

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA VIVIENDA SOL 55 DURANTE
DOS PERIODOS INVERNALES #

E. Di Bernardo⁺, R. Gaspar^{*} y R.D. Piacentini[°]

Grupo de Energía Solar, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario

Resumen

Se analiza el comportamiento de la vivienda solar ubicada en Pasaje Sol 55, Funes, Santa Fe, que fuera descrita en la reunión anterior. El módulo experimentado, que posee ganancia directa y muros colectores-acumuladores de calor, ha sido mejorado en su aislación en paredes externas y techo y en el sistema de captación solar en su pared Norte. El funcionamiento en el invierno de 1979 se compara con el correspondiente a 1978, observándose un sensible aumento en la eficiencia global del sistema. Se describe finalmente un prototipo en construcción destinado al estudio de la respuesta de otros tipos de muros bajo insolación natural

COMPARATIVE STUDY OF THE SOL 55 SOLAR HOUSE FOR
TWO WINTER PERIODS #

Abstract

The operation of the solar house located at Pasaje Sol 55, Funes, Santa Fe described in a previous work, is analysed. The tested module, with direct gain plus collecting-accumulating walls, has been improved in the insulations of walls and ceilings and in the North collecting systems. The 1979 winter operation is compared to that of 1978, showing a marked improvement. Finally, a module in a construction for the study of the behaviour of the other wall designs under actual insolation is described.

Trabajo parcialmente financiado con fondos del Programa Nacional de Energía No Convencional (SECYT)

+ Del Instituto de Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Rosario.

* Del Observatorio Astronómico Municipal, Rosario.

° Del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

1. Introducción

La vivienda Sol 55 ya ha sido presentada en la 4ª Reunión de ASADES /1/. Es de tipo pasivo con ganancia directa y muros verticales colectores-acumuladores de calor orientados al Norte (ver foto 1)

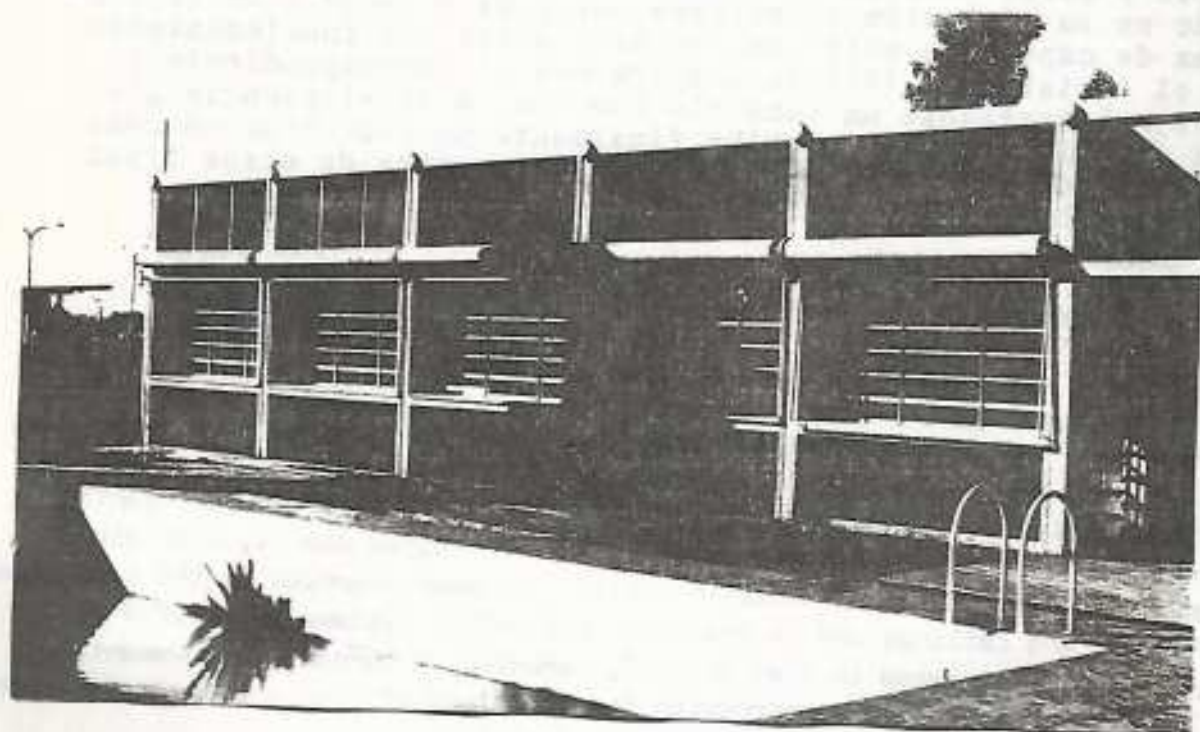


Foto 1: Vivienda solar ubicada en Pasaje Sol 55, Funes, Santa Fe. Vista de la pared Norte. Se observan los módulos que conforman la vivienda, de los cuales el del extremo izquierdo es el experimentado.

En el presente trabajo se han completado las construcciones básicas, a los efectos de realizar estudios comparativos en dos períodos invernales. Además la habitabilidad continua de la vivienda durante un año, ha aportado datos interesantes sobre el comportamiento global de la misma.

En el § 2 se dan detalles de la pared Norte colectora-acumuladora y del resto de las paredes y techo que han sido aisladas con un tratamiento especial. En § 3 se describen los resultados obtenidos y las comparaciones correspondientes para el módulo ensayado. En el §4 se introduce un sistema de evaluación del comportamiento térmico de muros solares y en §5 se dan conclusiones y perspectivas futuras de investigación y desarrollo .

2. Vivienda Solar

2.1. Pared Colectora-Acumuladora Norte

En la Figura 1 se observan las tres zonas de la misma:

a) Muro colector-acumulador inferior: mide 0,30 m de espesor, 0,80 m de alto y 2,30 m de ancho. Está realizado con bloques de cemento compactados, vibrados y curados en atmósfera saturada de vapor y alta temperatura. Los bloques se han rellenado con arena seca, esto último para evitar que parte de la energía solar acumulada sea gastada en la termomigración y evaporación del agua del muro /2/. En su cara expuesta al Sol dicho muro ha sido pintado de negro prácticamente mate. Respecto del muro Trombe-Michel, difiere en que tiene sólo una tapa, que actúa como reflectora durante el día y como aislante, al cerrarse durante la noche. Este dispositivo es importante no solamente en su utilización invernal, sino también durante el verano, cuando actúa como aislante y reflejante. En el presente caso la cara externa de la tapa es blanca, pero puede ser en general de cualquier color claro.

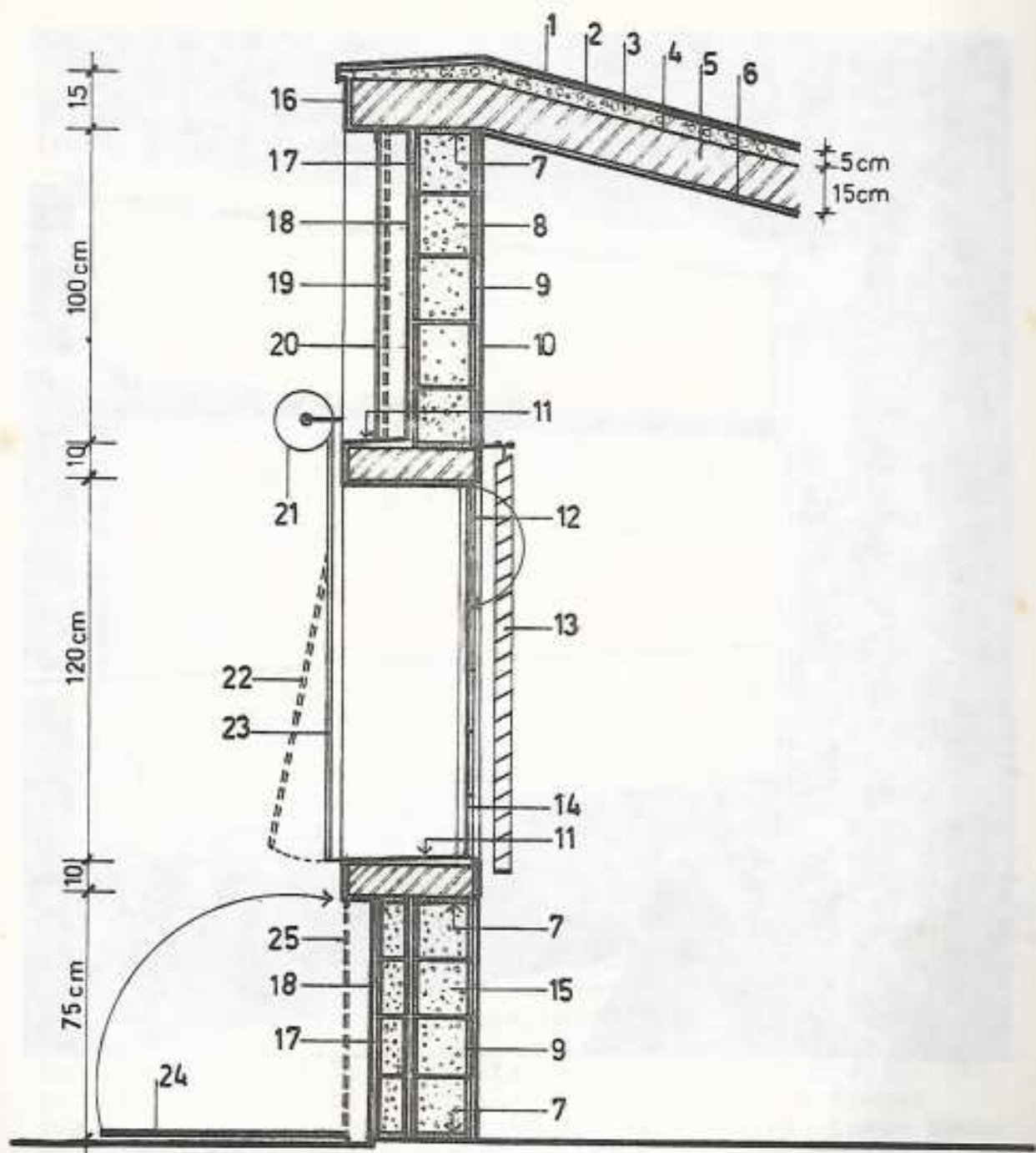
b) Ventana de ganancia directa: posee además de un vidrio de 3 mm de espesor, dos cortinas: una interna de bandas horizontales de aluminio (tipo americana), pintada de negro en una de sus caras y de blanco en la otra y una externa de enrollar, de plástico blanco, que completa el cierre del sector. El área superior de la superficie vidriada se ha aislado, dado que recibe poca radiación solar directa, por la sombra que le produce el alero ubicado por encima de la misma.

c) Muro Colector-Acumulador Superior: está cubierto con un vidrio de 3,2 mm de espesor, montado sobre una estructura metálica que permite un fácil acceso al muro. Esto es útil para los ensayos experimentales y para su mantenimiento. Por otro lado, con este esquema es posible intercalar en verano una aislación, para evitar sobrecalentamientos.

Con este conjunto la vivienda sufre una metamorfosis entre invierno y verano, al cambiar el color exterior de la cara Norte de negro a blanco (Foto 2).

- 1.- Pintura blanca.
- 2.- Mortero de cemento y arena.
- 3.- Aislación de poliestireno expandido de 5 cm de espesor.
- 4.- Impermeabilización asfáltica y adhesivo para poliestireno expandido.
- 5.- Losa de viguetas.
- 6.- Revoque para frente de color blanco.
- 7.- Poliestireno expandido.
- 8.- Arena seca compactada.
- 9.- Bloques de hormigón.
- 10.- Revestimiento cerámico.
- 11.- Revestimiento de azulejos blancos.
- 12.- Hoja de abrir para ventilación.
- 13.- Cortina americana, con una cara negra y la otra blanca.
- 14.- Tela mosquitera.
- 15.- Arena seca compactada.
- 16.- Pintura de látex acrílico para hormigón, blanca.
- 17.- Revoque de mortero de cemento y arena.
- 18.- Pintura acrílica para hormigón negro mate.
- 19.- Telgopor y plástico autoadhesivo para verano.
- 20.- Vidrio de 3,2 mm de espesor.
- 21.- Cortina de enrollar de P.V.C., color blanco.
- 22.- Posición cortina de enrollar para verano.
- 23.- Posición cortina de enrollar para invierno.
- 24.- Tapa reflectora.
- 25.- Posición de tapa reflectora en noches de invierno y días de verano.

Figura 1. Se indican las referencias de los números de la misma.



CORTE LONGITUDINAL
 POR EL FRENTE NORTE

FIGURA 1

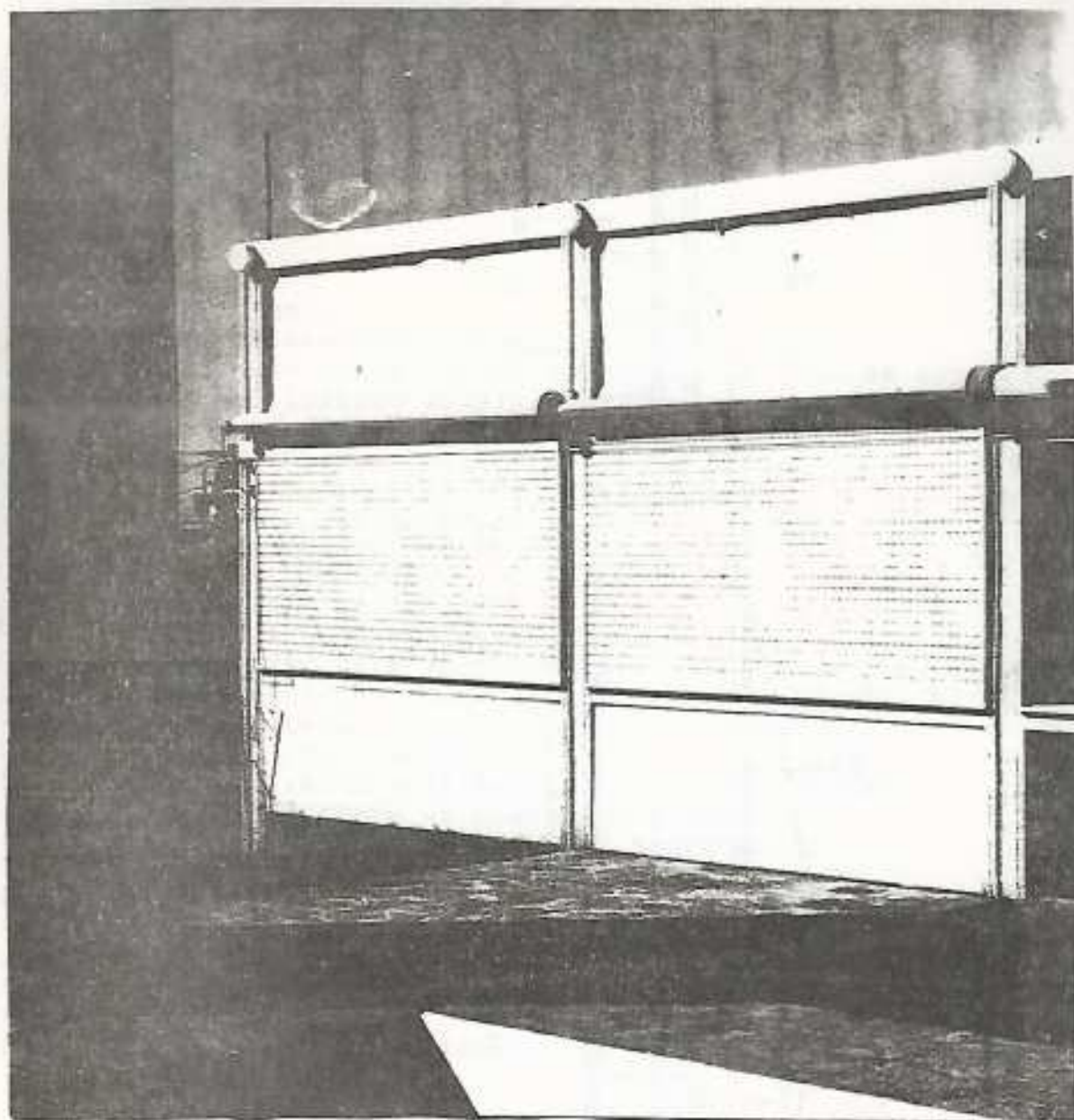


Foto 2: Aspecto de la pared Norte en el período diurno durante el verano. Los tonos predominantes cambian de oscuros en el invierno a claros en el período estival.

2.2 Techo

Dada su gran superficie de intercambio con el medio ambiente y su no utilización como colector /1/, es fundamental su correcta aislación. Realizado con viguetas pretensadas y ladrillones, se ha colocado por encima una capa de 5 cm de poliestireno expandido, fijada con suspensión asfáltica en agua.

2.3 Pared Este

Construida con bloques, tiene en su parte externa un enchapado de panderete de ladrillos de lava volcánica y cemento y luego revoque blanco. En la parte interna, lleva una aislación de 2 cm de poliestireno expandido y un revestimiento de madera .

2.4 Pared Sur

Exteriormente a los bloques tiene una capa de 4 cm de poliestireno y luego un panderete de ladrillos de lava volcánica y cemento, terminándose con revoque blanco.

3. Resultados

3.1 Mediciones

Se muestran a continuación los registros de temperatura (Figura 2) de un típico día de invierno, frío y despejado. Los mismos corresponden al 15 de Julio de 1979. Los vientos fueron del sud-oeste y las temperaturas ambiente máxima y mínima de 11 y -3 C, respectivamente. La disminución de temperaturas de los colectores, en las horas centrales del día, se debe a la sombra proyectada por un tanque de agua cercano. Esta caída de temperaturas se propaga hacia el interior, observándose un retardo de 3,5 horas para la parte superior (espesor 20 cm) y de 5 horas para la inferior (espesor 30 cm). Estos valores se encuentran por debajo de los computados teóricamente (5 y 7,5 horas respectivamente). Además no resultan adecuados para el buen funcionamiento de la casa, pues es aconsejable un mayor retardo térmico.

La temperatura de la cara interna del colector superior llega a un máximo de 33 C a las 16:30 horas, manteniéndose constante hasta aproximadamente las 18:30 horas. Luego decae en forma prácticamente lineal, a razón de 1,2 C por hora. La cara interna del colector inferior muestra, como es lógico un amortiguamiento mayor de la onda térmica generada sobre la cara exterior. El máximo de 21 C, se obtiene a las 20:30 horas y la caída es de 0,5 C por hora. Dado que esta temperatura no es suficiente para un buen intercambio térmico con la habitación, es necesario incrementarla. Ello puede lograrse a través de una mejora del sistema de captación y aislación de la cara exterior.

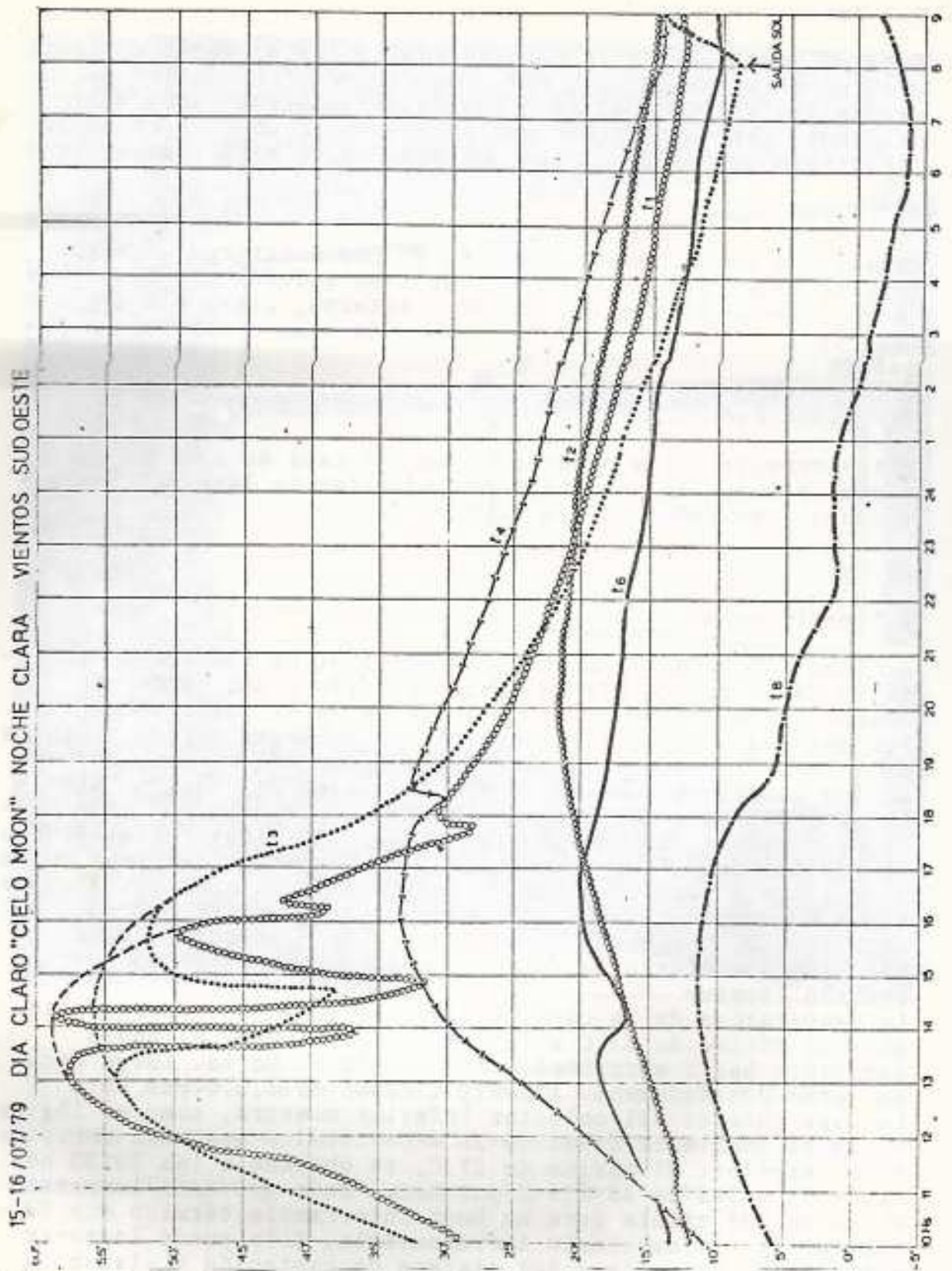


Figura 2: Se indican los registros de temperaturas para el módulo ensayado.

Los registros de las temperaturas internas de los muros Sur y Este, muestran que ambas siguen la evolución de la temperatura T_6 del aire interior. La diferencia máxima de 1,5 C durante la noche, sube a 2,5 C en las horas centrales del día. Esto último se debe a que T_6 aumenta rápidamente por ganancia directa a través de la ventana. La temperatura T_6 , que es la más importante para analizar la respuesta del conjunto, varía entre 20 C de máxima y 11 C de mínima, con un decremento prácticamente lineal de 0,6 C por hora en la noche. Debe aclararse que el día mostrado, si bien claro, correspondió a una de las noches más frías registradas al presente, en la zona, durante el invierno de 1979. Datos obtenidos en días menos claros, con mayor temperatura ambiente mínima muestran, para la temperatura del aire interior, un valor mínimo mayor y un menor decremento nocturno.

La comparación de los registros de la Figura 2 con los de 1978 /1/ indican una mejora sensible en la vivienda. Por ejemplo, la diferencia entre las temperaturas del aire ambiente y dentro de la habitación, de unos 6 a 9 C en 1978, subió a 12 C en la actualidad. La temperatura de la cara interna de los colectores, que en /1/ se acercaban sensiblemente, al final de la noche, a la del aire interior, permanecieron a más de 6 C por encima de la misma, hacia las 8 horas.

A los efectos de observar la distribución de radiación sobre el plano Norte colector, se efectuaron mediciones instantáneas con un sensor fotovoltaico portátil de 2% de error, según sus fabricantes. Los resultados para el día 16 de Julio, se muestran en la Figura 3. En 3.a se observan los cinco módulos construidos (la izquierda corresponde al Este). A las 14:45 horas se hicieron mediciones, en los puntos centrales de las tres partes que componen cada módulo. En el módulo izquierdo, el registro fue más completo para observar el efecto de la sombra del tanque antes citado. Donde incide radiación directa, los valores oscilan entre 730 y 680 $W.m^{-2}$, es decir, diferencias del 7%. Ello se debe a la distinta reflexión de los materiales ubicados en el entorno de la vivienda (piso, pileta, plantas, etc.) y en los diferentes porcentajes de bóveda que ve cada módulo, por interposición de obstáculos (tanque, árboles, etc.). Estos resultados deben tenerse particularmente en cuenta al evaluar comparativamente cada módulo, como así también en el estudio de proyecto de nuevas viviendas, referidos a la ubicación de las mismas y su entorno.

Los valores de radiación difusa en la zona de sombra son del orden de un 6% respecto de los anteriores. Esto es de esperar para una pared vertical /3/, admitiendo que la reflexión del piso compensa el porcentaje de cielo que quita el obstáculo. Por otro lado, en los módulos provistos con reflector, se notan claramente diferencias en la radiación incidente en distintos sectores.

Se observan franjas de mayor o menor radiación dado que la chapa reflectora de aluminio, relativamente poco

rígida, presenta ondulaciones que producen las vetas citadas. Esto es un inconveniente menor, puesto que la radiación total reflejada sobre el muro vertical, lo hace en forma similar a la correspondiente a reflexión uniforme. Un promedio ponderado de la radiación aportada por el reflector a las 15 horas indica un incremento de alrededor del 20 %. De la Figura 3.b se deduce que es necesario ampliar las dimensiones de la tapa, para aprovechar toda la zona de captación del muro.

En la Figura 3.c se muestran los valores de radiación medidos sobre la ventana, en distintas posiciones del medidor. En primer lugar, se da la radiación incidente fuera del vidrio, con el aparato apoyado paralelamente al mismo.

Entre paréntesis aparecen los valores en iguales puntos, pero colocado el sensor detrás del vidrio. Entre llaves se dan los datos tomados con el instrumento fuera de la habitación y orientado hacia la misma.

La diferencia entre el primer y segundo conjunto de valores muestra la transmitancia del vidrio. El tercer grupo indica la cantidad de radiación en onda corta, que vuelve a salir al exterior a través de la abertura. El alto valor obtenido afuera, en la parte inferior, obedece a la alta reflexión de los azulejos blancos horizontales del umbral *de la ventana. El valor reducido en el interior (480 W.m^{-2})* se debe a la existencia en esta zona de una tela metálica (mosquitero). Por consiguiente es aconsejable retirar la misma durante el período invernal.

Estas mediciones están en buen acuerdo con los valores calculados, utilizando la fórmula dada en /3/, (radiación solar directa y difusa). El cálculo de la pérdidas globales a lo largo del día, indica una ganancia del sistema de $840 \text{ kcal.m}^{-2}/\text{día}$. En estos cálculos la ventana se admitió abierta durante el día y cerrada por la noche.

En particular el aporte difuso es de alrededor del 18% del total.

3.2. Balance Global de la Vivienda

En días claros, la ganancia directa asegura un confort térmico diurno, con temperaturas entre 18 C y 20 C. La temperatura de la envolvente Este-Sur está unos 2 C por debajo de estos valores. El ingreso de Sol directo en toda la casa, colabora con el confort psicológico, dada la temperatura color de su luz.

En el Solsticio de Invierno, solo se requiere iluminación artificial luego de las 18:15 y hasta las 8 horas.

Durante la noche y particularmente luego de las 0 horas, la temperatura desciende debajo de los valores recomendables.

Se estima que, entrando el techo en régimen, la temperatura nocturna aumentará. Mediciones hechas inmediatamente luego de colocada la aislación del mismo, indica un incremento de unos 3 C, en la temperatura interna.

Esta gran influencia de las condiciones del techo obedece

a dos factores: debido al flujo ascendente del aire, la transferencia por convección es importante. Además, a causa de los factores de forma, el intercambio radiante del colector superior se da fundamentalmente con el techo.

La zona de ganancia directa, con su sistema de cierre, a demostrado, en base a algunas mediciones, una buena resistencia térmica. Durante la noche esta vale $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C} / \text{kcal}$ contra un valor de $0,17$ para el vidrio solo, en las mismas unidades. La temperatura de la cara interna de la cortina es de 1 C , por debajo de la del aire en la habitación, contra una diferencia de 12 C para el vidrio solo, cuando la diferencia de temperaturas interna-externa es 15 C .

La cara negra interna de la cortina interior ha presentado algunos problemas, debido a la reflexión casi especular de su recubrimiento brillante.

En días nublados fríos, con temperatura exterior casi constante, la interior osciló entre 13 y 15 C . Ello nos muestra la necesidad de realizar, en tales condiciones, un aporte extra.

Para aprovechar al máximo el aporte solar, es necesario un manejo correcto de los sistemas de apertura y cierre.

En días claros, la captación se ha calculado que puede hacerse prácticamente de salida a puesta del Sol.

Ello contribuye a crear un ambiente natural sumamente agradable. Además colabora con el confort el hecho de que la diferencia entre las temperaturas del aire y de las paredes sea pequeña.

4. Modelo para Ensayo de Muros

Para estudiar con mayor detalle la respuesta de los muros colectores-acumuladores, se construyeron dos módulos con paredes verticales de 1 m^2 orientadas al Norte. Los mismos tienen una pared común y las laterales externas, piso y techo están aislados.

Un sistema de ventilación artificial de bajo caudal, iguala las temperaturas internas de ambos recintos y mantiene similares condiciones de movimiento del aire sobre las caras internas de los muros.

Uno de los colectores, realizado con arena seca encerrada entre dos placas de fibrocemento, se dejará como referencia, ensayándose en el restante distintos diseños.

El sistema está ubicado en una zona alta y despejada, de manera de obtener una radiación uniforme sobre toda la pared Norte.

Un sistema de termocuplas, permite un registro adecuado de las temperaturas en distintas zonas de los muros, como así también en otros puntos de interés.

5. Conclusiones y Perspectivas

Es necesario mejorar aún mas el sistema colector inferior. Una de las primeras modificaciones será colocarle un vidrio,

como ya se hizo en la parte superior. El retardo térmico medido para ambos colectores se encuentra por debajo del calculado teóricamente o del medido para otros muros, como por ejemplo los diseñados por Trombe-Michel.

El diseño particular de esta vivienda, con un incremento importante del área de colección a través de la inclinación del techo, obliga a una adecuada aislación del mismo. Los resultados obtenidos hasta la fecha, indican que una vivienda sub-urbana de éstas características, es adecuada para personas que adapten sus exigencias al ritmo solar.

Requisitos más estrictos de confort, implican la necesidad de efectuar aportes adicionales de calor durante los períodos desfavorables. En el futuro se estudiará el comportamiento de los otros módulos y de la vivienda en conjunto. Se iniciará asimismo el desarrollo de sistemas pasivos de climatización para el período estival.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro reconocimiento, por la ayuda y colaboración prestada a; El personal técnico del Dto. de Física de la Facultad de Cs. Exactas e Ingeniería, a :

M.A. Lara- J.J. Elicabe- R. Bolmaro- M.C. Vozzi y
R. y A.M. Di Bernardo

Bibliografía

- /1/ E. Di Bernardo, R. Gaspar y R.D. Piacentini. "Experimentación de una vivienda solar con ganancia directa y acumulación de calor." 4° Reunión de ASADES - La Plata (1978).
- /2/ M. Cabanat y B. Sesolis " Chauffage de l'Habitat par Energie Solaire. Experimentation Sur les Maisons C.N.R.S. d'Odeillo" Thèse de 3 ème Cycle, Université Paris VII (1976).
- /3/ J. B. Borgato. " Un modelo analítico para la Radiancia de Cielos Despejados de Distinta Turbidez y Arbitraria Extensión Visible" Informe Técnico- Facultad de Arquitectura- U.N. de Rosario (1979),