

DISEÑO, CONSTRUCCION Y EXPERIMENTACION DE UN MURO DE CAPTACION SOLAR LIVIANO DE ALTA RESISTENCIA TERMICA, PARA VIVIENDAS EN EL SUR ARGENTINO*

E. Di Bernardo, D. Perone, J. Vazquez y R. Seffino #

Centro de Estudios Bioambientales (CEB)
Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño
Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 220 bis - 2000 Rosario

RESUMEN

Se presenta un sistema de aprovechamiento solar que consiste en un muro captor liviano, de tecnología constructiva simple, y costos de ejecución relativamente bajos. La escasa masa térmica del panel colector, su alta resistencia térmica y la automatización de su funcionamiento, permiten aumentar la eficiencia respecto de otros sistemas solares, por lo que resultaría apropiado para climas muy fríos y/o de escasa radiación. Por tales motivos, este sistema fue utilizado experimentalmente en una vivienda construida, con asesoramiento del CEB, en la ciudad de Esquel (43°S y 71°W) en la Patagonia Cordillerana. Se exponen los detalles constructivos del muro captor y los resultados obtenidos en la primer serie de mediciones llevadas a cabo en Rosario, ensayando algunas de las alternativas de funcionamiento que brinda su diseño.

INTRODUCCION

Un inconveniente común en los sistemas de calefacción solar llamados "pasivos" (invernaderos, muros Trombe) es el déficit que presentan en el balance de pérdidas y ganancias térmicas, lo que obliga a utilizar protecciones exteriores móviles, tanto para reducir las pérdidas térmicas nocturnas en invierno, como las ganancias indeseables en verano. Esto implica necesariamente mayores costos y más complejidad constructiva, y requiere un adecuado manejo y control por parte del usuario para que el funcionamiento del sistema sea realmente eficiente. A los efectos de superar estos inconvenientes, el CEB desarrolló el proyecto de un sistema con el cual se pretende, mediante la optimización de su diseño, mejorar la eficiencia respecto de otros sistemas similares, de modo tal de poder utilizarlo en viviendas de interés social para zonas de clima muy frío e inviernos prolongados, como es el caso de la Patagonia.

DISEÑO Y CONSTRUCCION

Se diseñó y construyó un prototipo que consiste en un panel de 1.00m de ancho, 2.40m

de altura y 0.20m de espesor, realizado en chapa doblada BGW Nº16. El cerramiento exterior lo constituye un vidrio fijo común de 3mm de espesor, estando previsto el espacio necesario para agregar un segundo vidrioado para su futura experimentación. El interior está formado por un postigo armado con 0.05m de poliuretano expandido, contenido entre dos láminas de cartón prensado de 3mm, pintado de color verde oscuro igual que el resto de la carpintería. Este postigo es rebatible a los efectos de permitir el funcionamiento como ganancia directa. Entre el postigo y el vidrio va colocada una chapa plegada trapezoidalmente con cresta de 15mm, pintada de color negro mate, y que es desplazable de modo tal que permite variar el espesor de las dos cámaras de aire que quedan formadas. El zócalo de chapa doblada, también aislado con 0.05m de poliuretano expandido, tiene adosado un pequeño ventilador centrífugo.

Los materiales empleados son los utilizados comúnmente en las carpinterías standard, salvo el caso del poliuretano expandido, y la técnica constructiva es totalmente tradicional. Por otra parte, su ejecución es relativamente rápida y sencilla, y no se requiere mano de obra especializada. Todo lo cual hace que el costo de producción total del sistema sea suficientemente bajo, aproximadamente 250 US\$, y comparable a cualquier elemento constructivo de una vivienda tradicional: una ventana de carpintería metálica, vidrios comunes y cortina de enrollar de plástico, de superficie y calidad equivalentes al panel presentado, cuesta alrededor de 220 US\$, a valores de setiembre de 1986.

FUNCIONAMIENTO

Al calentarse la chapa negra por la incidencia solar y alcanzar cierta temperatura (que será fijada en forma precisa según próximas experimentaciones) un termostato pone en funcionamiento el ventilador. Este toma el aire del local y lo impulsa a través del zócalo hacia todo el ancho del panel, circulándolo

Grupo de Energía Solar / Instituto de Física Rosario (CONICET/UNR)

* Trabajo parcialmente financiado por SECYT

en la cámara de aire formada entre la chapa colectora y el postigo interior. A los efectos de mejorar la transferencia de calor se utilizó una chapa plegada transversalmente al sentido de circulación del aire, con lo cual se logra aumentar la superficie de intercambio y asegurar un régimen turbulento.

Para optimizar su rendimiento, se consideró también la posibilidad de automatizar el funcionamiento, de modo tal de poder independizarlo del control del usuario. Para ello, se diseñó e implementó un circuito de control para el comando automático del ventilador, que consiste en un sensor (termistor) que recoge la información de la temperatura de la chapa para determinar si se debe accionar o no el ventilador, a través de un circuito comparador con histéresis. El motor es accionado por medio de un tiristor, para evitar el uso de elementos de contacto electromecánico, que sufren desgaste.

Además del funcionamiento forzado por medio del ventilador, el sistema trabaja por termocirculación natural con un aceptable rendimiento, y si se abre completamente el postigo interior opera también como una ganancia directa convencional. Su alta resistencia térmica propia reduce sensiblemente las pérdidas sin mecanismos complejos de protección, con lo cual se simplifica el control del sistema por parte del usuario.

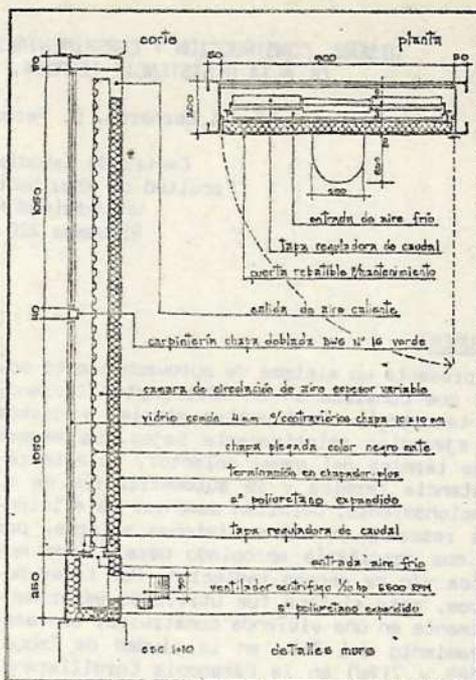
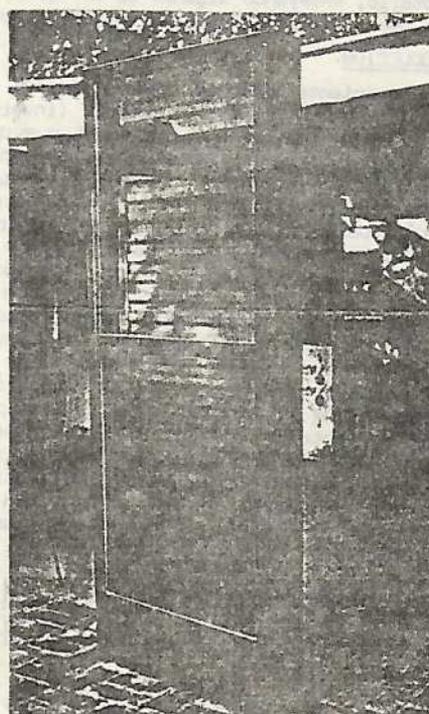
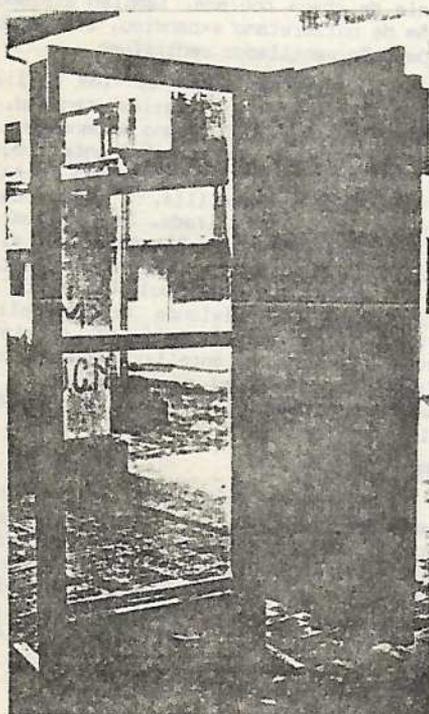


Figura 1: Detalles constructivos del sistema



Fotos 1 y 2: Prototipo del muro de captación solar liviano de alta resistencia térmica

ENSAYO

Se llevó a cabo un ensayo sobre el panel prototipo instalado en la fachada norte de un local habitable perteneciente al CEB en Rosario (20°S y 60°W). La radiación se midió con un solarímetro Kipp & Zonn colocados en el plano del panel. Se registraron, además, la temperatura exterior (en abrigo meteorológico), la ambiente interior y las de entrada y salida del panel, con termómetros de mercurio. Las temperaturas del aire circulante en la cámara (en cinco secciones equiespaciadas en su alto y en tres secciones en su ancho) fueron tomadas con termocúplulas de Cu/Cn y registradas por un sistema automático de adquisición de datos. El caudal de aire circulante se estimó a partir de la medición de la velocidad media del fluido en una sección calibrada.

En el ensayo del colector se trabajó principalmente en la determinación del rendimiento y en la distribución de las temperaturas en la cámara. En la Figura 2 se representa la eficiencia instantánea para valores de radiación altos (400-500 W/m² sobre plano vertical) con valores de $\tau\alpha$ próximos a los de incidencia normal. Debido a la variación de la radiación y la temperatura durante el período de utilización proyectado para el colector (t= 6hrs) se representa en la Figura 3 el rendimiento promedio para $T^* = [T_i + (T_o - T_i)/2 - T_a] / (AcIv)$ con lo que se obtiene $FR(\tau\alpha) = 0.78$ y $FR UL = 9.8 W/m^2C$. Con buena aproximación puede adoptarse un valor medio de $\tau\alpha = 0.83$, con lo que resultaría $FR = 0.94$ y $UL = 10.4 W/m^2C$.

Se han estudiado además los perfiles longitudinal y transversal de las temperaturas del aire dentro de la cámara. En la Figura 4 se representa la variación longitudinal de las temperaturas para caudales entre 17 y 101 m³/h donde se observa que para el caudal $C = 17 m^3/h$ (termocirculación natural) prácticamente se alcanza la temperatura de saturación T_s a una longitud menor que la del colector, es decir que no se consiguen aumentos importantes de la temperatura para incrementos de longitud en la cámara. Si se adoptara el criterio de imponer la longitud del colector de manera que $(T_o - T_i) = 0.9(T_s - T_i)$ resultaría $C = 34 m^3/h$ el caudal óptimo para el panel ensayado.

Del estudio de los perfiles transversales de la temperatura del aire circulante, se ha comprobado una importante pérdida térmica por conducción a través de los bordes del panel. Como se observa en la Figura 5 esta situación se hace más evidente en los momentos de alta radiación, registrándose en esos casos una diferencia de más de 15C entre el centro del panel y los extremos, con lo cual el rendimiento se reduce sensiblemente. En consecuencia, es posible esperar una mayor eficiencia del sistema colocando en una fachada varios paneles en paralelo y aislando adecuadamente los bordes extremos.

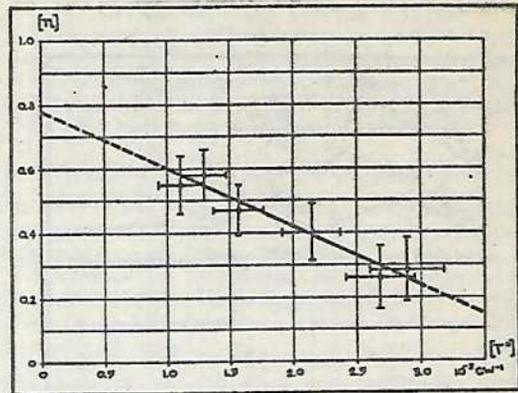


Figura 2: Eficiencia instantánea del colector

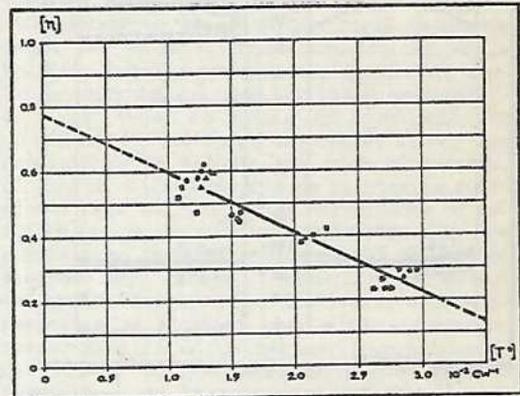


Figura 3: Eficiencia promedio del colector

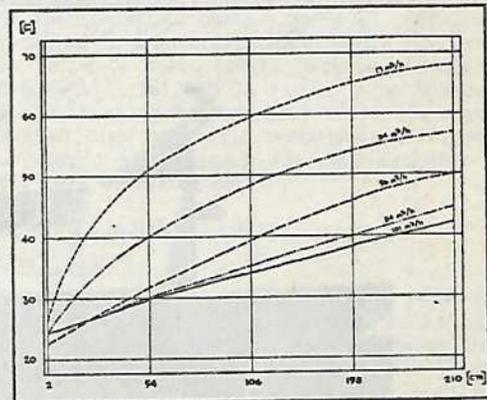


Figura 4: Perfil longitudinal de temperaturas

- Ac Area de colector [m²]
- Iv Radiación sobre plano vertical [W/m²]
- FR Factor de remoción
- UL Coeficiente global de pérdidas [W/m²C]
- Ti Temperatura de ingreso del aire [C]
- To Temperatura de salida del aire [C]
- Ta Temperatura exterior [C]

APLICACION

Según una encuesta realizada /1/, en términos medios los habitantes de Esquel (439S y 719W) deben destinar más de una cuarta parte de sus ingresos para calefaccionar sus viviendas (por lo general no diseñadas en relación a la región bioclimática) durante, por lo menos, nueve meses al año. A esto se suma que, debido a la falta de redes de gas natural, deben recurrir al gas envasado y/o a la leña, lo cual representa mayores costos, menor eficiencia y problemas de abastecimiento como consecuencia de la intransitabilidad de los caminos en determinadas épocas del invierno. Entre otras consecuencias, esta delicada situación obliga al Estado a subsidiar fuertemente (más de un 60%) los precios de los combustibles.

Ante esta perspectiva, y con la intención de colaborar en una solución global y racional para este grave problema, el CEB participa en el diseño y asesoramiento termo-energético de una vivienda pensada en términos experimentales y con la idea de poder ofrecer buenos niveles de confort a bajo costo, para futuros planes de construcción masiva en esta región de gran interés geopolítico.

El resultado de esta intervención es una vivienda de partido compacto en dos plantas, cuyo anteproyecto fue descrito en un trabajo presentado anteriormente /2/. La vivienda posee una envolvente opaca de alta resistencia térmica (conductancia media de paredes y techo de $0.5W/m^2C$) y una masa acumuladora en paredes, piso y entrepiso del orden de $85MJ/C$. Las ventanas son pequeñas y cuentan con carpinterías de doble contacto y burletes para reducir

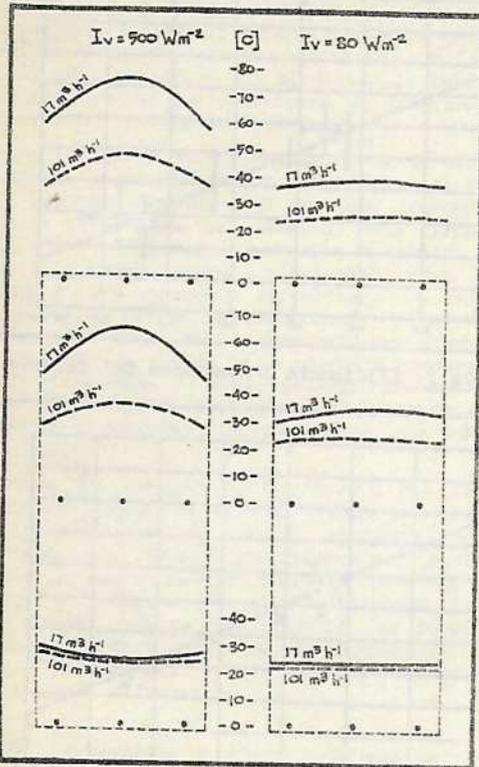


Figura 5: Perfil transversal de temperaturas

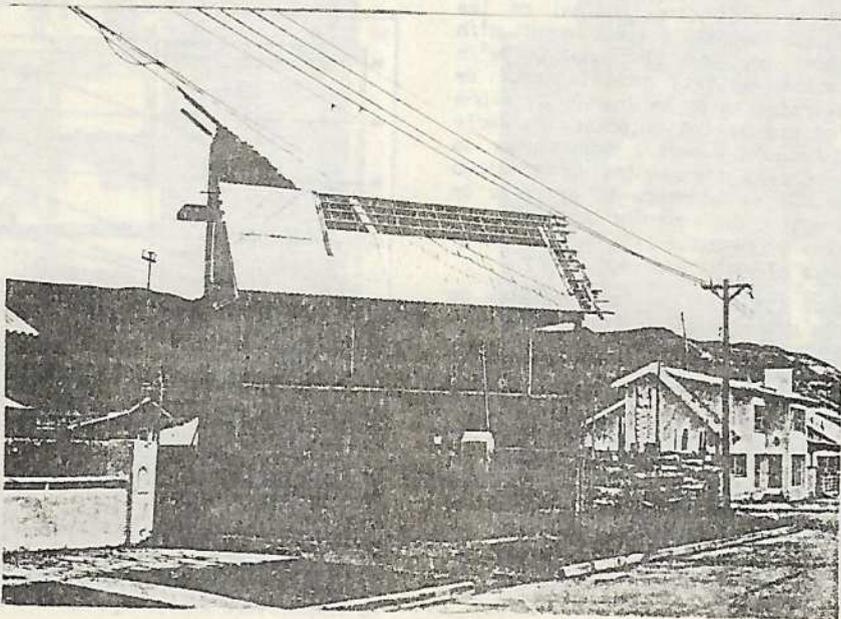


Foto 3: Vivienda experimental con aprovechamiento de energía solar en Esquel (Pcia. de Chubut)

las infiltraciones de aire. En la fachada norte se combinan seis ventanas de ganancia directa con postigos interiores y doce paneles captadores similares a los presentados anteriormente.

Dado lo riguroso del clima y la relativamente escasa radiación solar de esperar en la región, resultaría muy aventurado pretender acondicionar una vivienda exclusivamente mediante el aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, es significativo verificar las necesidades de calefacción de la vivienda propuesta por el CEB y comparar su comportamiento con una casa tradicional de la zona, a los efectos de evaluar el ahorro energético que se lograría en un período invernal. Para ello, tomamos como referencia una vivienda de igual superficie (alrededor de 100m²) en un solo nivel de planta rectangular, orientada a medio rumbo según la cuadrícula de Esquel, y construida tal como se lo hace habitualmente en la región /1/: muros de madera, ladrillos comunes o bloques de cemento, ventanas medianas con carpintería standard, techo de chapas o tejas con cielorraso de madera, etc.. A los efectos de evaluar el comportamiento térmico de ambas viviendas, utilizamos el coeficiente global de pérdidas diario (G) según la siguiente expresión:

$$G = \left[\left(\sum C_i S_i / V \right) + (0.35 n) \right] 24 \text{hs} \quad \text{siendo:}$$

C_i : conductancia de cada componente [W/m²C]

S_i : superficie de cada componente [m²]

V : volumen de la vivienda [m³]

n : número de renovaciones de aire por hora

Con las características descriptas, y adoptando $n=2$, para la casa tradicional sería:

$$G = [2 \text{ W/m}^3\text{C} + 0.7 \text{ W/m}^3\text{C}] 24 \text{hs} = 65 \text{ Wh/m}^3\text{C}$$

En el caso de la vivienda propuesta por el CEB, y suponiendo que con una mejor carpintería es posible reducir las infiltraciones de aire por lo menos a la mitad, resultaría:

$$G = [0.4 \text{ W/m}^3\text{C} + 0.35 \text{ W/m}^3\text{C}] 24 \text{hs} = 18 \text{ Wh/m}^3\text{C}$$

Suponemos para ambas alternativas una ocupación promedio de cuatro personas, con un aporte de calor sensible metabólico (M) del orden de 5800 Wh/día, a lo que sumamos las cargas por luces y artefactos electrodomésticos (L) que se estiman en unos 4200 Wh/día, con lo cual el total de cargas internas (Q_i) resulta aproximadamente 10 kWh/día. Se estiman, además, los aportes térmicos por captación solar (Q_s) considerando las ganancias a través de las ventanas (Q_v) y de los paneles captadores (Q_p):

$$Q_s = Q_v + Q_p = H [(S_v \tau_v) + (S_p \eta)] \quad \text{siendo:}$$

H : irradiación integrada diaria [Wh/m²día]

S_v : superficie de ventanas irradiadas [m²]

τ_v : transmitancia media de ventanas [0.60]

S_p : superficie total de paneles [m²]

η : eficiencia media de paneles [50%]

Suponiendo que se pretendiera alcanzar una temperatura de confort media (t_c) del orden de 17°C, con una amplitud térmica interior media de unos 4°C (15°C durante la noche y 19°C durante el día), y siendo D_d la cantidad de días con cielo despejado y D_t la cantidad total de días en el mes, la energía de calefacción (Q_c) necesaria mensualmente sería:

$$Q_c = [(G(t_c - t_e)V) - (Q_i)] D_t - [Q_p + Q_v] D_d$$

En la figura 6 se representa la cantidad de energía total (Q_t) requerida por ambas viviendas en cada uno de los meses de invierno, indicándose la incidencia de las cargas internas (Q_i), del aporte solar (Q_s) y de la energía de calefacción auxiliar (Q_c) necesaria en cada caso.

Los valores de radiación adoptados son los mínimos de esperar en la región, ya que han sido estimados con un modelo de cielo de alta turbidez atmosférica. Además, se han considerado solamente los días con cielo despejado según las estadísticas climatológicas de la Estación Esquel, despreciando la posible captación durante los días con cielo semicubierto y sin tener en cuenta la acumulación de un día para otro. En consecuencia, siendo las condiciones de estudio muy poco optimistas, el aporte solar esperable no resultaría suficiente para satisfacer las necesidades de calefacción de la vivienda propuesta, ya que cubriría en términos medios el 27% del requerimiento para todo el invierno. Pero, de todos modos, es muy significativo el ahorro energético de esperar: la vivienda experimental consumiría en un período invernal menos del 17% de lo que necesitaría una vivienda tradicional de la zona para obtener iguales condiciones de confort.

Este mejor comportamiento térmico se comprueba también si se compara el nivel que alcanzaría la temperatura interior media (t_i) ante la falta de combustibles para la climatización artificial. En la Figura 7 se observan los valores de esperar para ambas alternativas en días con cielo despejado, utilizando un modelo simplificado /3/ para calcular la t_i , cuya expresión es:

$$t_i = [(Q_i + Q_s) / G] + t_e$$

CONCLUSIONES

Es evidente que en climas muy fríos y con inviernos de larga duración, como es el caso de Esquel, el incremento en los costos iniciales de construcción (aislaciones, carpinterías, sistemas captadores, etc.) se justifica ampliamente ya que puede ser amortizado económicamente en un corto período de vida útil, por la sensible reducción de los costos energéticos de funcionamiento (calefacción) que es posible lograr. Pero, por otra parte, y aunque no pueda evaluarse exactamente en términos económicos, también resulta "rentable" el efecto logrado en el nivel de confort en caso de desabastecimiento o de precios inac-

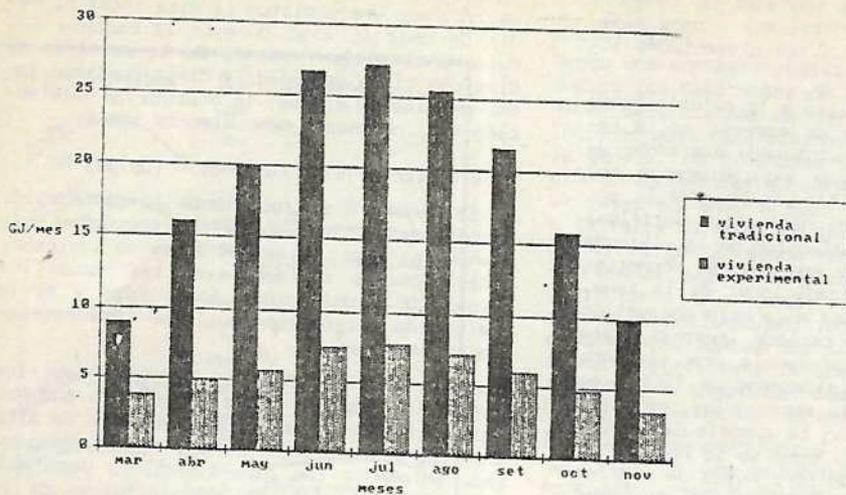


Figura 6: Requerimientos energéticos de calefacción para un período invernal

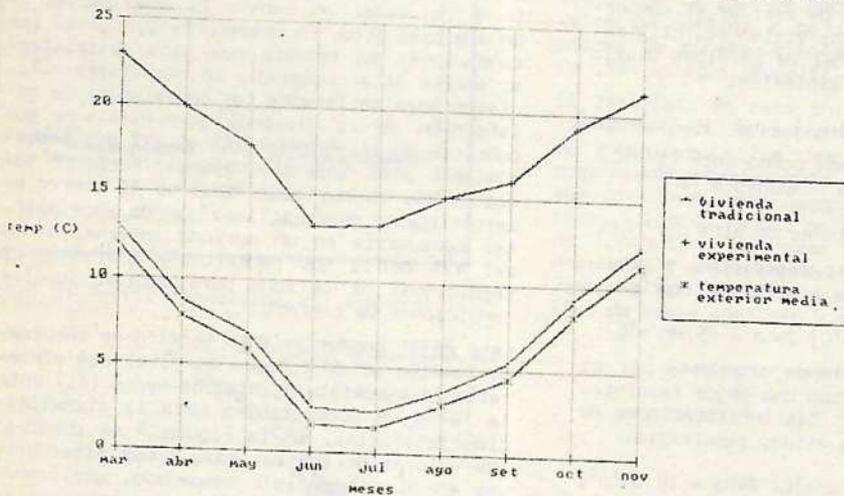


Figura 7: Niveles de confort natural de esperar en días con cielo claro

cesibles de los combustibles necesarios. Una vivienda que en los meses más fríos del invierno pueda mantenerse en forma natural entre 13 y 15 °C de temperatura interior media, estaría muy próxima a los niveles de confort deseables, mientras otra que apenas llegara a ti del orden de 3 °C sería directamente inhabitable. Como lo demuestra la evaluación realizada, tanto en el ahorro energético de calefacción como en la mejora del confort natural, en este tipo de climas juega un papel preponderante la resistencia térmica de la envolvente, más allá del posible aporte solar. Es por ello que se ha diseñado este sistema de aprovechamiento solar que, además de una aceptable eficiencia de captación, ofrece una buena performance en el balance térmico y un funcionamiento casi independiente del control del usuario.

REFERENCIAS

- 1/ E. Di Bernardo, D. Perone y N. Cannelli. "Economía de energía y aprovechamiento solar en Esquel (Pcia. de Chubut). Informe interno Centro de Estudios Bioambientales, 1983.
- 2/ D. Perone y E. Di Bernardo. "Vivienda con aprovechamiento de energía solar en Esquel (Pcia. de Chubut)". Actas de la IX Reunión de Trabajo de ASADES, San Juan, 1984.
- 3/ J. Borgato. "Calefacción solar directa". Publicación interna de la Facultad de Arquitectura (UNR), 1984.