona gráfica superior del menú principal del Dia tiene varios íconos entre ellos los que sirven para conseguir segmentos. Otro ícono de esa zona permite introducir textos explicativos como parte del diagrama.

Los cuadros se introducen a partir de la plantilla seleccionada. En el Simusol se usan cuadros que ya estaban disponibles en el Dia, razón por la cual los usados tienen algunas secciones y funciones que no se deben llenar en el caso del Simusol. Se dispone de una subventana donde se escriben los datos a entrar y de algunos botones. Uno de ellos permite finalizar con la entrada de datos y el otro permite elegir si los datos se van a mostrar en el diagrama o permanecerán como no visibles. Se usan cuadros con diferentes fines, por lo que cada uno debe ser identificado con un nombre que se escribe la primera vez que se usa el cuadro.

Finalmente, en la parte superior de la ventana del Dia se dispone de un conjunto de menús donde se dispone de varias funciones necesarias para el funcionamiento del Dia. Por ejemplo, al iniciar el uso del Dia se debe abrir la ventana donde se dibuja el diagrama que se define.

Es conveniente que el usuario se entrene en el uso del Dia antes de comenzar a utilizarlo en relación con el Simusol. Con ese fin proponemos:

*Ejercicio 1 - Llame al Dia (Alt-F2-dia, con minúscula); seleccione la plantilla del Simusol-Termico y arme diferentes gráficos térmicos ensayando las posibilidades existentes.*

A continuación se dan algunas referencias relativas al manejo del Dia y del Simusol.

- 1.- Para llamar al Dia se aprieta Alt-F2, con lo cual se abre una pequeña ventana donde se escribe “dia” y se aprieta return para que arranque.
- 2.- Con ello se presenta el menú principal del Día y se abre una ventana pronta para recibir un diagrama nuevo. La ventana puede tener o no tener una barra de menú en la parte superior; si no lo tiene, se consigue un menú equivalente pulsando el botón derecho del ratón en cualquier punto de la ventana.

3.-Se introduce el dibujo y se guarda utilizando la opción Archivo del menú del diagramatón izquierdo del ratón. El submenú Archivo contiene los comandos para manejo de los archivos, en particular el comando guardar como.

4- Cada vez que se modifique el diagrama es necesario guardarlo para que el Simusol use la nueva versión. Después de guardar el archivo la primera vez con nombre, solo es necesario apretar control-s.

5.- Es necesario abrir una ventana de comandos apretando el ícono que muestra un monitor de pantalla negra (quizás en la barra de menú inferior del escritorio). Una vez abierto se sitúa la ventana en la carpeta donde se guardó el diagrama. Para eso se usa el comando cd (Change directory) seguido del nombre de la carpeta. En esa ventana se escribe el comando simusol (con minúsculas) para ejecutar el programa. Recordar que al apretar la tecla flecha para arriba aparecen los comandos escritos con anterioridad. Esto es útil para no tener que escribir los comandos ya usados.

6.- Al ejecutar aparecen varias líneas con diferente información y se termina mostrando los dibujos con los resultados( si la simulación fue exitosa). Si no termina bien se debe apretar return para terminar o a veces una q (de quit).

## 1.4 LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS

Hemos visto que los flujos térmicos se representan con símbolos que se eligen en una plantilla del Dia, llamada Simusol-Térmico. A continuación introducimos los principales y nos entrenaremos en su uso.

Los flujos, además de su entrada gráfica, necesitan un conjunto de datos numéricos que los definen a los efectos del cálculo. Esto los aprenderemos por separado.

### 1.4.1.- LAS RESISTENCIAS CONVECTIVAS.

Una superficie que separa un cuerpo de un fluido es lamada por éste, lo que produce un intercambio calor entre ambos. Este flujo de calor es uno de los más habituales en un sistema térmico y se representa con un rectángulo de color celeste que recibe el nombre de resistencia convectiva. Existen dos opciones: aquellas en el que las entradas y salidas son horizontales y la otra en que las mismas son verticales. La figura 1.4.1.1 muestra los dos casos. Este flujo se identifica con un nombre formado por no más de 4 símbolos alfanuméricos. Ya veremos que en el momento de introducir los valores de los parámetros necesarios para definir la resistencia, se debe anteponer una R al nombre elegido.

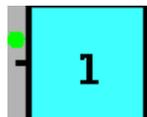


Fig. 1.4.1.1.- Muestra la representación gráfica de una resistencia convectiva.

Ejercicio 2.- (Realizar sólo la parte gráfica) *Un tanque con 100 kg de agua se encuentra a 80 C colocado en una habitación cuya temperatura es de 20 C. Calcular la evolución de la temperatura de agua durante 6 horas y muestre los resultados para la temperatura del agua y el aire así como la pérdida térmica a través de las paredes del tanque.*

*Coefficiente de pérdida de la pared al aire = 10 w/m<sup>2</sup>.C, Área de contacto del tanque con el aire = 2 m<sup>2</sup>.*

### 1.4.2.- LAS RESISTENCIAS CONDUCTIVAS

Un cuerpo sólido se coloca en contacto con dos superficies a temperaturas T1 y T2. Se produce un flujo de calor entre las dos superficies a través del cuerpo. Esta transmisión de calor recibe el nombre de flujo conductivo y se representará gráficamente mediante un rectángulo celeste como en el caso anterior, al que se agrega líneas dobles en los lados por los que entra y sale el flujo. Este elemento recibe el nombre de resistencia conductiva, la que se ilustra en la figura 1.4.2.1. A igual que en el caso anterior, el nombre identificador tendrá no más de cuatro símbolos y al dar los datos necesarios se antepondrá una R al mismo por ser una resistencia.



Fig. 1.4.2..1- Muestra la representación gráfica de una resistencia conductiva.

### 1.4.3.- LAS RESISTENCIAS RADIATIVAS

Todo cuerpo con una temperatura dada emite radiación electromagnética. A temperaturas cercanas a la de la atmósfera terrestre la radiación emitida se encuentra en el infrarrojo lejano. A medida que la temperatura aumenta la radiación se acerca al infrarrojo cercano y cerca de los 700 C comienza a llegar al visible. A esa temperatura un cuerpo comienza a mostrar un aspecto rojizo. Estas radiaciones transportan energía y son capaces de atravesar el vacío y los gases por lo que se convierten en una forma adicional de transporte de energía entre dos cuerpos a la cual se conoce con el nombre de flujo radiativo. Esta transmisión se representa con el dibujo que se muestra en la figura 1.4.3.1. A igual que los dos casos anteriores el nombre que se le asignará un nombre.

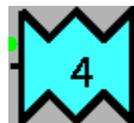


Fig. 1.4.3.1- Muestra la representación gráfica de una resistencia radiativa

Ejercicio 3. (Realizar sólo la parte gráfica) *Dos paredes planas paralelas con un área de 2 m<sup>2</sup> están en contacto con aire entre ellas y se encuentran a las temperaturas de 20 C y 150 C. Las paredes están en buen contacto con masas de agua de 200 kg cada una. El aire*

está a 50 C. Las dos paredes transmiten calor por convección hacia el aire con un coeficiente convectivo  $h$  igual a 10 W/m<sup>2</sup>.C. Entre ellas se intercambia calor radiativamente pudiéndolas considerar como cuerpos negros. Esquematizar el sistema y calcular los flujos de calor resultantes.

#### ACTIVIDAD 1.4..3.1

Un tanque con 200 kg de agua a 80 C tiene una pared vertical de hierro ( $k=50$ ) de 1 cm de espesor y un área de 2 m<sup>2</sup>. La pared está en contacto con aire a 20 C y pierde convectivamente hacia el mismo con un coeficiente  $h= 8$  W/m<sup>2</sup>C. Prepare un esquema del sistema físico y calcule los flujos resultantes.

## 1.5 LAS ECUACIONES PARA CADA PÉRDIDA TÉRMICA.

Las pérdidas recién introducidas están definidas físicamente mediante ecuaciones donde se introducen los parámetros que cuantifican el fenómeno. Por ejemplo, la pérdida convectiva esta determinada por la siguiente ecuación:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_2 - T_1),$$

donde  $Q$  es el flujo de calor transmitido entre una superficie plana que tiene un área  $A$  y el fluido con temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente. El parámetro  $h$  es el coeficiente convectivo. Esta ecuación forma parte del Simusol quien la utilizará para realizar el cálculo cuando la representación gráfica se utilice en el Dia. El valor de los parámetros se expresará en el sistema de unidades SI (sistema internacional de unidades).

Para que esto ocurra debe introducirse en el Dia los datos necesarios, en este caso los valores de  $h$  y  $A$ . La entrada de estos datos se realiza utilizando un nuevo ícono en el Dia, al que se le da el nombre de cuadro. Cuando se lo llama se abre un recuadro al que se lo bautiza con el nombre "DATOS" y donde se introducen los valores a dar a los distintos parámetros utilizando una nomenclatura especial. Por ejemplo, para una resistencia convectiva identificada como R21, se utiliza la siguiente expresión:

$$R21 = V1, A, h .$$

Esta expresión indica que se darán los parámetros de la resistencia R21. El símbolo V1 nos dice que esta resistencia es de tipo convectivo ( la V nos hace recordar a una resistencia de tipo conVectivo y el 1 nos dice que se refiere a un intercambio en una superficie plana). A y h da los valores de los dos parámetros típicos de esta resistencia.

Para el caso de las pérdidas conductivas la ecuación correspondiente a un cuerpo limitado por dos superficies planas y paralelas es :

$$Q = k \cdot A \cdot (T_2 - T_1) / e$$

Donde  $Q$ ,  $A$ ,  $T_1$  y  $T_2$  ya han sido descriptos en el caso anterior,  $e$  es el espesor de la pared plana por la cual pasa el flujo de calor y  $k$  es el coeficiente conductivo del material de la pared.

La entrada de los datos se lleva a cabo utilizando la siguiente expresión:

$$R_{22} = D1, A, e, k$$

En la cual  $R_{22}$  es el nombre de la resistencia, la letra  $D$  identifica la resistencia como conductiva (la  $D$  corresponde al nombre conDuctivo) y el 1 nos dice que es un cuerpo conductivo plano.

Para el caso de las pérdidas radiativas, la ecuación correspondiente al intercambio radiativo entre dos superficies planas es:

$$Q = 6,87 \cdot 10^{-7} \cdot \epsilon \cdot f \cdot A \cdot [(T_2 + 273,15)^4 - (T_1 + 273,15)^4]$$

Donde  $\epsilon$  es la emisividad de las superficies que se enfrentan,  $f$  es el factor de forma que depende de la posición relativa de las superficies planas paralelas y  $A$  es el área de la superficie plana. En este caso,  $T_1$  y  $T_2$  se siguen expresando en grados centígrados. Para entrar los datos se usa la expresión:

$$R_{23} = R1, A, \epsilon, f$$

donde se dan los parámetros de la resistencia  $R_{23}$ . La  $R$  indica que es del tipo radiativo (donde la  $R$  corresponde al nombre Radiativo), el 1 indica que el intercambio ocurre entre superficies planas y  $\epsilon$  y  $f$  son los tres parámetros ya nombrados.

Ejercicio 2 y 3.- *(Continuacion) Complete los diagramas con los cuadros necesarios*

ACTIVIDAD 1.5.1

*(Continuación de actividad 1.4.1) Complete el diagrama con los cuadros necesarios*

## 1.6 LAS MASAS TÉRMICAS

Todos los cuerpos que intervienen en la definición del fenómeno térmico tienen una masa en la cual se puede almacenar energía mediante un cambio en su temperatura. La capacidad térmica del cuerpo se da mediante su calor específico  $c_p$ . Dado que estas masa intervienen en el intercambio térmico proveyendo una acumulación sensible, deben introducirse en la descripción del mismo mediante el programa Dia. La figura 1.6.1 muestra la representación gráfica de una masa acumuladora, que puede ser sólida, líquida o gaseosa. La misma será identificada con un nombre. Cuando se use para describir los datos necesarios al nombre se agregará una  $C$  antepuesta al resto del nombre. La letra  $C$  es utilizada porque en el circuito eléctrico equivalente la masa de acumulación está representada por una capacidad eléctrica.



Fig.- 1..6.1.- Muestra la representación gráfica de una masa de acumulación

La cantidad de energía acumulada en una masa se calcula usando una temperatura de referencia, que en el caso del Simusol será el 0 grado centígrado. Por tal razón a la representación gráfica, que es parecida a un recipiente y tiene color verde, se le agrega por debajo un triángulo amarillo. El mismo representa, según ya lo hemos visto, el 0 grado.

La cantidad de energía acumulada en la masa está dada por la siguiente fórmula:

$$Q = cp * M * (T1 - 0)$$

Donde Q es el calor acumulado, T1 la temperatura de la masa, M su masa y cp su calor específico. En la fórmula se ha agregado un cero para remarcar que el calor calculado está referido al cero grado centígrado.

Como en los casos ya definidos, los parámetros que definen el flujo deben ser dados mediante un cuadro titulado con la palabra DATOS. La expresión es:

$$C25 = C1, cp, M$$

Donde se identifican los datos con el nombre de la masa, la C indica que es una masa y el 1 indica el tipo. Finalmente se colocan los valores de los dos parámetros cp y M.

## 1.7 DEFINICIÓN DE TEMPERATURAS

Durante una simulación es muchas veces necesario introducir una temperatura como dato, ya sea constante o variable en el tiempo. Con ese fin se dispone de un ícono en el Dia que representa una fuente de temperatura. La figura 1.7.1 muestra su representación gráfica



Fig. 1.7.1.- Muestra la representación gráfica de una fuente de temperatura.

La identificación de este elemento debe comenzar con una E (ya que en el símil eléctrico las fuentes son fuentes de voltaje). El valor de la fuente debe introducirse en el cuadro de datos como se indica a continuación:

$$E26 = 45$$

En este caso la temperatura es constante e igual a 45 grados centígrados.

Es posible entrar funciones del tiempo, ya sea mediante una función analítica o con una tabla. Para el caso analítico podemos dar el siguiente ejemplo:

$$E26 = 50 + 20.\text{Sin}(2*3.1415*\text{TIEMPO}/7200)$$

La introducción de tablas mediante un archivo la aprenderemos mas adelante.

#### Actividad 1.2.1

*Un tanque cúbico con un lado de 1.2 m tiene agua a una temperatura inicial de 80 C. Se encuentra en un local cuyo aire, paredes y piso están a una temperatura de 20 C. Preparar con el Día el circuito térmico del sistema teniendo en cuenta la pérdida convectiva del tanque al aire ( $h=8$ ) y su pérdida radiativa hacia las paredes que rodean completamente al tanque. Se supondrá que las paredes y tanque se comportan como un cuerpo negro. Agregar el cuadro con los datos necesarios para el cálculo.*

## 1.8 FLUJOS DE CALOR

El intercambio de flujos de calor externos es uno de los procesos térmicos habituales. En el Simusol se dispone de iconos los cuales pueden ser usados en una simulación. Se tienen disponibles dos procesos de transferencia de uso común.

Uno de ellos es la entrega directa al proceso de un flujo de calor. Como ejemplo se puede considerar un calentador eléctrico que aumenta la temperatura de un depósito de agua. Otro caso común en sistemas solares es la incidencia de radiación solar en una superficie del equipo que se simula. La figura 1.8.1 muestra la representación gráfica de un flujo de calor. El nombre que se usa al entrar datos debe comenzar obligatoriamente con una J para que el Simusol lo reconozca como tal. El uso de la J está relacionado con los flujos eléctricos en el circuito eléctrico equivalente.

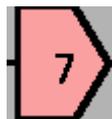


Fig. 1.8.1.- Muestra la representación gráfica de un flujo de calor.

En el Simusol los flujos de calor están referidos a un área A. Esto se ha organizado así porque en las simulaciones solares es muy común el flujo de energía solar en un área dada. Si el flujo no está referido a un área, al valor de A se lo indica como 1. Los datos necesarios que se deben cargar en el cuadro de DATOS se expresan en la siguiente forma:

$$J29 = JQ, A, q$$

Donde A es el área de referencia y q el flujo de calor por unidad de área. El hecho de que el flujo sea de calor se identifica con las letras JQ ( Q de calor ).

El otro proceso es el flujo de calor mediante la circulación de un flujo de temperatura a cierta temperatura. Si el flujo de una masa M es de un fluido con un calor específico cp y proviene de un nodo que se encuentra a una temperatura T, el flujo de calor valdrá:

$$Q = cp * M * T$$

Se le asignará un nombre, al cual se le agregará una J cuando se den los parámetros que lo caracterizan en un cuadro de DATOS. La expresión será:

$$J30 = JM, cp, M$$

Como se aprecia, el hecho que el flujo sea másico se identifica con la notación JM ( M de masa )

*Ejercicio 4.- Un colector solar está formado por un tanque con un área de 2 m<sup>2</sup> y un espesor de 2 cm expuesto al aire a través de un vidrio. Se supone que el tanque tiene una temperatura uniforme y pierde calor hacia el exterior a través del aire con un coeficiente convectivo igual a 5 W/m<sup>2</sup>.C. una bomba mueve el agua del colector a otro tanque de 150 litros a temperatura uniforme. El agua retorna al colector después de mezclarse con el agua del tanque. El colector recibe a través del vidrio una radiación constante igual a 700 W/m<sup>2</sup> durante 8 horas.. Se supone que la temperatura del aire es constante e igual a 20 C y que la temperatura inicial de ambos tanques es igual a 15 C. Calcular la evolución de la temperatura del tanque de almacenamiento.(Dejar el cálculo para después)*

## 1.9 NOMENCLATURA DE TEMPERATURAS Y FLUJOS

En el Simusol se dispone de las temperaturas de cada nodo en cada instante del cálculo, ya sea para conocer esos valores a fines de analizar los resultados o como variables que formarán parte de ecuaciones a utilizar en el cálculo.

Estas variables se designan con un nombre que empieza con “Temp” seguido del nombre del nodo que interesa. Por ej., si se quiere la temperatura del nodo T25, la variable correspondiente se llamará TempT25. Se pueden usar tanto minúsculas como mayúsculas.

También se dispone de los valores de los flujos de calor en los elementos. En ese caso se usa la Expresión “Flujo” seguida del nombre del elemento. Por ejemplo, Si el elemento es R18, el nombre a usar es FlujoR18.

Existe una nomenclatura alternativa que proviene de la original utilizada por el Sceptre, que indica el flujo sobre un elemento o la diferencia entre las temperaturas de los dos nodos a los que está conectado el elemento. Para el flujo se coloca delante del nombre una I. Por ejemplo, una resistencia R24 es atravesada por un flujo IR24. Para la diferencia de temperaturas entre los extremos de un elemento se usa la letra V. Por ejemplo, en el caso de la resistencia R24, se usa VR24. La I y la V provienen de la nomenclatura eléctrica original

del Sceptre (corriente I y voltaje V). Esto implica que esta nomenclatura no da naturalmente la temperatura de un nodo sino diferencias. No obstante, si al nodo está conectado una masa, el otro extremo de la masa siempre está conectado al cero centígrado, por lo que en ese caso si se obtiene la temperatura del nodo.

## 1.10 EL CÁLCULO CON EL SIMUSOL

Una vez que se arma gráficamente el diagrama que representa el fenómeno térmico será necesario recurrir al Simusol para realizar el cálculo final. No obstante, previamente es necesario introducir un conjunto de datos complementarios, lo que se hace mediante diferentes cuadros que se detallan a continuación.

Todo sistema térmico necesita que se definan valores iniciales de las variables del mismo. Ellas son las temperaturas iniciales de los nodos a los cuales están conectadas las masas de acumulación. Dichas masas tendrán temperaturas iniciales que se dan a través de un cuadro al que llamaremos con el nombre de INICIALES. Los valores que se deben dar son las temperaturas de los nodos a los cuales están conectadas las masas. La figura 1.10.1 muestra un ejemplo de un cuadro de este tipo.

Iniciales
Temp T10 = 50 VC25 = 50

Fig. 1.10.1.- Muestra un cuadro INICIALES con los valores de dos temperaturas.

En la figura 1.10.1 se supone que al nodo T10 se ha conectado un acumulador (C25). En el segundo renglón se usa la nomenclatura alternativa de usar la V. Obsérvese que el otro nodo del condensador está a tierra, por lo que VC25 dará la temperatura del nodo. (Sólo hay que indicar uno de ellos).

Otro parámetro importante es el tiempo de cálculo, el cual se da en un cuadro separado al que se llama TIEMPO. El valor puede estar expresado en segundos, minutos, horas o días. Por ejemplo, se podrá indicar 7200 segundos, 120 minutos o 2 horas. El número deberá ser seguido por el nombre de la unidad de tiempo utilizada. La figura 1.10.2 muestra un cuadro “tiempo”

Tiempo
3 horas

Figura 1.10.2.- Muestra el cuadro tiempo.

Finalmente, el Simusol, una vez que termina el cálculo, puede mostrar gráficos de los resultados que interesan. Para ello se debe definir un cuadro “resultados” donde se indican las variables que se quieren dibujar.

Resultados
Temp T10 Flujo R25

Fig. 1.10.3.- Muestra el cuadro “resultados”.

or defecto, el Simusol agrupa los distintos tipos de variables, por ej. todas las variables Temp., y las muestra en un solo gráfico. Si hay mas de un gráfico los mostrará en secuencia a medida que se aprieta Return después de mostrar un gráfico dado.

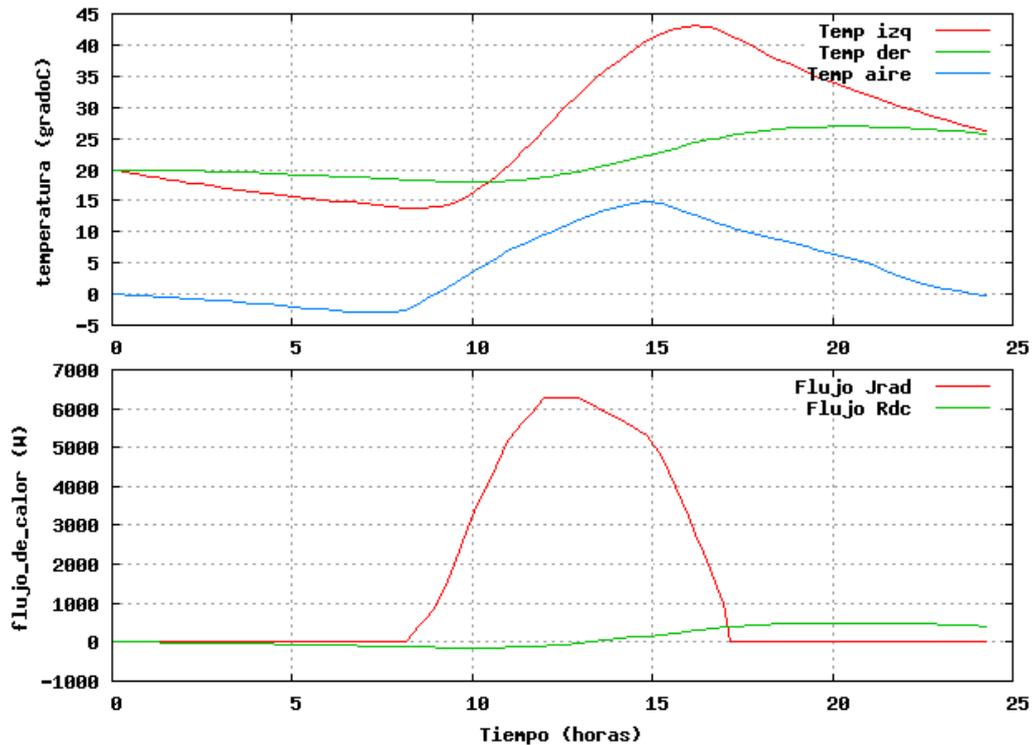


Fig. 1.10.4- Gráfico de los valores calculados como función del tiempo.

Los dibujos son de buena calidad. La figura 1.10.4 muestra un ejemplo en el que se aprecia la variación de varias temperaturas y un flujo.

Es posible solicitar gráficos más elaborados, pero ello será discutido más adelante. Por ejemplo, se pueden colocar datos experimentales que se entregan en un archivo, o poner nombres especiales en los ejes, etc.

Una vez que se han completado el diagrama y todos los cuadros con los datos necesarios, se puede proceder al cálculo. A esos efectos se deberá disponer de dos ventanas abiertas:

- 1) Una es la del Día que contiene el diagrama en el que se trabajó. No debe olvidarse de guardar el diagrama en una carpeta de su directorio y asignarle un nombre, por ej., `diagrama1.dia`.
- 2) Luego se debe abrir una ventana terminal y en la misma cambiar de directorio hasta ubicarse en la carpeta que contiene el diagrama (para eso se usa el comando `CD`, es decir, *change directory*). Allí se ejecutarán los comandos para realizar el cálculo y el `simusol` responderá dando indicaciones diversas sobre el cálculo realizado.

Para llevar a cabo la simulación se escribirá el siguiente comando en la ventana terminal:

```
Simusol diagrama1.dia
```

Si la carpeta tiene un solo diagrama basta escribir simplemente:

```
Simusol
```

Si tiene más de un diagrama y escribe solo `Simusol`, el programa lista los diagramas disponibles y se puede elegir el que se quiere ejecutar.

Existe la posibilidad de solicitar otras tareas con este comando, las que se verán más adelante.

Al comenzar el cálculo el `Simusol` escribe información diversa sobre el mismo a medida que se lleva a cabo.

Ante todo revisará el diagrama y en caso de encontrar errores, pedirá que se los corrija. El `Simusol` puede revisar una cantidad bastante extensa de posibles errores. Cuando el mismo se refiere a algún problema con el diagrama, por ej. un nodo no conectado, indicará la posición en el que ocurre utilizando las coordenadas que aparecen en la ventana del diagrama.

Luego comenzará el cálculo. Eventualmente puede indicar algún error de cálculo que impide terminar el mismo.

Terminado el cálculo se muestra una tabla con un resumen sobre los resultados referidos a las variables para las cuales se solicitó resultados.

Finalmente, mostrará los gráficos de las variables de interés.

Ejercicios 2,3 y 4 – (terminación) Completar las simulaciones.

**ACTIVIDAD 1.10.1**

*Un tanque de forma prismática tiene un área en su cara mayor de 4 m<sup>2</sup> y un espesor normal a ésta de 0.20 m. Sobre una de las caras mayores recibe una radiación solar de 600 W/m<sup>2</sup> durante 8 horas. El tanque está rodeado de aire a una temperatura constante de 20 C. Determinar la curva de ascenso de temperatura del tanque durante esas 8 horas. El coeficiente convectivo de pérdidas de las paredes vale 10 W/m<sup>2</sup>C. No se tendrá en cuenta la pérdida por el piso. Se preparará el gráfico en el Dia incluyendo todos los datos necesarios para el cálculo. Se realizará el cálculo con el Simusol.*

## CAPITULO 2.- CONCEPTOS AVANZADOS

En el capítulo anterior hemos explicado el funcionamiento básico del Simusol. Este programa dispone de muchas otras propiedades que enriquecen en mucho sus posibilidades de uso convirtiéndolo en un programa poderoso para el estudio de sistemas físicos. A continuación se irán introduciendo las mismas.

### 2.1 TABLAS Y ARCHIVOS

En algunas simulaciones será necesario entregar datos en forma de tablas. Por ej., los valores de radiación solar incidentes en un modelo se podrán dar en una tabla como función del tiempo. Existen dos formas alternativas de hacer esto, que explicaremos a continuación.

Es posible introducir tablas en el diagrama que describe el sistema en forma manual usando un cuadro al que se le pone el nombre de tabla seguida de una identificación, por ej., tabla1. La figura 2.1.1 muestra un ejemplo de tabla de radiación solar.

Tabla1
factores=3600,1
0,0
8,0
9,100
10,300
11,600
12,800
13,900
14,900
15,800
16,600
17,300
18,100
19,0
24,0

Fig. 2.1.1.- Muestra una Tabla de radiación solar en función del tiempo

En este caso la radiación es función del tiempo por lo que se entran dos columnas que contienen el tiempo y el valor de la radiación. Los valores en cada línea se separan con una coma o un blanco. Los datos de tiempo deberán llegar al Sceptre en segundos, pero aquí se

puede colocar al comenzar un factor que multiplica toda la columna. Si el factor es 3600 los tiempos se expresan en horas. La radiación se da en vatios/m<sup>2</sup> y por eso se usa un factor 1. El Sceptre supone que la función a introducir está dada por puntos. Cuando se usa en la simulación, los valores intermedios que se necesiten se calcularán mediante una interpolación lineal entre los dos valores próximos. También se requiere que la primer columna contenga valores crecientes, lo que es controlado por el Simusol.

Es de observar que si la tabla contiene valores constantes en una zona extensa alcanza con poner el primer y el último valor. El programa interpolará linealmente para obtener los valores intermedios que se puedan necesitar.

Existen otros posibles agregados que son de utilidad en algunos casos y se encuentran en el manual.

Uno de ellos es la posibilidad de repetir una o mas veces los datos inicialmente entrados. Esto es útil, por ejemplo, en el caso de que se quiera correr datos de varios días siendo iguales todos los días. Se entra un solo día y luego se pide la repetición. Para eso se escribe

rep = 3

y los datos ya entrados se repiten 3 veces cuando son enviados al Sceptre para el cálculo..

*Ejercicio 5.- El muro colector acumulador de un local es de hormigón ( $k=2.5$ ,  $ro=2400$ ) con un espesor de 0.3 m y un área de 9 m<sup>2</sup>. Recibe una radiación solar dada por una tabla. La temperatura ambiente varía con el tiempo según otra tabla. Modelizando el muro mediante 2 puntos llevar a cabo la simulación del funcionamiento del muro durante 24 horas. La pérdida del muro al exterior está dada por  $h=5$  y la de la pared al local por  $h=8$ . El local tiene una temperatura constante de 20 C.*

Otra alternativa para entrar datos es copiarlos de un archivo ya preparado. A esos efectos se utilizan comandos escritos en un cuadro al que se le da el nombre "tablas\_archivos" como se muestra en la figura 2.1.2.

Tablas_archivos
archivo TEMP = temperaturas.dat columnas tabla1 = TEMP,2:4 factores tabla1 = 3600,1 rep =3

Fig. 2.1.2.- Muestra un cuadro del tipo tablas\_archivos.

Supongamos que los archivos contienen varios datos organizados en columnas, de las cuales queremos introducir los que están en las columnas 2 y 4. En el primer comando se indica que se va a tomar datos del archivo temperaturas. Dat y se le da el nombre TEMP a efectos de reconocerlo en el cuadro. Luego se indica que las columnas a introducir en la tabla1 serán la2 y la 4. Si se desea colocar otros posibles datos se lo hace a continuación. Aquí le decimos que queremos factores de valor 3600 y 1. También indicamos que se quieren repetir los datos 3 veces.

El archivo del cual se toman los datos debe ser un archivo de tipo texto y tener separados los números por blancos o por comas en cada línea. Es muy común tener datos en tablas de Excel. En ese caso se debe abrir la tabla Excel y pedir que se guarde de vuelta en esa forma. Una de las opciones es la de separar los números con un separador, lo cual es útil a estos efectos.

## 2.2 LAS VARIABLES

En el Simusol se dispone de los valores de diferentes variables relacionadas con los diagramas, lo que permite profundizar el estudio de los mismos.

Ante todo se puede disponer del flujo que pasa por cualquier elemento y de la diferencia de temperatura entre los dos nodos de un elemento, anteponiendo al nombre del elemento las letras I o V. Por ejemplo, el flujo a través de la resistencia R15 es IR15 y la diferencia de temperatura entre sus nodos es VR15. Esta notación tiene su origen en el caso de circuitos eléctricos donde I y V representan a la corriente eléctrica y la diferencia de voltaje.

Para disponer de la temperatura de un nodo se necesita tener un elemento conectado al nodo cero. Si la resistencia R24 estuviera colocada entre el nodo T10 y el cero, la diferencia VR24 dará la temperatura del nodo T10.

En el Simusol se ha agregado otra forma de disponer de los valores de estas variables. Consiste en introducir dos nombres, TEMP y FLUJO. La expresión TEMP T10 dará directamente el valor de temperatura en T10. La expresión FLUJO R24 dará el flujo que atraviesa a R24. TEMP y FLUJO pueden ser consideradas como funciones capaces de dar los valores de esas variables.

Una variable muy importante en el Simusol es el tiempo. Se puede disponer del mismo utilizando el nombre TIEMPO, o si se quiere, TIME.

## 2.3 LOS PARÁMETROS, DERIVADAS

En Simusol es posible utilizar variables llamadas parámetros. Se los nombran en la forma normal, reconociéndolos porque empiezan con una p o P. Por ejemplo, Pa es un parámetro. Los parámetros se usan por varias razones:

- 1) simplifican la modificación de datos. Si un dato es utilizado en varios lados, se lo indica mediante un parámetro que se pone en todos los lugares. Cambiando el parámetro se cambian los valores de todos los lugares a la vez.

- 2) Su uso simplifica la descripción de una expresión algebraica o de una función, como se verá más adelante.
- 3) Se pueden definir como parámetros alguna variable que no coincida con una variable de la simulación, por ejemplo, la potencia entregada en una parte del circuito. En ese caso se define la variable de interés como dato y la misma se puede mostrar al final del cálculo en una gráfica.
- 4) Se puede ordenar la definición de los datos más importantes dándoles valores simultáneamente en un solo cuadro.

Los parámetros se definen en un cuadro con el nombre de “parámetros”, como se aprecia en la figura 2.3.1

parámetros
$P_a = 21.5$ $P_b = 45$ $P_{al} = 1, 5, 10$ $D_{Pener} = VR12 * IR12$

<u>Iniciales</u>
$P_{ner} = 0$

Fig. 2.3.1- Muestra el cuadro de definición de parámetros y el de valores iniciales

En la figura 2.3.1 se observa un detalle.: a uno de los parámetros se le asignó varios valores simultáneamente. Con esto se logra que el cálculo se lleve a cabo 3 veces con los distintos valores señalados. Esto es muy útil cuando la simulación se está poniendo a punto.

Otro aspecto de interés es la definición de la derivada de un parámetro, en el caso de la figura 2.3.1 el parámetro Pener. A la derecha se ha colocado la potencia disipada en la resistencia R12. Al poner esta sentencia el programa Simusol calculará la integral de la expresión a la derecha y la pondrá en Pener, de manera que esta nos dará la energía total disipada en la resistencia. Será necesario dar el valor inicial de Dpener, que debe ser igual a 0. Ello se consigue con el cuadro iníciales como se indica en la figura 2.3.1

Ejercicio 6 - *Un muro vertical con un área de 10 m<sup>2</sup> está constituido por un material de cambio de fase con un peso total de 900 kg. El material está en un recipiente metálico que no influye térmicamente. El muro tiene calores específicos en fase líquida y sólida y un calor de cambio de fase que comienza a los 50 C. Sobre el muro incide una radiación solar de 800 W/m<sup>2</sup> que se supondrá constante durante 6 horas. El muro pierde al aire por la cara que recibe el sol. La otra cara es adiabática. La temperatura del aire es constante e igual a 20 C, la inicial del muro es de 20 C. Determinar la variación de temperatura del muro y su eficiencia de colección de la radiación recibida*  
 $C_{psolido} = 2000 \text{ J/kg.C}$ ,  $C_{pliquido} = 3000 \text{ J/kg.C}$ ,  $q_{cf} = 160000 \text{ J/kg}$

## 2.4 LAS FUNCIONES

El Sceptre ha sido programado utilizando el lenguaje Fortran. Este lenguaje dispone directamente de un conjunto interesante de funciones matemáticas. El Simusol se ha preparado para que haga uso de esas funciones en forma directa.

Por ejemplo, la función SIN(tiempo) entregará valores del seno de la variable tiempo.

En el Fortran se pueden definir expresiones algebraicas utilizando símbolos para las operaciones algebraicas comunes ( +, -, \*, /, \*\*, () ). Esto también se ha extendido al Simusol.

Por ejemplo, las expresiones:

$$\text{TEMP T10} * 7 + \text{TEMP T27} / 15 - \text{TEMP T11} ** 2 + 6 * \text{SIN}(\text{TEMP T10}),$$

$$\text{Pener} = \text{Temp R24} * \text{Flujo R24},$$

serán entendidas y ejecutadas por el Simusol.

En el Simusol también se pueden definir funciones, a cada una de las cuales se asigna un nombre. Ello se lleva a cabo utilizando un cuadro denominado “funciones”. La única condición a cumplir es que el nombre de la función empiece con la letra Q. Las funciones pueden depender de uno o mas argumentos, El nombre utilizado para cada argumento no tiene limitaciones en cuanto al tipo de símbolo alfanumérico usado, pero debe tener más de uno. La figura 2.4.1 muestra un ejemplo.

FUNCIONES
$\text{QWS}(\text{PS}) = 0.622 * \text{PS} / (100000 - \text{PS})$ $\text{QPS}(\text{TT}) = 610.7 * 10 ** (7.5 * \text{TT} / (\text{TT} + 273))$

Fig. 2.4.1- Muestra un cuadro de definición de funciones.

El ejemplo corresponde al cálculo de la humedad absoluta de saturación utilizando la función de la presión de saturación como función de la temperatura. QWS nos da la humedad absoluta de saturación como función de la presión de saturación PS. QPS da la presión de saturación como función de la temperatura TT.

Si bien el nombre del argumento no tiene limitaciones, cuando la función es usada en los distintos cuadros del Simusol, los argumentos a usar deben ser variables del Simusol

*Ejercicio 7 -Un tanque con 100 kg de agua está calentado por una fuente térmica. Se utilizará un controlador para mantener cuasi constante la temperatura del agua una vez*

que la misma llegue a 50 C. Simular el controlador con el Simusol. Se supone que el tanque está en un ambiente de aire a 0 C y que el tanque pierde calor a través de sus paredes con una constante convectiva de 10 w/m<sup>2</sup>.C. El área de contacto del tanque con el aire es de 1 m<sup>2</sup>. Para resolver este problema se utilizará la función de Fortran llamada *Dsign(a,b)*, donde *a* es un número a elegir y *b* un dato. La función pasa el signo de la variable *b* a la variable *a*.

## 2.5 INSERCIÓN DE FIGURAS DEL DÍA EN EL WORD

Si usted prepara trabajos en el Word, se pueden insertar diagramas dibujados en el Día. Para eso siga los siguientes pasos.(Puede haber variaciones entre versiones de Día).

- 1) Al llamar al Día, antes de llamar una ventana, solicite que en la ventana a abrir aparezca un menú. Para eso apriete en el menú del Día:  
*Archivos -> Preferencias -> interfaz de usuario-> marque en utilizar barra de menú.*
- 2) Abra la ventana del Día y entre el diagrama a copiar. Se va a insertar todo lo que está escrito en la ventana del Día.
- 3) El rectángulo que traslada comienza en las coordenadas (0,0) de la ventana del Día. Por eso conviene trasladar el diagrama cerca de dichas coordenadas para que no quede mucho espacio en blanco.
- 4) En el menú de la ventana del Día apriete:  
*Archivos -> Configurar página* - se abre una ventana. Allí marque escala y escriba 50 en vez de lo que está escrito y acepte -> en archivos abra exportar -> en determinar tipo de archivo elija portable network graph (\*PNG) -> apriete Aceptar.  
Antes de grabar se abre una ventana en el Día preguntando el número de pixels de la figura en vertical y horizontal. Elija números con los cuales el dibujo sea adecuado en tamaño y definición. (Por ejemplo 1024 para horizontal es más que suficiente para tener una buena figura)
- 5) Se crea un archivo en la carpeta donde está el diagrama, con el mismo nombre del diagrama al que se le agrega .png

El Word acepta bien los gráficos tipo PNG y los dibuja con buena definición si se ha elegido bien el número de pixels. El Día es capaz de exportar en otros formatos, pero los png son los que mejor acepta el Word. El gráfico se exporta con todos sus colores. La elección de la escala en 50 tiene como fin obtener tamaños legibles del texto escrito. Puede cambiarlo a gusto si es necesario.

## 2.6 CUADRO COMENTARIOS Y CUADRO CONTROLES

El cuadro COMENTARIOS se abre en la misma forma que los ya vistos y se le coloca ese nombre. Todo lo que se escriba en él no será utilizado por el Simusol, solo servirá para brindar información al usuario. Habitualmente se colocan comentarios sobre el diagrama en el que se está trabajando.

También es posible mezclar comentarios en otros cuadros. En ese caso el comentario debe ir precedido por el signo “;” para que el Simusol entienda que es un comentario.

Otro cuadro utilizado es el llamado CONTROLES. Cuando se lo define se le debe dar ese nombre. Los comandos que allí se introducen definen distintos aspectos del funcionamiento del Simusol. A continuación se introducen los más habituales.

El Sceptre puede usar distintos métodos numéricos para resolver los sistemas de ecuaciones que le presenta una simulación. Los más habituales son los métodos TRAP, IMPLICIT y RUK: Este último usa el método Runge-Kuta.

El método implícito es necesario utilizarlo en algunos casos. Sin embargo, por defecto el Sceptre trabaja con el método TRAP debido a que el Implicit no es posible utilizarlo sino se tienen condensadores en el circuito o inductivos. La forma del comando es:

```
INTEGRATION ROUTINE = IMPLICIT
```

o :

```
INTEGRATION ROUTINE = TRAP
```

También se puede indicar en este cuadro el tiempo de arranque o de parada del cálculo. Para ello se debe poner:

```
START TIME = 500  
STOP TIME = 2000
```

El Sceptre va avanzando en pasos de tiempo a lo largo del cálculo que realiza. Esos pasos son calculados por el propio programa asegurándose que los errores que se pueden cometer estén acotados. A través de un control es posible seleccionar el mínimo o el máximo valor que ese intervalo tiene con los siguientes controles:

```
MINIMUM STEP SIZE = 1E-15  
MAXIMUM STEP SIZE = 100
```

# CAPITULO 3.- OTROS SISTEMAS FÍSICOS

## 3.1 INTRODUCCIÓN

El Simusol ha sido desarrollado utilizando la analogía existente entre los fenómenos térmicos y los eléctricos, por la cual un programa como el Sceptre, originalmente preparado para el estudio de sistemas eléctricos, ha podido ser usado en la simulación de sistemas térmicos.

Esta analogía tiene su origen en propiedades mas profundas de los sistemas físicos que permite extender esta analogía particular a otros sistemas físicos, como ser los mecánicos, los de movimiento de aire o agua, los de aire húmedo, etc. En los últimos 20 años se ha desarrollado una teoría que da bases físicas a esta analogía, la que recibe el nombre de “bond graph theory”. Ella tiene una aplicación creciente, especialmente en el campo de la ingeniería.

Esta generalización de las analogías entre distintos sistemas físicos permite que el Simusol pueda ser aplicado a la simulación de sistemas físicos muy diversos, lo que se explicará a continuación. Incluso, el Simusol puede ser aplicado a sistemas en los que se combinan campos diversos de la física. Por ejemplo, un panel fotovoltaico, que combina fenómenos eléctricos y térmicos puede ser simulado con el Simusol. Lo mismo puede decirse de un motor Otto o uno Stirling, en los que se combinan aspectos mecánicos y térmicos, o de un secadero solar donde se combinan los fenómenos térmicos con los de evaporación. En estos casos se necesitan dos representaciones gráficas, una para cada tipo de sistema físico. Los dos diagramas se simulan en forma simultánea y las variables de ambos diagramas interaccionan entre si.

Las bases físicas en las que se basa la analogía radican en el hecho de que estos sistemas tienen una estructura similar desde el punto de vista energético. En ellos se pueden definir variables de dos tipos distintos, las llamadas variables tipo “esfuerzo” y las que reciben el nombre de variables tipo “flujo”. Los intercambios energéticos pueden ser expresados como productos de una variable de un tipo por una del otro tipo.

La figura 3.1.1 muestra una tabla con una lista de los sistemas físicos mas importantes y las variables de esfuerzo y flujo que corresponden a cada una.

En el caso eléctrico la energía asociada es  $V \cdot I$ , en el caso mecánico es  $v \cdot F$  o  $W \cdot \text{par}$ , y así sucesivamente. En el caso térmico las variables que representan mejor al sistema son la temperatura y el flujo entrópico. No obstante es posible utilizar otra forma donde el flujo es el calor ( o entalpía). Esta forma de trabajo es aproximada y recibe en la teoría el nombre de pseudobond.

En la teoría mencionada se utiliza una representación gráfica de los sistemas con un grado de abstracción bastante elevado, razón por la cual en el Simusol se ha preferido usar una

representación gráfica más cercana al sistema físico, lo que facilita su dibujo e interpretación.

Sistema Físico	Esfuerzo	Flujo
Eléctrico	Voltaje V	Corriente I
Mecánico(traslación)	Velocidad	Fuerza
Mecánico(rotación)	Velocidad angular	Par
Hidráulico	Presión	Flujo másico
Térmico	Temperatura	Entropía
Térmico(Pseudobond)	Temperatura	Calor(entalpía)
Transporte	Concentración	Flujo soluto

Fig. 3.1.1.- Muestra una tabla de sistemas físicos con su esfuerzo y flujo

Para cada tipo de sistema físico es posible utilizar una plantilla que represente los elementos del sistema con íconos específicos. Tal es el caso del sistema térmico que se ha detallado hasta ahora. Existe otra para el caso eléctrico. En otros casos no se ha llegado a preparar una plantilla específica, en cuyo caso se utilizará una plantilla genérica con todos los elementos dibujados en blanco y negro. En este caso no se dispone de un comando a colocar en el cuadro de datos donde se describen los parámetros que describen cada elemento, sino que es necesario indicar en el cuadro de datos los valores finales de cada elemento.

Aquí no nos será posible entrar en detalles acerca de esta teoría general, por lo que en adelante ilustraremos la aplicación del Simusol a distintos sistemas físicos y sus combinaciones utilizando ejemplos concretos.

## 3.2 LOS SISTEMAS TERMOELÉCTRICOS

Usaremos como ejemplo de sistema termoelectrónico sencillo a un termistor.

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

$$R_t = R_{to} * \exp[b * (1/T - 1/To)] \quad (1)$$

Donde  $T_o$  es una temperatura de referencia,  $R_{to}$  es la resistencia correspondiente del termistor,  $T$  es la temperatura actual del elemento y  $R_t$  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. Además de  $b$  y  $R_{to}$  se mencionan otras propiedades medidas tales como su disipación térmica, la potencia máxima que es capaz de soportar y la temperatura máxima a la que se aconseja su funcionamiento. Se ha elegido un

ermistor miniatura encapsulado en vidrio (GM Electrónica, 2000) como referencia para preparar los circuitos que se presentan a continuación. La Tabla 3.2.1 muestra las propiedades del mismo, tal cual se detallan en el manual.

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 si 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 3.2.1 : 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

El Simusol ha sido preparado para trabajar con circuitos eléctricos. Para ello se ha preparado una plantilla eléctrica que se encuentra junto a la plantilla térmica. La figura 3.2.2 muestra el diagrama que se ha preparado para simular al termistor, el que consta de un circuito eléctrico a la izquierda y uno térmico a la derecha. La resistencia eléctrica R4 representa los aspectos eléctricos del termistor. Se aprecia que esta resistencia está representada con un icono eléctrico. Los nodos a y b representan la diferencia de voltaje que se aplica entre las patas del termistor. La resistencia eléctrica disipa energía térmica cuyo valor se calcula con la fórmula de Joule  $VR_4 \cdot IR_4$ . Esta energía térmica se agrega al circuito térmico mediante el flujo de calor J4. Este circuito tiene un nodo int que representa la temperatura interna del termistor y una temperatura ambiente dada por el nodo ext. El termistor perderá calor hacia el exterior mediante una pérdida convectiva representada por R6. Finalmente, el termistor tienen una masa dada por el acumulador C4.

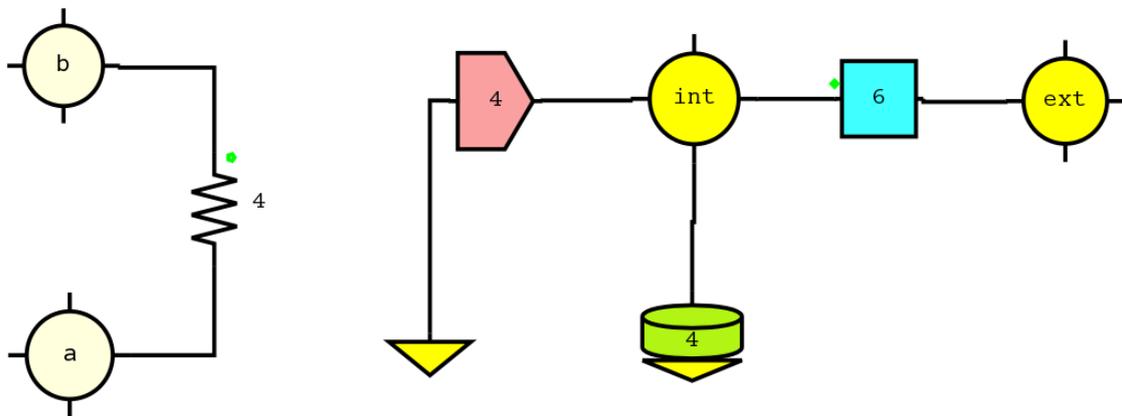


Fig.3.2. 1.- Muestra el diagrama para simular al termistor

El termistor se ensaya alimentándolo con una fuente de corriente entre los bornes a y b e imponiendo una temperatura externa mediante una fuente, que se conecta en el nodo ext. La corriente seleccionada tiene un valor de 0.0001 A y la temperatura externa vale 50 C. Inicialmente el termistor se encuentra a una temperatura de 20 C y al ponérselo en contacto con la temperatura externa igual a 50 C se va calentando como función del tiempo hasta llegar al nuevo estado estacionario. La figura 3.2.2 muestra el resultado de la simulación, donde se aprecia que el termistor tarda alrededor de 2 minutos para llegar al nuevo valor estacionario.

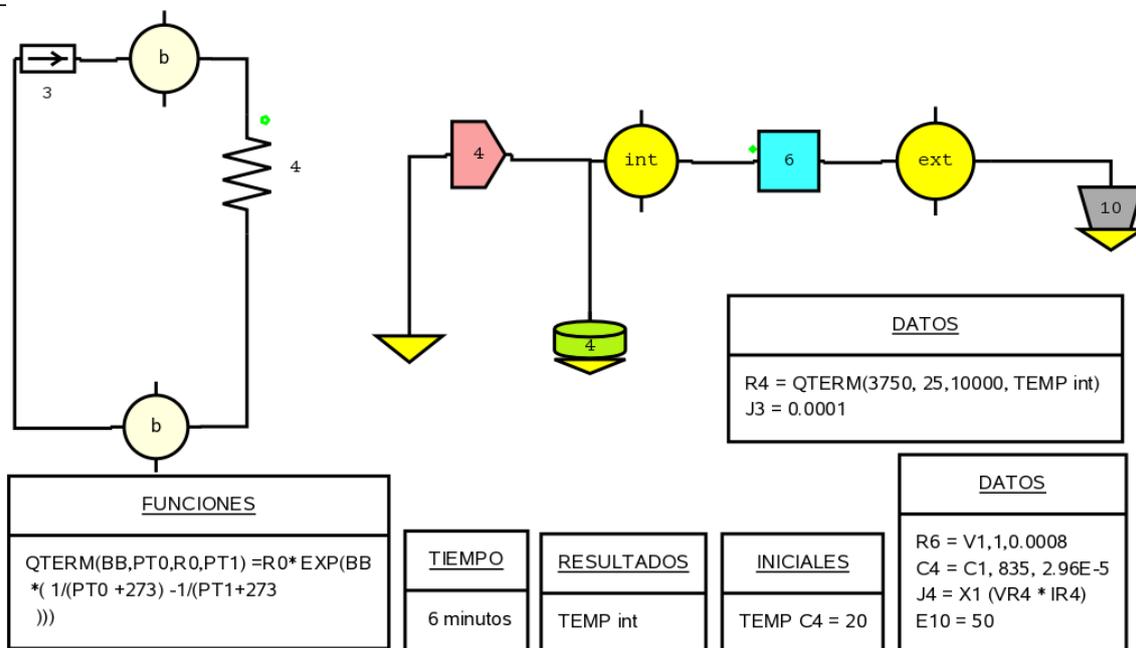
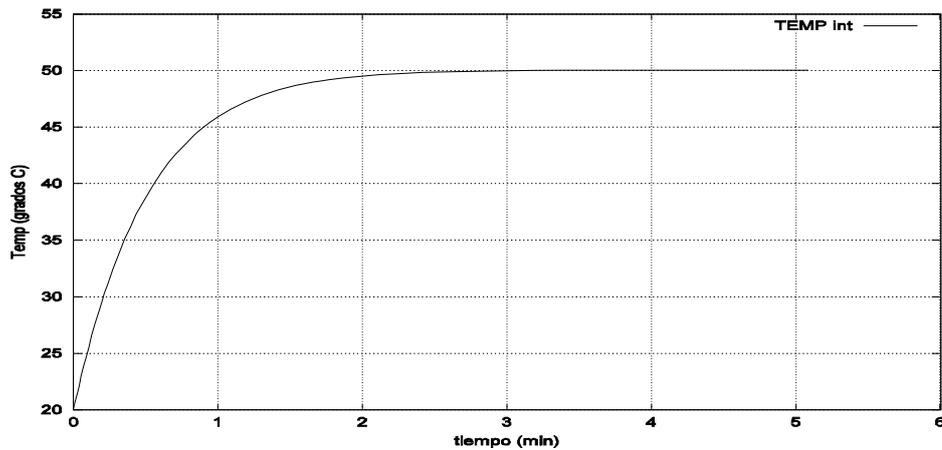


Fig. 3.2.2 -Muestra el circuito para un ensayo del termistor



*Fig. 3.2.3- Muestra la variación de la temperatura del termistor en grados centígrados en función del tiempo expresado en minutos, para llegar a un nuevo valor estacionario.*

La disipación térmica por efecto Joule tiende a levantar la temperatura del termistor por encima de aquella que debe medir, que es la temperatura ambiente. Este fenómeno se conoce con el nombre de “autocalentamiento” del termistor y se puede analizar realizando distintas corridas de simulación donde se adoptan valores crecientes de la fuente de corriente y se observa que diferencia de temperatura se obtiene. La tabla 2 muestra los valores obtenidos para corrientes entre 0.00005 y 0.00025A. Se aprecia que la diferencia de temperatura comienza a ser mayor que 0.1 C cuando la corriente pasa los 0.00015 A, por lo que un valor de 0.0001 A sería conveniente para tener un efecto de autocalentamiento despreciable. (aumento de temperatura menor a 0.04 C).

Tabla 3.2.1.- Error en la temperatura medida como función de la corriente de alimentación

Corriente (A)	Diferencia de Temperatura (C)
0.00005	0.01
0.0001	0.04
0.00015	0.09
0.0002	0.17

Como se aprecia, la simulación numérica del termistor se constituye en una herramienta muy valiosa para seleccionar el termistor más adecuado para realizar una cierta medida, pudiéndose variar tanto el termistor en sí como sus condiciones de operación con el fin de seleccionar los valores óptimos de los distintos parámetros.