

MONITOREO Y SIMULACION DE EDIFICIOS PASIVOS

Gabriel Chiarito*, Gustavo Hannecke*, Ricardo Caso y Graciela Lesino**

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

Resumen

El objeto de este trabajo es comprobar la bondad de programas de simulación de edificios acondicionados con sistemas pasivos.

Hasta el momento se ha practicado la evaluación sobre mediciones de temperatura y radiación de un prototipo que tiene como sistema de acondicionamiento los muros Trombe (con ventanillas para termocirculación) y ganancia directa, previniéndose la extensión del ensayo a una segunda construcción con invernadero incorporado.

La validación se realiza sobre dos programas de simulación térmica que partiendo de presupuestos distintos tienen como objeto hallar el mismo comportamiento térmico, permitiendo a la vez establecer relaciones entre ambos.

Monitoreo del edificio

El monitoreo del prototipo se realizó mediante un equipo de adquisición de datos Relevat, de fabricación nacional con salida en cassettes que son leídos mediante una interfase lectora conectada a una computadora de tipo personal.

La alimentación del datalogger se ha realizado por medio de una batería conectada a un panel fotovoltaico debido a la falta de provisión eléctrica en la zona.

El equipo presentó algunos inconvenientes de funcionamiento que debido a la localización distante y aislada del prototipo (3500 mts de altura en plena Puna Jujeña) impidieron la verificación periódica o eventual corrección.

* Becario del CONICET

** Investigador del CONICET

Instituto UNSa. - CONICET

Esta condicionante ha obligado a elegir, dentro de las distintas campañas de medición efectuadas, un período en Junio de 1985, que si bien corresponde a archivos diarios pequeños, en el número de sensores, han resultado los más confiables por la cantidad de datos aceptables y una adecuada sucesión de días.

En estas lecturas la disposición espacial de las termocuplas barren el edificio sobre un sector central des de la pared Norte a la Sur, tal como muestra la Fig. 1.

Este limitante nos ha conducido a adoptar la hipótesis de trabajo que esquemáticamente se ha graficado en la Fig. 2. La configuración espacial del edificio permitiría analizar el sector central, correspondiente al monitoreado, aislándolo adiabáticamente del resto y luego extrapolar los resultados al total de la vivienda. Este argumento se sustenta a la vez por las mediciones comprobadas paralelamente en forma manual durante cada campaña. Es decir, las temperaturas observadas en los ambientes en contacto con el muro acumulador son prácticamente iguales en cada uno de ellos, salvo picos de variación inferiores

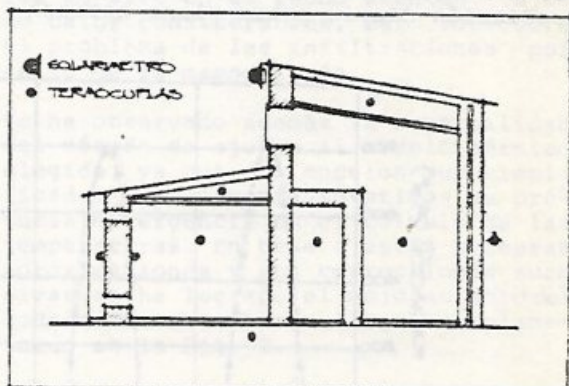


Fig. 1. Esquema de la distribución de sensores

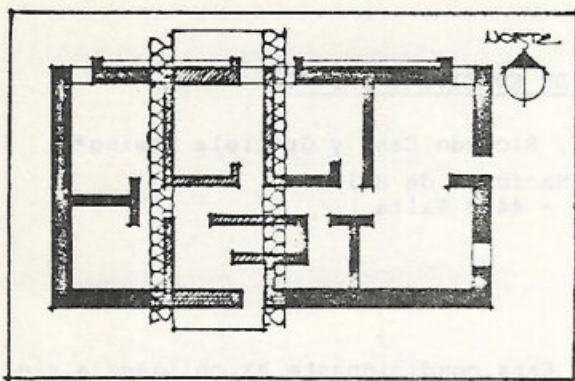


Fig. 2. Area de la modelización esquematizada sobre la planta del edificio.

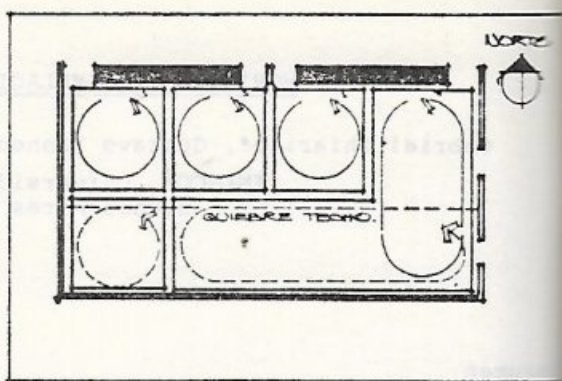


Fig. 3. Hipotética distribución interior de temperaturas.

a los 2 cm y muy posiblemente adjudicables a si mantuvieron cerrados los locales o no, o similares que dependen más del uso que de su relativa diferencia de "calidad térmica". Algo similar ocurre con los ambientes ubicados hacia el sur, acondicionados por la ganancia directa de la ventana ubicada en el quiebre de techos y una fuerte intercomunicación espacial (los muros no llegan al techo) que aumenta las posibilidades de equilibrio térmico entre locales, terminando en un hipotético partido espacial como el que muestra la Fig. 3.

Los archivos escogidos tenían datos de radiación solar sobre plano vertical, programados los registros cada media hora, guardándose el promedio de mediciones realizadas por el solarímetro durante ese lapso cada diez segundos.

Como no se tenían para este período radiación sobre plano horizontal, se realizó un proceso iterativo según el método de Liú Jordan, hasta ajustar la radiación diaria sobre plano horizon-

tal, se ha generado con el mismo método las radiaciones incidentes necesarias para plano en particular.

Para los días escogidos, próximos al 1 de Junio, las curvas que indican la Fig. 4 muestran la radiación sobre plano horizontal monitoreada por el solarímetro y la simulación para iguales condiciones. El valor medio para esa secuencia de días ha dado una radiación total diaria sobre plano horizontal de 22 Mj/m^2 , que coincide con valores obtenidos en otras oportunidades para Abra Pampa.

Simulación del edificio

Programa simulador: SIMEDIF

El programa para simulación térmica de edificios, SIMEDIF (1), ha sido preparado para realizar el cálculo por el método de diferencias finitas en forma explícita de los diferentes sistemas de acondicionamiento pasivo de invierno. No se abundará sobre sus características ya que su publicación extensa figura en la 9a. Actas de ASADES 84, pág.

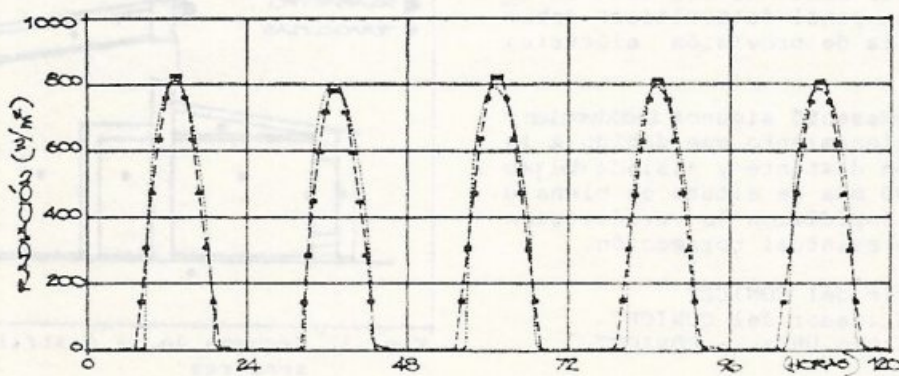


Fig. 4: Radiación sobre plano horizontal: monitoreada y simulada

39, sólo es de comentar las modificaciones efectuadas para facilitar la entrada de datos con mayor sencillez y posibilidades de corrección sin alterar el cálculo original. En la sección 5 se muestra un listado del nuevo formato para entrada de datos que usó para este trabajo.

Se ha obtenido un buen ajuste en relación al monitoreo tanto en las temperaturas de globo correspondientes a los locales como en las superficiales de los muros.

La flexibilidad operativa del programa ha permitido rápidamente efectuar este ajuste y comprobar la calidad de la simulación tanto en forma global como de algunos detalles que amplían la posibilidad comparativa con el monitoreo.

En la simulación del muro Trombe se ha logrado un ajuste apropiado. Para el cálculo, el programa admite la posibilidad de incluir el efecto de termocirculación para muros acumuladores en ventanillas como es el caso de este trabajo.

Se ha comprobado adicionalmente el correcto ajuste que prevé el programa en las temperaturas superficiales del muro acumulador monitoreado. La diferencia es menor de 2 cm para la "cara caliente" y de décimas para la "fría" en las horas de pico mientras que durante la noche la diferencia se reduce a décimas para la primera y menos de 2 cm para la segunda.

En cuanto al aire de circulación por termosifón el valor simulado que debe compararse con el promedio de aire entrante y saliente por ventanillas resulta un poco bajo quedando por determinar experimentalmente si éste se debe a un flujo de aire más bajo que el esperado o a una mayor eficiencia en la transferencia térmica con las superficies limitantes (muro y vidrio).

En las temperaturas de las habitaciones se ha podido ver claramente una mayor estabilidad, que aunque se mantienen en un rango promedio aceptable, muestran en la simulación una inercia térmica bastante mayor que la real.

Las salidas gráficas de las Figs. 5 y 6 muestran la evolución de la temperatura en dos días tipos de monitoreo de la simulación lograda con el programa SIMEDIF.

Programa simulador: HGRAFO

En un balance térmico linealizado so-

bre un edificio se plantean sistemas de ecuaciones del tipo (para cada habitación):

$$m_i C_p \frac{dT_i}{dt} = \sum_j U_j A_j (T_j - T_i) + a_i S$$

donde:

- m_i = masa
- C_p = calor específico
- T_i = temperatura de los locales
- U_j = coeficiente global de transferencia
- A_j = área de transferencia
- S = radiación
- a_j = constante de proporcionalidad.

Si se engloban los coeficientes $U_j A_j / m_i C_p$ en coeficientes b_j y $a_j / m_i C_p$ en el coeficiente b_i , el sistema de ecuaciones toma la forma (pasando a diferencias finitas):

$$\Delta T_i / \Delta t = \sum_j b_j (T_j - T_i) + b_i S$$

En un trabajo anterior (2) se encara el ajuste por mínimos cuadrados los coeficientes b_i y b_j . En dicho trabajo se detallan los algoritmos de cálculo, su organización en el programa FORTRAN: HGRAFO y su aplicación a un modelo térmico de un invernáculo con locales adyacentes.

Se ha elegido para el prototipo antes mencionado el modelo térmico detallado en la Fig. 7. Esta elección es el resultado de varias pruebas con distintos modelos seleccionándose de ellos las resistencias térmicas que realmente influenciaban en el cálculo de las temperaturas sobre los nodos elegidos. Se observa en esta selección, por ejemplo, que entre la cámara de aire sobre la habitación dormitorio y la sala de espera no hay prácticamente intercambio térmico. Por el contrario, se observa que entre los locales y las cámaras de aire en el techo existen flujos de calor considerables. Esto corrobora el problema de las infiltraciones por sello de la mampostería.

Se ha observado además la sensibilidad del método de ajuste al modelo térmico elegido, ya que con modelos muy simplificados o poco representativos se producía divergencia en el cálculo de las temperaturas. En base a estas primeras aproximaciones y con correcciones sucesivas se ha logrado el mejoramiento del modelo térmico, hasta llegar al planteado en la Fig. 8.

Se han observado algunos problemas por las aproximaciones hechas para radiación en el plano horizontal, así como para ajustar la simulación en las ca-

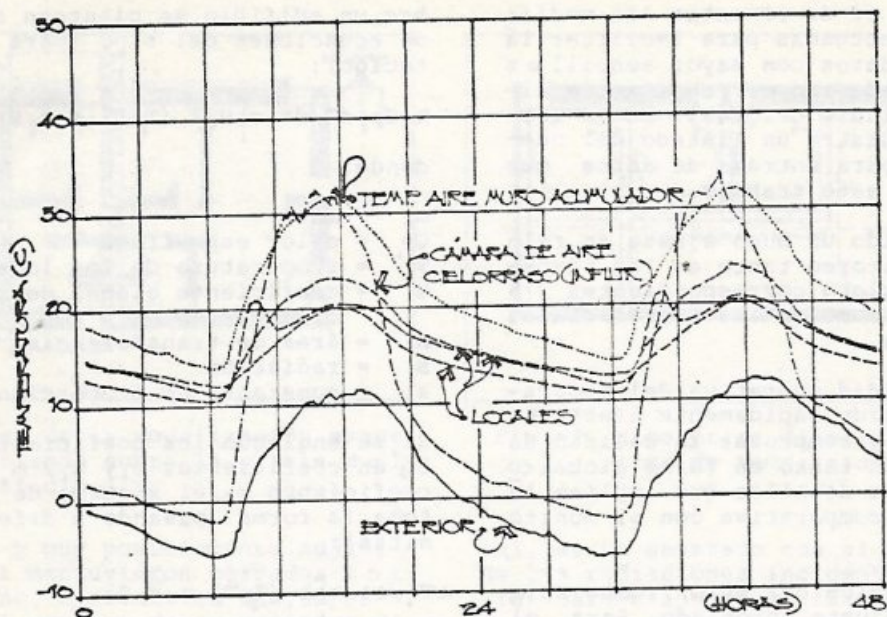


Fig. 5: Monitoreo del edificio durante 2 días

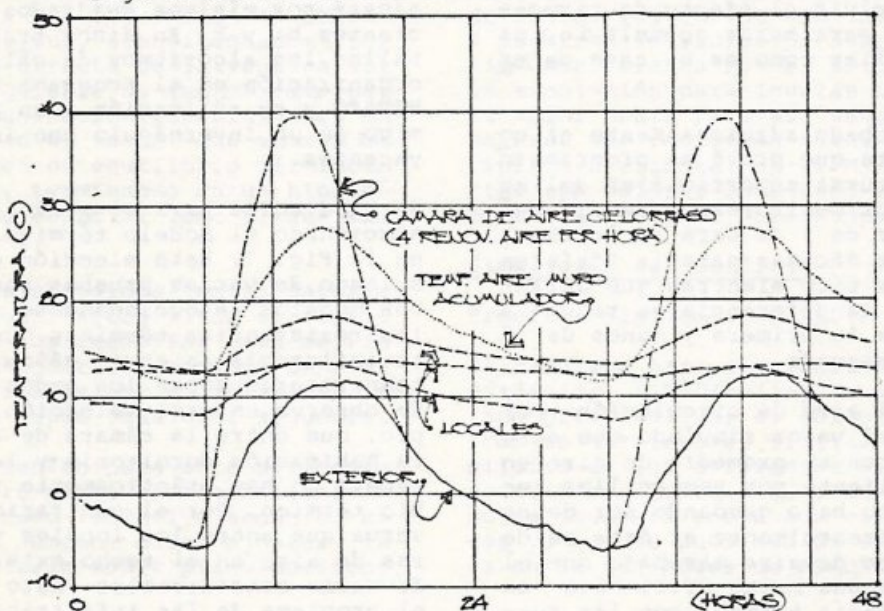
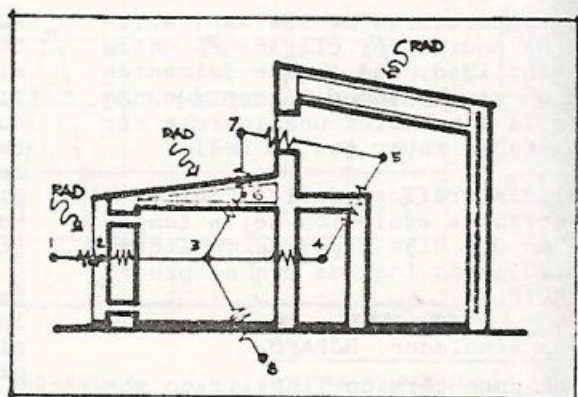


Fig. 6: Simulación del edificio - Programa SIMEDIF

Fig. 7: Modelo térmico para la corrida del HGRAFO



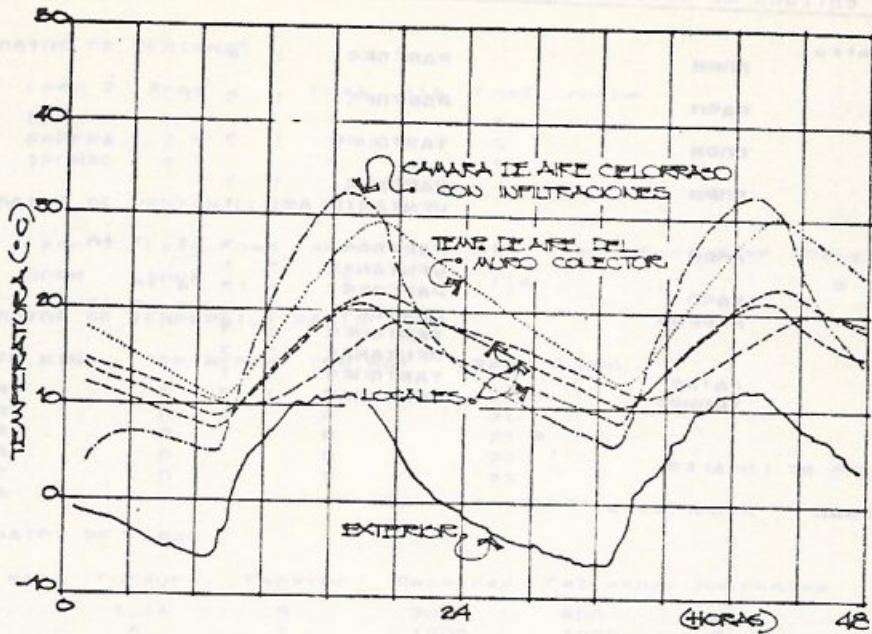


Fig. 8: Simulación del edificio. Programa HGRAFO

de vespertinas de temperatura como por las grandes inercias térmicas presentadas.

La Tabla I detalla los coeficientes de entrada para el modelo planteado (que luego serán comparados con los obtenidos en la otra simulación) y las Figs. 5 y 6 muestran algunos de los resultados obtenidos.

En este trabajo se han analizado los problemas de carácter térmico pero se debe evitar el injusto olvidar que este edificio tiene sus características presupuestas, de construcción con participación de los pobladores, su localización inhóspita y tantas otras, ha resultado según el ponderable criterio de los habitantes del lugar: "...bien mentito".

Agradecimiento

Los autores y seguramente otros usuarios del programa de simulación SIMEDIF agradecen a la Ing. Dolores de Saravia las modificaciones realizadas a su programa para facilitar la entrada de datos.

Referencias

Casermeyro, M.; Saravia, L.; Cálculo térmico horario de edificios solares pasivos. Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de ASADES, San Juan,

1984.

2. Hannecke G.; Lesino G.; Ajuste de parámetros en modelos térmicos. Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de ASADES, An Juan 1984.

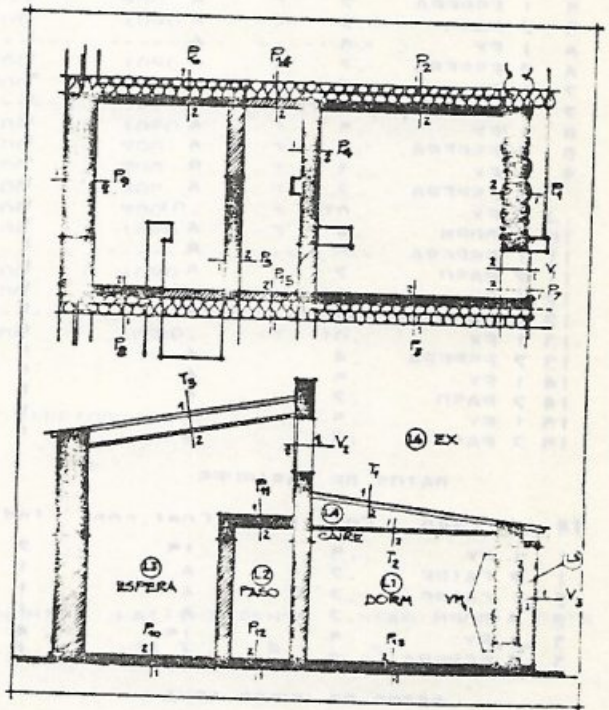


Fig. 9: Clasificación de los muros y tabiques para Programa SIMEDIF.

Listado para entrada de datos Programa SIMEDIF.

Conexiones entre:					
PASO	✓	DORM	PAREDES	:	4
ESPERA	✓	PASO	PAREDES	:	5 11
CATRE	✓	DORM	TARQUIES	:	2
TRMRE	✓	DORM	PAREDES	:	1
			VENTANILLAS:	:	1
FX	✓	DORM	PAREDES	:	2 3 7 10
			VENTANAS	:	1
FX	✓	PASO	PAREDES	:	12 14 15
FX	✓	ESPERA	PAREDES	:	4 8 9 13
			TARQUIES	:	3
			VENTANAS	:	2
FX	✓	CATRE	TARQUIES	:	1
FX	✓	TRMRE	VENTANAS	:	3

DATOS DE LOCALES

Nombre	Volumen	Revolv. aire
DORM	22	2
PASO	7	2
ESPERA	24	3
CATRE	7	4
TRMRE	14	0.01

DATOS DE PAREDES

PH	---	Lado	Coef. absor	Coef. conv	Ind. radiac	Area rad	Area	No. capas
1	1	TRMRE	.2	.8	3	4.7	4.7	1
1	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
2	1	FX	.5	.4	1	0	7.2	3
2	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
3	1	FX	.5	.4	1	0	7.2	3
3	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
4	1	PASO	.2	.4	1	0	5.4	1
4	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
5	1	ESPERA	.2	.4	1	0	5.4	1
5	2	PASO	.2	.4	1	0	-----	-----
6	1	FX	.5	.4	1	0	8.399999	3
6	2	ESPERA	.2	.4	1	0	-----	-----
7	1	FX	.2	.8	5	.2	.2	3
7	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
8	1	FX	.5	.4	1	0	8.399999	3
8	2	ESPERA	.2	.4	1	0	-----	-----
9	1	FX	.3	.8	1	0	12	3
	2	ESPERA	.2	.4	1	0	-----	-----
10	1	FX	.01	.01	1	0	10	1
10	2	DORM	.4	.4	3	1	-----	-----
11	1	ESPERA	.5	.8	1	1.5	3.2	1
11	2	PASO	.2	.4	1	0	-----	-----
12	1	FX	.01	.01	1	0	3.2	1
12	2	PASO	.4	.4	1	0	-----	-----
13	1	FX	.01	.01	1	0	7	1
13	2	ESPERA	.4	.4	1	0	-----	-----
14	1	FX	.5	.4	1	0	1.8	3
14	2	PASO	.2	.4	1	0	-----	-----
15	1	FX	.5	.4	1	0	1.8	3
15	2	PASO	.2	.4	1	0	-----	-----

DATOS DE TARQUIES

TH	---	Lado	Coef. absor	Coef. conv	Ind. radiac	Area rad	Area	Coef. conv
1	1	FX	.5	.15	2	10	10	40000
1	2	CATRE	.2	.4	1	0	-----	-----
2	1	CATRE	.2	.4	1	0	10	.8
2	2	DORM	.2	.4	1	0	-----	-----
3	1	FX	.5	.15	4	12	12	1.4
3	2	ESPERA	.2	.4	1	0	-----	-----

DATOS DE MUROS AGUA

MH	---	Lado	Coef. absor	Coef. conv	Ind. radiac	Area rad	Area	Espesor
----	-----	------	-------------	------------	-------------	----------	------	---------

DATOS DE VENTANAS

Lado 1	Lado 2	Area	Coef. dia	Coef. noche
EX	DOPM	.8	3	3
EX	ESPEPA	2.5	3	3
EX	TROMRE	4.7	3	3

DATOS DE VENTANILLAS

Lado 1	Lado 2	Lado Comp	Area	Alt. comp.	Coef. dia	Dens. aire
TROMRE	DOPM	DOPM	.2	1.4	.3	.8

DATOS DE TEMPERAT. Y RADIACION

TEM. MIN	TEM. MEDIA	TEM. MAY	RADS. G. HOR
-R	0	R	22.2
-R	0	R	21
-R	0	R	21.9
-R	0	R	22
-R	0	R	22
-R	-----	-----	-----

DATOS DE CAPAS

#	CM	Con. masa	Conduct.	Espesor	Densidad	Cal. espec	No. puntos
1	ST		1.14	.5	2000	900	3
2	ST		.4	.1	1900	1090	2
3	NO		.04	.3	-----	-----	-----
4	ST		.4	.15	1900	1090	2
5	ST		.4	.1	1900	1090	2
6	NO		.04	.3	-----	-----	-----
7	ST		.4	.15	1900	1090	2
8	ST		.4	.3	1900	1090	3
9	ST		.4	.3	1900	1090	3
10	ST		.4	.1	1900	1090	2
11	NO		.04	.3	-----	-----	-----
12	ST		.4	.15	1900	1090	2
13	ST		.4	.3	1900	1090	3
14	NO		.04	.3	-----	-----	-----
15	ST		.4	.15	1900	1090	2
16	ST		.4	.3	1900	1090	3
17	NO		.04	.3	-----	-----	-----
18	ST		.4	.15	1900	1090	2
19	ST		.4	.3	1900	1090	3
20	ST		1.14	.5	2000	900	3
21	ST		.4	.1	1900	1090	2
22	NO		.04	.3	-----	-----	-----
23	ST		.4	.15	1900	1090	2
24	ST		.4	.3	1900	1090	3
25	ST		.4	.3	1900	1090	3
26	ST		.4	.1	1900	1090	2
27	NO		.04	.3	-----	-----	-----
28	ST		.4	.15	1900	1090	2
29	ST		.4	.3	1900	1090	3
30	ST		1.5	.15	1800	900	3
31	ST		1.1	.15	1900	900	3
32	ST		1.5	.15	1800	900	3
33	ST		1.5	.15	1800	900	3
34	ST		.4	.1	1900	1090	2
35	NO		.04	.3	-----	-----	-----
36	ST		.4	.15	1900	1090	2
37	ST		.4	.3	1900	1090	3
38	ST		.4	.15	1900	1090	2

DATOS DE INDICES DE RADIACION

PENDIENTE	AZIMUTH	AL REDO	NUM. VIDRIOS
1	90	180	.31
2	5	180	.25
3	90	180	.25
4	8	0	.25
5	90	180	.25

DATOS DE ... VARIOS ...

PP	TT	HH	VV	MM	pp	tt	hh	vv	mm	XC	XM	NUMIND	LATITUD	DENS.	DIAS	DIA PRIM
5	15	3	0	3	1	4	1	0	1	1	3	10.5	-23.3	.8	5	220