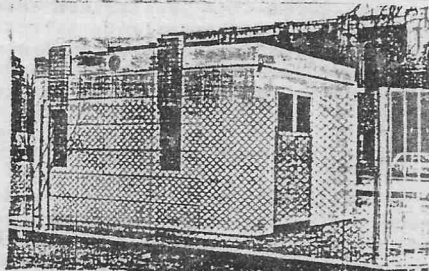


"DISEÑO PARA REFRESCAMIENTO DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL"
(I Etapa)

A.F. Buigues Nollens**, G. Chiappero de Buigues#, D.H. Pontoriero#

RESUMEN

El objetivo del proyecto, está dirigido a buscar la aplicación de sistemas de refrescamiento, que permitan satisfacer las necesidades de control higrotérmico en viviendas de sectores sociales carenciados, a bajo costo. Mediante el aprovechamiento, de fuentes energéticas no convencionales, aplicando estrategias de diseño adecuadas al árido ambiente bioclimático sanjuanino. La metodología seguida contiene; aspectos analíticos como, relevamiento bibliográfico, análisis climático de la zona de ubicación del proyecto; diseño de un software específico de simulación del comportamiento térmico horario y un análisis económico. Además presenta aspectos prácticos referidos al diseño, y construcción del sistema en relación al prototipo en estudio. Actualmente se desarrolla la experimentación del sistema de refrescamiento radiante nocturno, en el interior de un box, con espacios habitables similares a los de una vivienda económica. El funcionamiento se realiza enfriando el aire que ingresa durante la noche, atravesando una cámara que pierde calor, mediante un radiador que "mira" al cielo despejado, resultando la atmósfera exterior fría, la que actúa como "sumidero de calor". Las bajas temperaturas logradas con una diferencia promedio de 6 °C entre la ambiente y la del radiador, son acumuladas en la masa interna, mediante un movimiento convectivo forzado. A través de un envolvente aislante externa, es mantenida su conservación diurna, obteniendo temperaturas interiores que no superan los 27 °C. con el 40 al 50 % de humedad relativa y un sobrecosto del 15 %/m². Los resultados y conclusiones serán transferidos, a través de entidades encargadas de la construcción de viviendas populares.



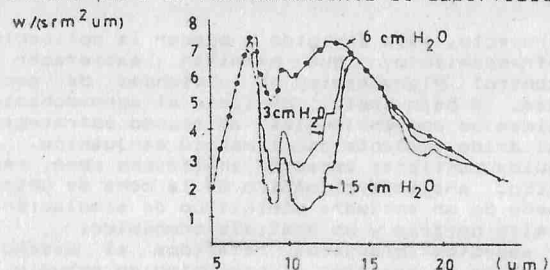
- Fig. 1 -

* Becario del CONICET

Investigadores del AREA DE ENERGIA SOLAR - INSTITUTO DE
MECANICA APLICADA - FAC. DE INGENIERIA - UNIV. NAC. DE SAN JUAN

INTRODUCCION

Cualquier superficie a temperatura normal sobre la tierra, pierde calor por emisión de radiación de onda larga al espacio exterior, debido a que este se encuentra a temperaturas muy bajas (fuente fría). Al mismo tiempo, algunos componentes de la atmósfera (vapor de agua, dióxido de carbono y también el polvo atmosférico) emiten radiación de onda larga hacia la tierra, "radiación emitida por la atmósfera hacia abajo", en el rango espectral de 5 a 30 micrones. Bajo condiciones de cielo claro, como generalmente se presenta el de la ciudad de San Juan, con bajas o nulas velocidades de viento, el flujo radiante tiene 2 picos aproximadamente entre 7 y 10 micrones; con una depresión en el medio denominada "ventana atmosférica" claramente evidente entre los 8 y 13 micrones, con un pico alrededor de los 10 micrones. Esta depresión es la que se aprovecha para el refrescamiento de superficies.



- Fig. 2 -

De esta manera se produce un intercambio permanente de energía radiante, como resultado de la diferencia de los flujos de energía emitidos por las superficies sobre la tierra y la atmósfera, provocando una pérdida de calor radiante neta desde la primera denominada "enfriamiento radiante". En la Fig. 2 podemos apreciar como se anula la depresión y disminuye la posibilidad de refrescamiento con el incremento de vapor de agua en el cielo. La emisión de radiación por onda larga, a partir de las superficies sobre la tierra ocurre continuamente, día y noche. De cualquier modo, durante el día la radiación solar absorbida por la superficie, contrarresta el efecto de refrescamiento producido, es por ello que este fenómeno es comúnmente conocido como "REFRESCAMIENTO RADIANTE NOCTURNO". Además, debido a los resultados de investigación realizados sobre superficies reflectivo-emisivas sin y con tratamiento selectivo, se ha podido comprobar que con los materiales más comunes con que se cuenta en el presente, el refrescamiento radiante puede ser aprovechable a un bajo costo y con poco diferencia en sus rendimientos.

BOX DE ENSAYO - CONSIDERACIONES GENERALES

Debido a que el actual box de mediciones era un depósito de elementos mecánicos, fue necesario remodelarlo, en el sentido de su habitabilidad, para poder realizar las mediciones del sistema. El box ya contaba con una orientación desfavorable, materiales de costos reducidos y no presentaba ningún nivel de terminación. Esto permitió evaluar el comportamiento térmico desde su estado inicial, como también las diferentes estrategias parciales, dirigidas a integrar el sistema de refrescamiento RADIANTE.

ASPECTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA - ECUACIONES BASICAS

El aire ext. del cuadrante S.E. que ingresa dentro de la cámara, (identificado en adelante por T_e) pierde calor a través del radiador que "ve" al cielo despejado, debido al balance que se produce entre el flujo de onda larga, emitido por el radiador (R_{emit}) y la radiación atmosférica que llega, la cual es absorbida por el radiador (R_{abs}), por ello se llama pérdida de calor radiante neta (R_{net}). Por otro lado se produce simultáneamente un intercambio convectivo sobre el radiador que depende de la velocidad del viento y el aire ambiente, conocida esta componente de calor como (C) "intercambio convectivo radiador-aire ambiente" y que en este ensayo interactúa con la pérdida de calor radiante por onda larga, determinando así el refrescamiento neto del aire utilizable (Q net).

La ecuación general que expresa el balance descrito es:

$$Q_{net} = R_{net} \pm C \quad (W/m^2)$$

donde:

$$R_{net} = R_{emit} - R_{abs} \quad (W/m^2)$$

La radiación emitida depende de la:

-Temp. del radiador T_r ($^{\circ}C$)

-Emisividad del radiador (para una superficie metálica pintada, como en nuestra experiencia la $E_r = 0.9$)

$$\sigma = \text{cte. de Stefan Boltzman} = 5.67 \times 10^{-8} \quad (W/m^2 \cdot K^4)$$

Así:

$$R_{emit} = \sigma \cdot E_r \cdot T_r^4 \quad (W/m^2)$$

La radiación atmosférica absorbida es:

$$R_{abs} = \sigma \cdot E_r \cdot R_c \quad (W/m^2)$$

Cuando la Radiación de Cielo R_c se expresa en términos de:

-Temperatura exterior T_e ($^{\circ}C$)

-Emisividad de cielo E_c (s/Berdahl y Fromberg $E_c = 0.741 + 0.062 T_{pr}$)

donde T_{pr} = Temperatura de punto de rocío, nos queda:

$$R_c = \sigma \cdot E_c \cdot T_e^4 \quad (W/m^2)$$

La radiación atmosférica absorbida es entonces:

$$R_{abs} = \sigma \cdot E_r \cdot E_c \cdot T_e^4 \quad (W/m^2)$$

Ahora la fórmula general del calor convectivo C intercambiado está en función del:

hc = coeficiente convectivo, según Clark y Berdahl cuando el radiador se encuentra más frío, que el aire ambiente (como en nuestro ensayo), sería:

$$hc = 1 + 6V \quad (W/m^2 \cdot ^{\circ}C)$$

V = velocidad del viento (m/seg)

entonces nos queda:

$$C = hc (T_r - T_e) \quad \text{Watt/m}^2$$

El aire fresco introducido durante la noche al interior del ambiente, ingresa provocando un asentamiento termosifónico, que genera a su vez una fuerza ascendente que permite evacuar el aire caliente por 2 conductos verticales ubicados en el extremo opuesto

Las bajas temperaturas del aire se acumulan en la masa o envolvente interna. Una tercera fuerza resulta de la succión que provoca el viento sobre la parte superior de los conductos de evacuación. Estas fuerzas descriptas son pequeñas individualmente, pero sumadas configuran una sola, capaz de producir el refrescamiento del box. Durante el día todas las aberturas permanecen cerradas y aisladas del exterior, conservando las bajas temperaturas obtenidas en la noche anterior. En forma independiente, la cámara de aire se ventila directamente al exterior siguiendo la dirección de los vientos dominantes, lo que permite evacuar el flujo de calor absorbido y disipado en la cámara por el radiador. Neutralizando así el paso de flujo de calor al interior del ambiente. Ventilación Estructural.

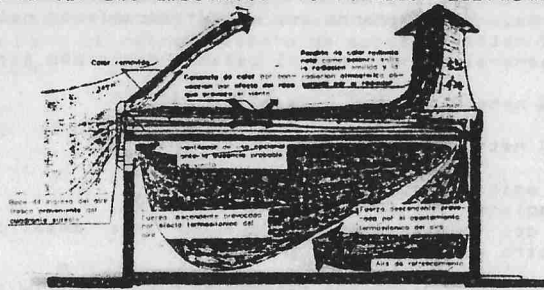
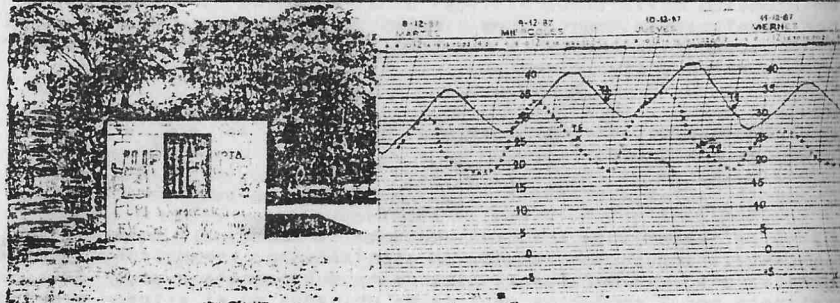


Fig. 1

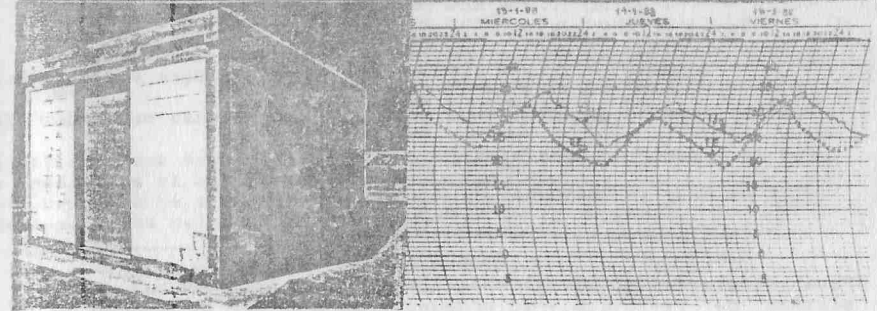
RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante el proceso constructivo de las distintas estrategias que se fueron integrando al sistema, fue posible relevar y evaluar el comportamiento térmico interior del box. Una descripción de los cambios de comportamiento térmico más significativos, se citan en:

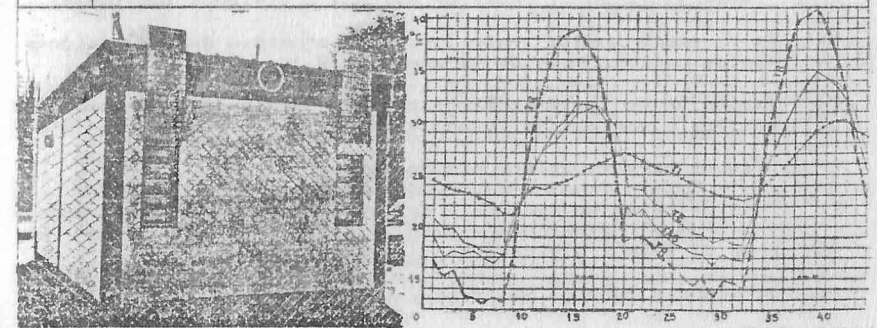
Situación 1	
Muros	Ext. Estructura y bloques de hormigón visto sin pintar
	Int. Estructura y bloques de hormigón visto sin pintar
Techo	Ext. Carpeta de nivelación de concreto visto, esp. 2cm
	Int. Losa de ladrillo cerámico armada in situ, vista
Abert	Puerta y ventanas de madera con fisuras, cerradas siempre



Situación 2	
Muros	Ext. Estructura de H° pintada verde y bloques de blanco
	Int. Enlucido pintado beige
Techo	Ext. Carpeta de nivelación de concreto visto, esp. 2cm
	Int. Cielorraso con terminación enlucido pintado beige
Abert	Banderola (puerta) y ventanas abierta noche y cerrada de día



Situación 3	
Muros	Ext. Estructura de H° pintada verde y bloques de blanco
	Int. Enlucido pintado beige
Techo	Ext. Sobre carpeta de nivelación: poliestireno expandido 2" 16 kg/m ³ , cámara aire prom. 12 cm y sobretecho de metal
	Int. Cielorraso con terminación enlucido pintado beige
Abert	Banderola y puerta con lana vidrio 2", ventanas sur, abert. techo y conductos verticales sur, con poliestireno expan. 2" (todas de 16 Kg/m ³), abierta noche y cerrada de día.



SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Con el motivo de simular el comportamiento térmico horario del sistema a nivel del potencial de refrescamiento, se ha procedido a desarrollar el programa "POTENC" en lenguaje BASIC interpretativo. Para ello se utilizaron datos y resultados experimentales del ensayo realizado en el verano (1987-1988) en el box de mediciones. Los resultados del programa se presentan en la TABLA A

	TE	TR	TR	TS	RE	RAB	RNET	QC	QN
1	21.8	17.2	15.4	4.56	361.92	322.40	39.52	-34.44	73.97
2	21.1	16.4	14.9	4.40	357.95	318.16	39.78	-35.20	74.98
3	20.4	15.3	15.4	4.27	352.54	316.32	36.22	-38.19	74.41
4	20.2	16.2	15.5	4.23	356.96	315.69	45.27	-29.95	71.22
5	19.4	14.3	15.5	4.06	347.67	312.26	35.41	-38.19	73.61
6	19.8	15.8	15.3	4.14	354.99	313.50	41.48	-29.95	75.44
7	19.3	15.6	16.2	4.06	354.01	313.45	40.56	-27.71	68.27
8	19.2	15.1	12.7	3.94	351.56	304.95	46.61	-30.70	77.31
9	22.4	20.5	13.2	4.61	378.67	319.73	58.94	-24.56	83.50
20	28.1	23.1	13.4	5.79	392.26	345.65	46.61	-37.44	84.05
21	26.6	22.1	11.3	5.39	386.99	333.46	53.53	-33.70	87.23
22	25.8	21.5	12.5	5.28	383.85	332.94	50.91	-32.20	83.11
23	24.9	20.2	14.0	5.15	377.12	332.68	44.44	-35.19	89.63
24	25.0	20.7	15.3	5.22	379.70	336.37	43.12	-32.20	75.52

TABLA A

Para simular el comportamiento global de la construcción, con el sistema de refrescamiento propuesto para el box de ensayo, se ha procedido a desarrollar una analogía térmico-eléctrica de los parámetros intervinientes, presentando la gran ventaja de la simplicidad de su resolución.

La analogía se establece de las siguientes equivalencias eléctricas:

Temperatura = Tensión	[°C = Volt]
Flujo de calor = Corriente	[Kcal/seg = Amper]
Resistencia térmica = Resistencia	[Kcal/°C = Faradio]
Capacidad térmica = Capacidad	[°C.seg/Kcal = Ohm]

Se ha elaborado con este motivo un programa denominado "ANAELED" en lenguaje BASIC interpretativo, que permite procesar toda la información requerida y da como resultados las oscilaciones horarias de la temperatura interior.

Donde cada uno de los parámetros y variables representan:

Tint: Temperatura en el interior del box o vivienda (uniforme)

TM: Temperatura media exterior, como promedio de los valores medios de los meses de verano = 27.8 °C

TV: Variación de la temperatura exterior entre los promedios de máximas y mínimas de verano = $TX \cdot \sin(w \cdot T)$; siendo $TX = 8^\circ C$.

Text: Temperatura exterior, siendo $Text = TM + TV$

I: Flujo de calor de entrada y salida del box o vivienda, producida por el refresco nocturno, radiación, etc. = $IX \cdot \sin wt$; donde $IX = IN = 0,9 \text{ Kcal/seg. para } T = 20; 8\text{hs.}$

Rin: Resistencia térmica del aire interior del box = 5.6 seg°Kcal

Rex: Resistencia térmica del aire exterior al box = 1.47 seg°Kcal

Rpi: Resistencia térmica de una sección i de muros, puertas, ventanas y techo. Considerando dichos elementos divididos en i partes iguales = 29.88 seg °C/Kcal

Cpi: Capacidad térmica de una sección i de muros, puertas, ventanas y techo = 19.435 Kcal/°C

i: Número de secciones iguales en que se pueden dividir muros, puertas y ventanas

T: Periodo de variación de la temperatura exterior = 24 horas

w: Frecuencia angular $w = 2/T = 0.26179$

cp3: capacidad térmica del aire interno y muebles, no considerados

El circuito que simula en su comportamiento térmico global, el box de ensayo, es el que se observa en la Fig. 4. Este programa ha sido corrido para el día 19/03/88 (Situación III) los resultados del programa se presentan en la TABLA B.

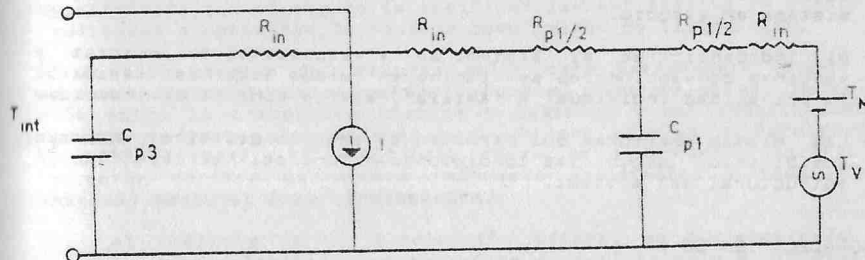


Fig. 4

	TE	TR	TDP	TS	RE	RAB	RNET	QC	QN
1	20	20	10	5.0375	376.093	303.131	72.9621	0	72.9621
2	21.1	16.4	12.2	5.076	357.947	310.061	47.8641	-35.196	83.0821
3	20.4	15.3	12.2	5.076	352.536	307.119	46.4169	-38.1913	83.6082
4	20.2	16.2	12.2	5.076	356.959	306.283	50.6752	-29.954	80.6292
5	19.4	14.3	12.2	5.076	347.671	302.954	44.7173	-38.1913	82.9084
6	19.8	15.8	12.2	5.076	354.989	304.615	50.3735	-29.954	80.3275
7	19.3	15.6	12.2	5.076	354.006	302.54	51.4669	-27.7073	79.1742
8	19.2	15.1	12.2	5.076	351.559	302.127	49.4319	-30.7028	80.1347
9	22.4	20.5	12.2	5.076	378.668	315.579	63.0686	-24.5651	87.6537
10	20.4	28.7	12.2	5.076	422.792	307.119	115.672	29.0501	86.6224
11	28.3	33.1	12.2	5.076	448	341.557	106.443	16.8001	89.6429
12	31	37.7	12.2	5.076	475.544	353.966	121.578	23.45	98.1283
13	32.8	40.7	12.2	5.076	494.177	494.177	131.754	27.6501	104.103
14	33.8	41.3	12.2	5.076	497.97	367.188	130.782	26.25	104.532
15	35.8	41.9	12.2	5.076	501.782	376.856	124.926	21.38	103.576
16	35.2	40.1	12.2	5.076	490.407	373.936	116.471	17.15	99.3212
17	34.8	37.2	12.2	5.076	472.49	371.999	100.491	8.40009	92.0913
18	33.8	33.6	12.2	5.076	450.935	367.188	83.7467	-2.58558	86.3323
19	31.4	27.9	12.2	5.076	418.325	355.833	62.4919	-45.2517	107.744
20	29.1	25.1	12.2	5.076	392.264	340.652	51.6127	-37.4424	89.0552
21	26.6	22.1	12.2	5.076	366.992	333.913	53.0766	-33.6982	86.7768
22	25.8	21.5	12.2	5.076	363.854	330.362	53.4925	-32.2004	85.6929
23	24.9	20.2	12.2	5.076	377.122	326.399	50.7228	-35.1958	85.9186
24	25	20.7	12.2	60.5059	379.7	326.836	52.8624	-32.2004	85.0628

TABLA B

CONCLUSIONES

- Es importante destacar, que existen pérdidas de calor netas, en el orden de los 70 Watt/m² y a lo largo de la noche se produce un total de pérdidas por radiación de onda larga, cercanas a los 1000 watt/m², lo que lleva a estimar que existe una pérdida de 28,32 KW para el box de ensayo.
- El sistema de refrescamiento presenta un potencial adecuado, para contrarrestar las ganancias de calor diurna. Pero las temperaturas interiores en determinadas horas, no se encuentran dentro del rango de confort, debido a la falta de conservación térmica, sugiriendo el uso de aislación a modo de envolvente externa (Fue construida y evaluada en la Etapa II, ver Fig 1).
- Necesidad de mejorar el planteo estructural del procedimiento de simulación, de manera que posibilite un mayor desarrollo, manejo de programas independientes y estudios específicos a través de la evaluación y perfeccionamiento sucesivo.
- Las características típicas del clima, como de las viviendas de bajos costo (techo horizontal), favorece a la aplicabilidad del sistema en estudio.
- Al independizarse el sistema de refrescamiento de puertas y ventanas convencionales se disminuyen ruidos externos, resguarda la privacidad individual y familiar, ejerce control de insectos.
- Las mismas aberturas que permiten el ingreso del aire enfriado posibilitan, según las condiciones naturales, la ventilación estructural del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración prestada, permitiendo la ejecución del trabajo, al Director del Instituto Ing. Horacio AGUILAR, Jefe del Area Jose Luis RODRIGUEZ, Secretarias Hilos DONOSO y Nancy GIMENEZ DE JUAREZ.

Se agradece el préstamo del SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS, DATALOGER 2000 FLUKE, realizado por la CNIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales) Ing. Aldo FABRIS.

BIBLIOGRAFIA

- 1- X ACTA DE ASADES - "DISEÑO PARA REFRESCAMIENTO DE VIVIENDAS FONAVI (Prototipo Compacto)". - A. F. Buigues Nollens, D. H. Pontoriero, G. Ch. de Buigues, M. Sanchez.
- 2- DUFFIE AND BECKMAN - "SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES".
- 3- KREITH AND KREIDER - "PRINCIPLES OF SOLAR ENGINEERING".
- 4- BARUCH GIVONI - "MAN CLIMATE AND ARCHITECTURE" - Applied Science Publishers Ltd. London 2a. Edición 197a.
- 5- BARUCH GIVONI - "CONDICIONAMIENTO TERMICO DE EDIFICIOS EN VERANO MEDIANTE ENERGIAS NATURALES" - Curso dictado en el Instituto de Investigaciones de Zonas Aridas IADIZA (Mza. 1984)
- 6- BARUCH GIVONI - "SOLAR WORLD FORUM" - Vol. 3 Publicación de la Sociedad Internacional de Energía Solar - Brighton England, 20 al 28 de agosto de 1981 - Pergamon Press.
- 7- BARUCH GIVONI - "PASSIVE SOLAR JOURNAL" - Vol. 1 N° 3 Revisión y Evaluación - Refrescamiento por Radiación de Onda larga - 1982.