

APLICACIÓN DEL PROGRAMA SCEPTRE PARA LA SIMULACIÓN DE UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA

M. Quiroga, L.R.Saravia¹, C. Cadena
INENCO² : Universidad Nacional de Salta - CONICET
Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax : 54-387-4255489, E-mail: saravia@ciunsa.edu.ar

RESUMEN. SCEPTRE es un programa de computación para la resolución numérica de circuitos eléctricos que se utiliza bajo sistema operativo GNU/Linux, con el que es posible realizar el estudio térmico de sistemas solares mediante la analogía que convierte los flujos de calor en circuitos eléctricos. El presente trabajo presenta la simulación de una cocina solar tipo caja construida en INENCO. El modelo computacional realizado con el programa SCEPTRE, consta de 19 nodos y considera los intercambios conductivos, convectivos, radiativos y los flujos de calor procedentes de radiación solar. Se presentan el modelo empleado para la simulación, los resultados de la misma en comparación con los resultados experimentales obtenidos con la cocina.

Palabras Clave: Simulación, cocinas solares, modelos, modelización

INTRODUCCION.

El programa denominado SCEPTRE, desarrollado originalmente en lenguaje FORTRAN, adaptado por Novender en 1998, (Saravia y Saravia 2000), constituye una herramienta que permite el análisis detallado de sistemas térmicos solares por analogía con circuitos eléctricos. El programa se encuentra actualmente en libre disponibilidad para su utilización bajo sistema operativo Linux.

SCEPTRE permite plantear los sistemas térmicos como circuitos eléctricos donde cada uno de los elementos térmicos se transforma en un elemento eléctrico específico del circuito. Así las resistencias se emplean para presentar los distintos tipos de transferencias de calor, ya sean éstas lineales o no lineales. Los capacitores representan acumulación térmica sensible, que se calcula en relación con una temperatura de referencia representada por un nodo tierra. Las fuentes de tensión representan un valor de temperatura conocido. Las fuentes de corriente representan los ingresos de energía al sistema.

Por otra parte SIMUTERM "Simulador de Sistemas Térmicos" (Saravia y Alía 2001) constituye un paquete de programas que complementan y simplifican la preparación de datos necesarios para el SCEPTRE, y el análisis de los mismos.

El planteo de la cocina tipo caja se inicia transformando el modelo térmico en un circuito eléctrico donde se consideran las áreas de la cocina tipo caja construida por INENCO sus características constructivas relacionadas con los materiales y aislantes para la asignación de coeficientes conductivos, emisividades para el cálculo de las transferencias de calor.

Paralelamente se realizaron mediciones térmicas y de radiación con la cocina en funcionamiento para contrastar los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos experimentalmente.

EL MODELO DE LA COCINA SOLAR DE TIPO CAJA

Un esquema de la cocina a simular se muestra en la figura 1, indicándose también la ubicación del conjunto de nodos de temperatura utilizado para el análisis térmico.

1. Investigador del CONICET, 2. Instituto UNSa-CONICET

* ftp://novilux.fh-friedberg.de/pub/sceptre_linux

<http://inenco.net/sceptre>

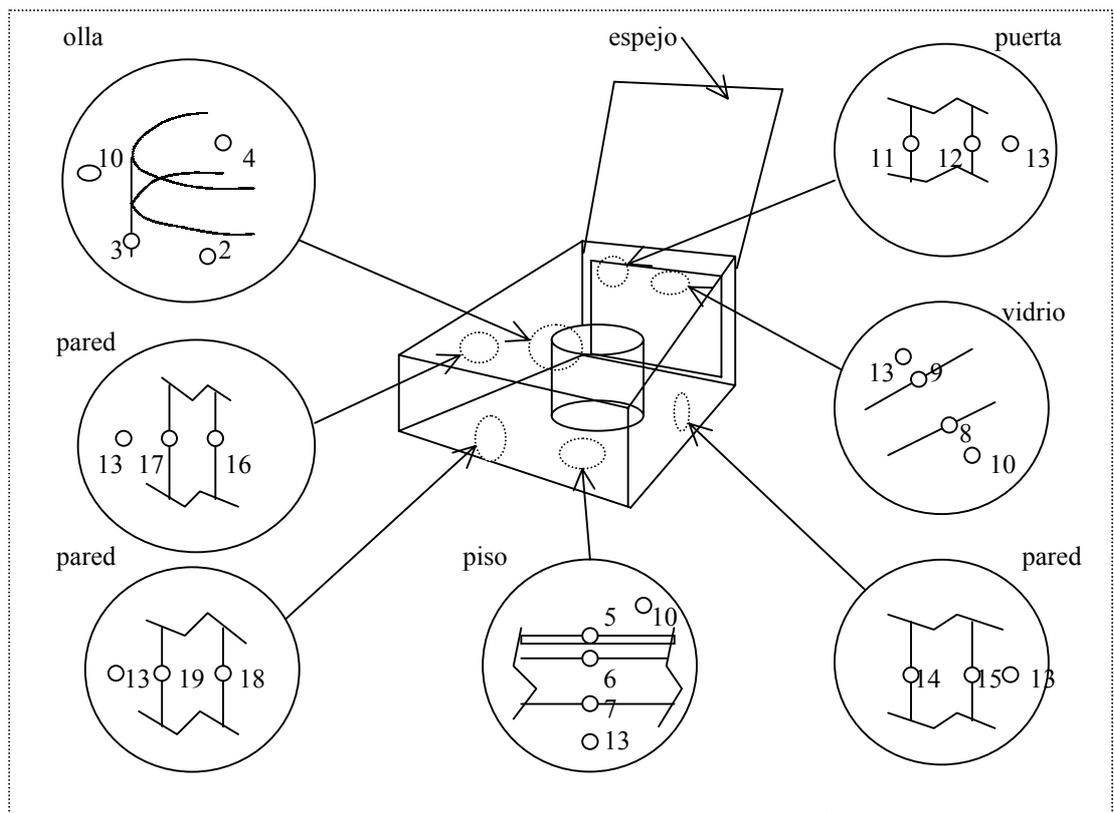


Fig. 1.- Muestra un esquema de la cocina solar de caja a simular y los nodos térmicos usados en el cálculo

La caja tiene una base rectangular de 0.5 m de ancho por 0.5 m de fondo. La superficie vidriada constituida por doble vidrio, está inclinada con un ángulo de 25 grados. La puerta de acceso está ubicada en la cara vertical posterior. Las paredes laterales poseen una aislación de lana de vidrio de 0.05 m y el fondo 0.1 m de espesor. El recubrimiento interno y externo es de chapa de aluminio. Sobre el piso se coloca una bandeja de hierro esmaltado de color negro. A los efectos del ensayo las paredes verticales internas están pintadas de color negro.

El modelo considera que se ha colocado una olla negra de 0.21 m de diámetro por 0.12 m de altura con un contenido de 2.5 L de agua.

El esquema gráfico del circuito se preparó con el programa DIA, modificado donde se representan los diferentes elementos del circuito térmico a través de una notación gráfica específica. Paralelamente en tablas adjuntas al dibujo se ingresan los parámetros para el cálculo de cada una de las resistencias, los flujos de calor, fuentes de tensión y acumulaciones. En el mismo archivo en forma de tabla se ingresan las condiciones iniciales, el tiempo de simulación requerido, las tablas, los resultados requeridos al programa y las salidas gráficas requeridas.

La figura 2 muestra el diagrama del circuito e ingreso de datos para la simulación de la cocina tipo caja.

Para facilitar la descripción se han adoptado un modelo simplificado con resistencias térmicas constantes excepto las radiativas.

Cada elemento representado en el diagrama se simboliza en las tablas mediante un código de letras y números así: R,VI, representan los flujos convectivos de calor, (resistencias convectivas), los datos ingresados corresponden a las áreas implicadas en el intercambio (m) y los coeficientes para cada caso. Se consideran intercambios convectivos entre el aire interior como así también con el ambiente respecto a la superficie de cada una de las caras de la cocina, incluyendo piso y vidrio. Los coeficientes fueron de 10 para intercambios interiores y de 12 para los exteriores. Respecto a la olla y su contenido se consideran los intercambios convectivos la olla y el aire interno de la cocina, entre el agua y el recipiente.

R,D1, representan las pérdidas conductivas del sistema, que el programa calcula a través de los datos de superficie (m), espesor de los materiales implicados en el intercambio (m) y la conductividad térmica k (W/m°C) usualmente tabulada. Las pérdidas conductivas en la cocina corresponden a las que se producen a través de las paredes y piso de la misma

R,R1 constituyen los intercambios radiativos, para los cuales se ingresa la emisividad de los materiales, las áreas (m²) y un coeficiente que vincula la porción de cada área implicada realmente en el intercambio radiativo. Estos coeficientes constituyen en sí mismos un elemento cuya estimación resulta dificultosa requiriéndose experiencia práctica y ajustes sucesivos.

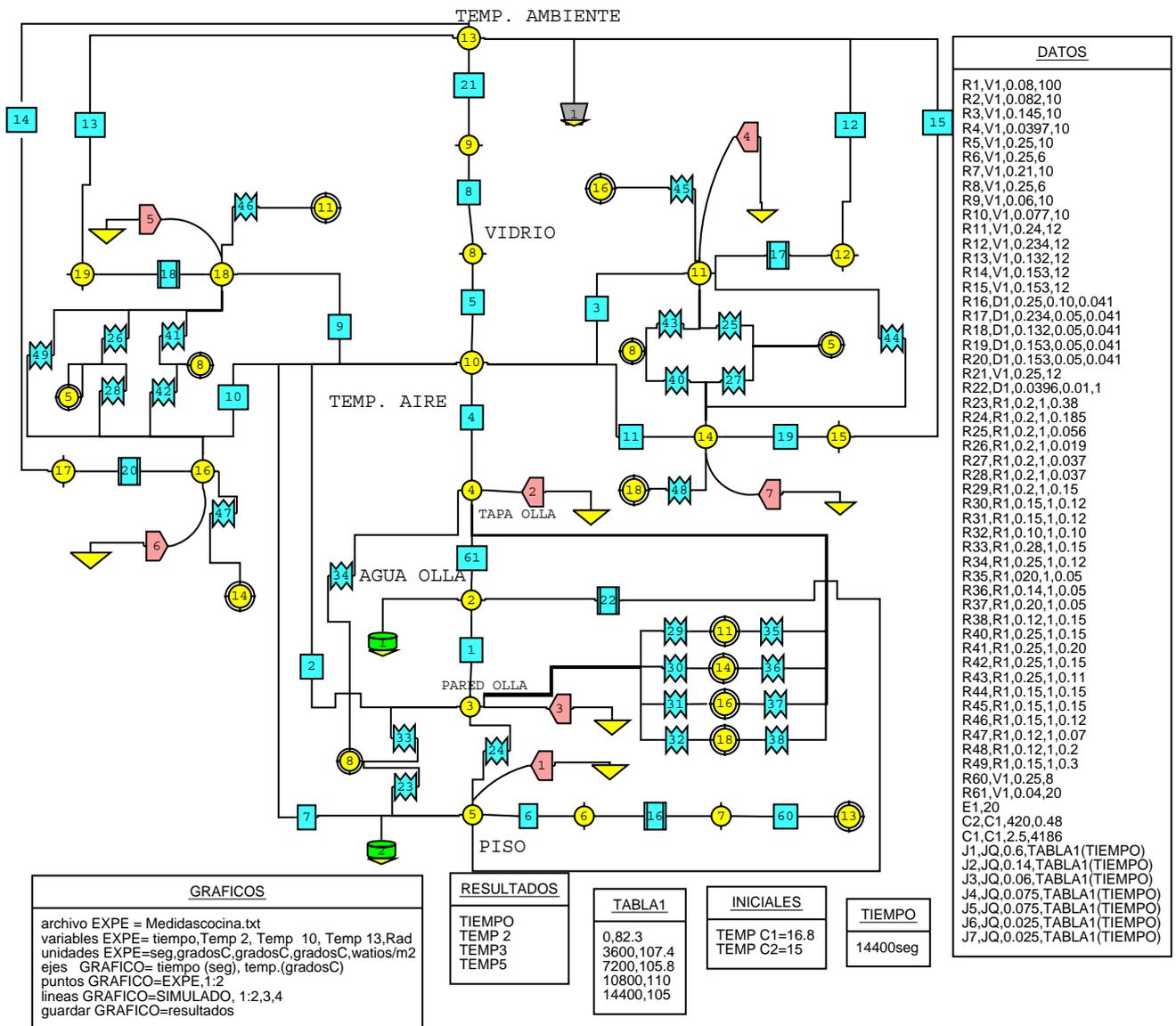


Fig. 2 diagrama del circuito térmico, tablas de ingresos de datos.

E1, es la fuente de tensión que representa la temperatura ambiente (°C), en este caso y dado que las temperaturas en el período de mediciones no variaron considerablemente se tomó el promedio de las mismas. En caso de variaciones mayores, corresponde su ingreso a través de tablas.

C,C1 es la acumulación en el sistema que en este caso es fundamentalmente la masa de agua (2,5 L) en la olla por su Cp. Se considera también una acumulación en la chapa de la cocina que por simplificación se afecta al piso de la misma.

Respecto a las acumulaciones, los datos de ingreso son la masa (kg) y la capacidad calorífica a presión constante: Cp (J/kg). C. En el caso de las resistencias radiativas se introducen funciones con la dependencia de las temperaturas a la cuarta potencia.

J, JQ indican los flujos de calor, consignando un coeficiente que considera la porción de radiación recibida por cada superficie en el interior de la cocina. La radiación se reparte entre el piso al que le corresponde el 60 % de la radiación, las paredes, tapa y laterales de la olla. Se ingresa además una tabla que contiene los valores de radiación medidos en w/m², afectados por la superficie de colección y considerando la extinción de radiación introducida por el vidrio.

Las condiciones iniciales contienen las tensiones en cada condensador (temperatura del acumulador °C), el agua de la olla y la chapa del fondo de la cocina en este caso, las que determinan el estado inicial de todo el circuito.

La tabla “resultados” contiene las variables de interés, para las cuales se genera un archivo numérico con los resultados en función del tiempo y su representación gráfica por GNU PLOT

Los resultados experimentales se introducen a través de un archivo ASCII. La tabla “gráficos” contiene los datos del archivo experimental que se representa con el detalle de las variables contenidas en el mismo, las unidades de cada una, la indicación de unidades y variables a representar en cada eje y el nombre del archivo gráfico que presentará los resultados.

La tabla “tiempo”, contiene el tiempo de cálculo en segundos. El programa coloca los termómetros necesarios en el sistema, que constituirán para los nodos de interés los valores de temperaturas de representados gráficamente.

Con el ingreso del diagrama del circuito y las tablas se genera automáticamente un archivo ASCII que es el que toma SCEPTRE para realizar la simulación. La tabla 1 muestra este archivo

```

CIRCUIT DESCRIPTION
Del archivo cocina2
ELEMENTS
C1, 2-0 = 10465
C2, 5-0 = 201.6
EK, K-0 = 273
E1, 0-13 = 20
JK4, 4-K = 0
JK5, 5-K = 0
JK8, 8-K = 0
Jn2, 2-0 = 0
Jn3, 3-0 = 0
Jn5, 5-0 = 0
JK11, 11-K = 0
JK14, 14-K = 0
JK16, 16-K = 0
JK18, 18-K = 0
JK3, 3-K = 0
J1, 0-5 = QP(0.6, T1 (TIME))
J2, 0-4 = QP(0.14, T1 (TIME))
J3, 0-3 = QP(0.06, T1 (TIME))
J4, 0-11 = QP(0.075, T1 (TIME))
J5, 0-18 = QP(0.075, T1 (TIME))
J6, 0-16 = QP(0.025, T1 (TIME))
J7, 0-14 = QP(0.025, T1 (TIME))
R1, 3-2 = 0.125
R2, 3-10 = 1.21951
R3, 10-11 = 0.689655
R4, 4-10 = 2.51889
R5, 10-8 = 0.4
R6, 6-5 = 0.666667
R7, 5-10 = 0.47619
R8, 8-9 = 0.666667
R9, 10-18 = 1.66667
R10, 16-10 = 1.2987
R11, 14-10 = 0.347222
R12, 12-13 = 0.356125
R13, 19-13 = 0.631313
R14, 17-13 = 0.544662
R15, 15-13 = 0.544662
R16, 7-6 = 9.7561
R17, 12-11 = 5.21159
R18, 18-19 = 9.23873
R19, 15-14 = 7.97067
R20, 16-17 = 7.97067
R21, 9-13 = 0.333333
R22, 5-2 = 0.252525
R23, 8-5 = QRAD(4.3092E-
09, VJK5, VJK8)
R24, 3-5 = QRAD(2.0979E-
09, VJK5, VJK3)
R25, 5-11 = QRAD(6.3504E-
10, VJK11, VJK5)
R26, 18-5 = QRAD(2.1546E-
10, VJK5, VJK18)
R27, 5-14 = QRAD(4.1958E-
10, VJK14, VJK5)
R28, 5-16 = QRAD(4.1958E-
10, VJK16, VJK5)
R29, 11-3 = QRAD(1.701E-
09, VJK3, VJK11)
R30, 14-3 = QRAD(1.0206E-
09, VJK3, VJK14)
R31, 16-3 = QRAD(1.0206E-
09, VJK3, VJK16)
R32, 18-3 = QRAD(5.67E-
10, VJK3, VJK18)
R33, 8-3 = QRAD(2.3814E-
09, VJK3, VJK8)
R34, 4-8 = QRAD(1.701E-
09, VJK8, VJK4)
R35, 4-11 = QRAD(5.67E-
08, VJK11, VJK4)
R36, 4-14 = QRAD(3.969E-
10, VJK14, VJK4)
R37, 4-16 = QRAD(5.67E-
10, VJK16, VJK4)
R38, 4-18 = QRAD(1.0206E-
09, VJK18, VJK4)
R40, 14-8 = QRAD(2.12625E-
09, VJK8, VJK14)
R41, 18-8 = QRAD(2.835E-
09, VJK8, VJK18)
R42, 8-16 = QRAD(2.12625E-
09, VJK16, VJK8)
R43, 11-8 = QRAD(1.55925E-
09, VJK8, VJK11)
R44, 14-11 = QRAD(1.27575E-
09, VJK11, VJK14)
R45, 11-16 = QRAD(1.27575E-
09, VJK16, VJK11)
R46, 11-18 = QRAD(1.0206E-
09, VJK18, VJK11)
R47, 16-14 = QRAD(4.7628E-
10, VJK14, VJK16)
R48, 14-18 = QRAD(1.3608E-
09, VJK18, VJK14)
R49, 18-16 = QRAD(2.5515E-
09, VJK16, VJK18)
R60, 13-7 = 0.5
R61, 2-4 = 1.25

```

OUTPUTS

```

VJn2, VJn3, VJn5
INITIAL CONDITIONS
VC1=16.8
VC2=15

FUNCTIONS
TABLE1
0, 82.3
3600, 107.4
7200, 105.8
10800, 110
14400, 105

EQUATION P(X, Y) = (X*Y)
EQUATION PP(X, Y, Z) = (X*Y*Z)
EQUATION RAD(Z, X, Y) = (1/Z / (X**3 +
X**2*Y + X*Y**2 + Y**3))

RUN CONTROLS
X PLOT DIMENSION = 0
;WRITE SIMUL8 DATA
MAXIMUM PRINT POINTS = 0
INTEGRATION ROUTINE = TRAP
STOP TIME = 14400
END

```

Tabla 1 archivo ASCII generado por el programa DIA para ingreso de simulación en La

La descripción de cada elemento en la tabla indica los dos nodos entre los cuales está colocado y su valor.

MEDIDAS EXPERIMENTALES

En las mediciones experimentales de la cocina solar tipo caja, cargada con la olla conteniendo los 2,5 L de agua establecidos se tomaron medidas de temperatura ambiente, radiación, temperatura del agua y temperatura del aire dentro de la cocina

La radiación solar global se midió con un pirheliómetro LI-COR 250, las temperaturas con termistores conectados a un termómetro digital Cole Parmer.

Se modificó la posición de la cocina cada hora orientándola a efectos de optimizar su exposición solar. A fin de lograr una mayor fidelidad en los datos de radiación efectiva colectada por la cocina con su reflector, se tomaron 9 puntos distribuidos uniformemente sobre toda la superficie vidriada, de modo que las mediciones incluyen la radiación aportada por el reflector. Se encontró que hay una gran variabilidad en los valores medidos en los diferentes puntos, influyendo sobretodo la orientación de la cocina y la posición del reflector. A los efectos de la simulación se consideró el promedio de los valores encontrados en cada punto, para cada hora.

Se registraron además valores comparativos de radiación dentro y fuera de la cocina, para inferir la caída de la radiación introducida por el vidrio doble. Para ello se eligió el punto central en el vidrio colector.

Las mediciones se realizaron en un día claro, sin nubosidad, entre las 11 de la mañana en que la radiación superó los 500 w/m² sobre superficie horizontal, hasta las 16 hs en que comenzó a descender la temperatura del aire dentro de la cocina.

CONCLUSIONES

Se calculó la evolución de las variables en 4 horas, y su comparación con los datos experimentales. La figura 3 muestra los valores resultantes de la simulación y en puntos los obtenidos experimentalmente para la temperatura del agua. En el mismo están representados la temperatura del agua medida experimentalmente (Temp. 2) en líneas de puntos, Temperatura del agua simulada (TEMP 2), temperatura del piso de la cocina (TEMP 5) y la de las paredes de la olla (TEMP 3)

En ella se observa que la diferencia al final entre la temperatura del agua medida y la calculada es de aproximadamente 5 °C.

Es posible observar además que las temperaturas obedecen a una misma ley de variación. Mientras que TEMP 5 (temperatura del piso) crece muy rápidamente debido a su muy baja inercia térmica, TEMP 2 (temperatura del agua en la olla) crece más lentamente, manteniendo sus valores siempre por debajo de la temperatura del piso. La pared de la olla TEMP 3 mantiene una temperatura ligeramente superior a la del agua contenida en su interior igualándose al final cuando se reduce el flujo de radiación dentro de la cocina

La radiación recibida en el interior para este prototipo de cocina es del 33 % de la incidente en el punto central exterior. Para descartar posibles errores en las medidas de radiación en el interior de la cocina se realizaron sucesivas corridas de la simulación y los valores simulados y medidos se ajustaron cuando se aproximó el porcentaje de radiación al medido.

De la evaluación de los resultados obtenidos con el modelo térmico elaborado con SCEPTRE y su análisis comparativo con las medidas experimentales surge un razonable ajuste entre ambas en el intervalo de tiempo considerado.

Los resultados corroboran la falta de transparencia por parte de la cubierta de la cocina caja evaluada .

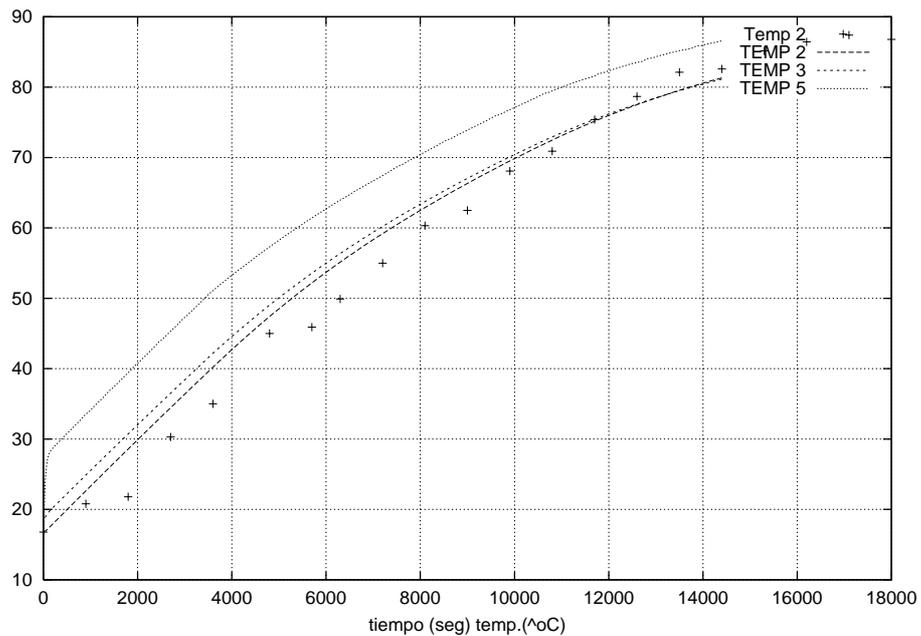


Fig. 3.- Resultado de la simulación: temperatura del agua de la olla, del aire interior

El modelo permitirá evaluar posibles modificaciones constructivas en las cocinas tipo caja para lograr un diseño que mejore la eficiencia, con una adecuada elección de materiales, como así también apartamientos posibles del funcionamiento normal por pérdidas o roturas

REFERENCIAS

Saravia L, Saravia D. 2000 : “ Simulación de sistemas solares térmicos con un programa de cálculo de circuitos eléctricos de libre disponibilidad”, AVERMA. No 4 Vol 2,

Saravia L, Alía D . , 2001: “ Simuterm, un simulador de sistemas solares térmicos “ Presentado en ASADES 2001

Duffie J. A. y Beckman W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2da. Edición, Wiley Interscience, New York. (1991)

ABSTRACT: This Article deals with the simulation of a solar cooker by mean of SCEPTRE, a program designed for the numerical analysis of electric circuits and adapted to simulate the behavior of solar systems. The developed modelization consist of 19 nodes and considers the different heat exchanges (conductive, convective and radiative). Simulation and experimental results are presented