

VIVIENDA CON APROVECHAMIENTO DE ENERGIA SOLAR  
EN ESQUEL (PCIA. DE CHUBUT)

Daniel Perone (°) y Elio Di Bernardo (')

Centro de Estudios Bioambientales (CEB)  
Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño  
Universidad Nacional de Rosario  
Riobamba 250 bis - 2000 Rosario

### RESUMEN

Se trata de un trabajo de asesoramiento para el diseño y construcción de una vivienda prototipo con aprovechamiento solar y bajo consumo energético convencional, en una región de gran importancia geopolítica e incipiente desarrollo, como lo es la patagonia cordillerana.

Dado el rigor y extensión del período invernal y la poca disponibilidad de radiación solar en la zona, se ha hecho énfasis en la compacidad del partido arquitectónico, en la alta resistencia térmica de la envolvente, y en el diseño de un sistema de captación solar liviano, sin masa acumuladora y de alta resistencia térmica propia. Con ello se pretende lograr una reducción significativa en los costos energéticos de calefacción, que en la actualidad son realmente muy elevados en esa zona por razones climáticas y por falta de infraestructura de servicios, tal como lo revelara una encuesta previamente realizada por el CEB.

De esta manera, la vivienda (actualmente en etapa de construcción) podrá utilizarse como elemento de publicidad y demostración para los vecinos de Esquel y de otras ciudades del sur cordillerano, y como modelo para futuros planes de construcción masiva de la Secretaría de Vivienda y Ordenamiento Ambiental, que tiendan a mejorar los niveles de vida en las zonas periféricas y colaborar a la descentralización político-económica de nuestro país.

### INTRODUCCION

Según la encuesta realizada (1), en términos medios los habitantes de Esquel (43° latitud sur) deben destinar más de una cuarta parte de sus ingresos para acondicionar térmicamente

sus viviendas (no diseñadas según el clima de la región) durante, por lo menos, nueve meses al año. A esto se suma que, debido a la falta de redes de gas natural, deban recurrir al gas envasado o a la leña, con lo cual se ven sometidos a frecuentes períodos de desabastecimiento y escasez de recursos energéticos.

Esta situación obliga al Estado a subsidiar fuertemente los combustibles hidrocarburados (hasta en un 60%), de modo que esta pequeña "crisis energética" local es transferida a los contribuyentes de otras regiones.

Entendiendo que no es esa una salida sostenible ni satisfactoria, una empresa local decide recurrir al asesoramiento del CEB para diseñar y construir una vivienda modelo mediante un crédito del Banco Hipotecario Nacional.

Con ello se pretende demostrar que una verdadera solución, social y económicamente válida, es diseñar las viviendas en relación a las características bioclimáticas locales de modo que, mediante un ajustado diseño térmico y un adecuado incremento en los costos iniciales de construcción, se logre reducir sensiblemente los costos energéticos de funcionamiento (calefacción) durante la vida útil de las viviendas.

### DESCRIPCION DEL PROYECTO

Sobre las ideas preliminares del proyectista de Esquel, el CEB realizó varias alternativas de anteproyectos que hacían un énfasis especial en la definición de un partido compacto, en dos plantas de forma casi triangular y con una gran área de captación orientada al norte, de manera de reducir al mínimo posible la superficie de la envolvente no captora. La forma semi-triangular responde, además, a la orientación de la cuadrícula de

(°) Becario del CONICET  
(') Director del CEB

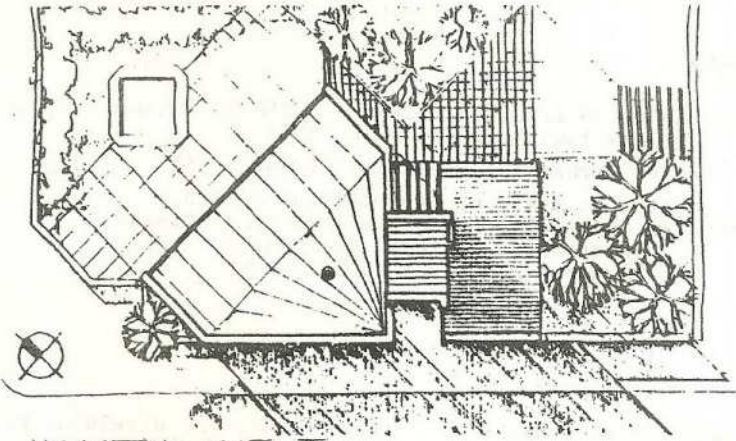


Figura 1

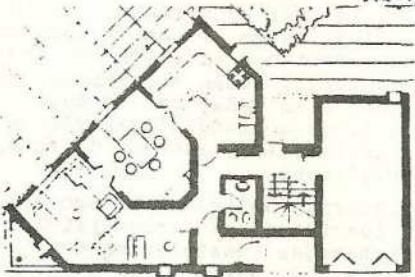


Fig 2

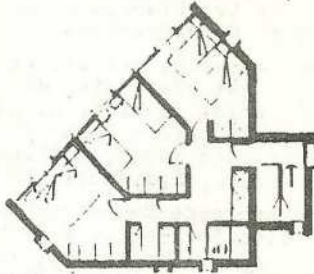


Fig 3

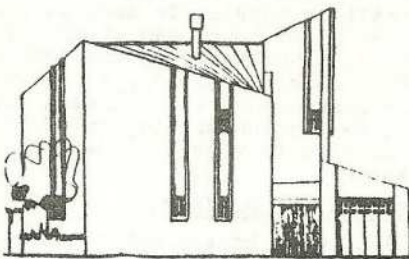


Fig 4

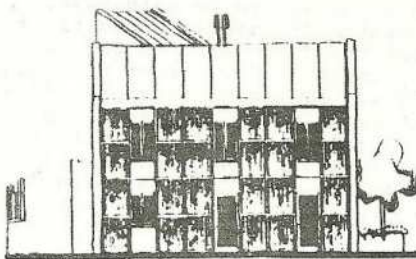


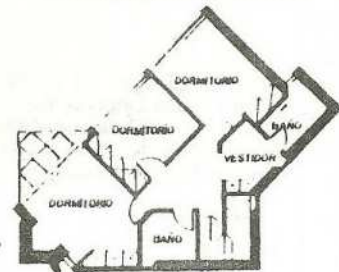
Fig 5

Esquel respecto del norte y a la particularidad del lote en esquina (figura 1). Esta forma de las plantas permite aumentar notablemente el área expuesta al norte, lo que resulta una necesidad dados los bajos valores de radiación a esperar en la localidad: 3 MJ/m<sup>2</sup>día como promedio para el mes de junio (2). Las distintas propuestas elaboradas por el CEB podrían sintetizarse finalmente en la versión que representan las figuras 2,3,4 y 5.

En base a estas propuestas el proyectista introdujo ciertas modificaciones en el partido arquitectónico, por razones de diversa índole, quedando el proyecto definitivo tal como se muestra en las figuras 6,7 y 8, comenzándose la ejecución en el verano pasado. La estructura portante es independiente y antisísmica, y el contrapiso de hormigón de 2400 Kg/m<sup>3</sup> y 0.20 m de



Fig 6



PLANTA

Fig 7

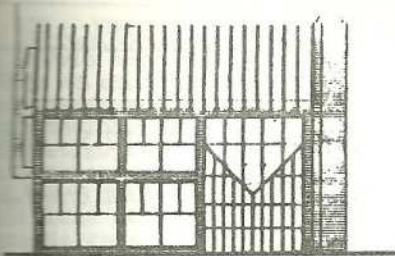


Fig 8

espesor, está aislado por debajo con 50 mm de poliestireno expandido a los efectos de que actúe como masa acumuladora. En cuanto a la materialización constructiva de la envolvente se ha intentado darle la mayor resistencia térmica posible ya que, debido al rigor del invierno, el régimen de pérdidas es sin dudas uno de los aspectos determinantes en el diseño de viviendas para la región. En consecuencia, se propuso construir muros de mampostería dobles con 80 mm de poliestireno expandido en el interior, recomendándose similar aislación, o más si fuera posible, para la cubierta metálica. De este modo se espera lograr una conductancia media de las superficies opacas del orden de los  $0.4 \text{ W/m}^2\text{C}$  (foto 1).

Por otro lado, se han reducido al mínimo indispensable las áreas vidriadas en la envolvente no captora, construyéndolas con vidrios dobles de 6 mm cada hoja y 12 mm de cámara de aire hermética, y protegidos con postigos exteriores de madera terciada y

poliestireno expandido y cortinas interiores de doble tela pesada. Se ha creído indispensable también la construcción de una doble puerta de ingreso que, junto a la calidad y hermeticidad de la carpintería, tenderán a reducir las pérdidas de calor por infiltraciones de aire. Para evitar este problema se propone, además, colocar fijos todos los vidriados que sean posibles, dejando como abrigles solamente los necesarios para ventilar los locales en verano.

#### SISTEMA CAPTOR

El sistema captor propuesto (Panel CEB de Alta Resistencia Térmica) ha sido adoptado para dar respuesta a tres problemas concretos:

1. el rigor y extensión del período invernal, con temperaturas medias muy bajas durante más de nueve meses en el año (entre  $1.5$  y  $12 \text{ C}$ ) y temperaturas mínimas de hasta  $-23 \text{ C}$ .
2. la alta frecuencia de días con cielo cubierto durante el invierno, casi el 40%, y la variabilidad de las condiciones de nubosidad durante el día y entre un día y otro, con una disponibilidad de radiación solar baja y discontinua (3).
3. la posibilidad de una construcción masiva de viviendas requeriría un sistema de funcionamiento sencillo, automático y lo más independiente posible del control del usuario.

Como dato de referencia, las características medias del clima local se

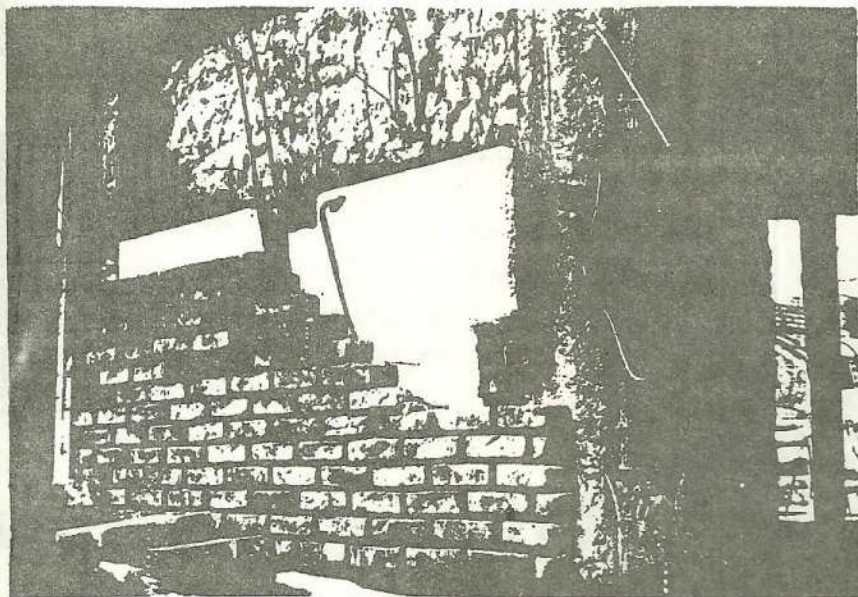


Foto 1

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temp media	14.3	14.6	12.0	7.8	5.9	1.7	1.5	2.8	4.6	8.2	11.2	13.7
Temp max med	21.4	21.9	19.5	14.9	10.4	6.8	6.1	8.5	10.6	14.6	17.5	21.0
Temp min med	7.8	7.3	5.0	1.8	0.0	-2.2	-3.1	-2.2	-1.5	1.4	4.8	7.1
Temp min abs	-0.9	-0.4	-5.1	-7.3	-9.6	-14.7	-22.8	-13.3	-12.1	-10.3	-3.3	-2.2
Fr días claros	7	6	7	6	4	4	5	5	6	6	5	5
Fr días cubiert	8	6	8	9	12	12	14	12	11	10	9	10

muestran en la tabla 1 (4).

Tabla 1

Ante esta situación se diseñó un sistema de captación solar liviano de paneles de aproximadamente 1 m de ancho, 2.4 m de altura y 0.2 m de espesor (figura 9). Doce de estos paneles junto a sistemas de ganancia directa

convencionales (con vidrios dobles, cortinas de enrollar de madera exteriores y postigones interiores), conforman toda la fachada captora liviana y de alta resistencia térmica orientada verticalmente al norte.

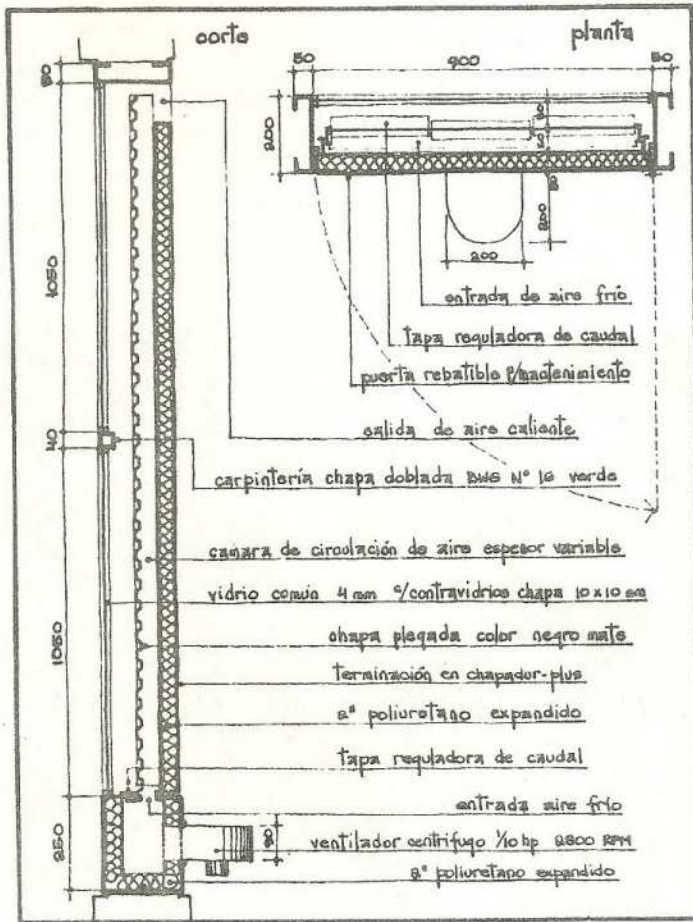


Figura 9

El cerramiento exterior lo constituye un vidrio común de 3 mm, estando previsto el espacio necesario para agregar un segundo vidriado para su experimentación. El interior lo conforma un postigo rebatible a los efectos de la limpieza, regulación y mantenimiento, pero fundamentalmente para la posibilidad del funcionamiento como ventana de ganancia directa. Este postigo está construido como un panel tipo "sandwich" de 2 pulgadas de poliuretano expandido y terminación en madera terciada o similar. Entre el postigo y el vidrio va colocada una chapa plegada trapazoidalmente con cresta de 15 mm y pintada de color negro mate, que es desplazable variando así el espesor de las dos cámaras de aire que quedan formadas. En la parte inferior, el zócalo de chapa doblada tiene adosado un pequeño ventilador centrífugo de 1/10 hp y 2800 rpm (foto 2).

La ejecución del panel es relativamente rápida y sencilla, y no requiere una técnica constructiva fuera de lo tradicional. Además, los materiales utilizados son los empleados comúnmente en las carpinterías standard (salvo el caso del poliuretano expandido).

Al calentarse la chapa negra por la incidencia solar y alcanzar cierta temperatura (que será fijada experimentalmente), un termostato pone en funcionamiento el ventilador. Este tomará el aire de la habitación y lo impulsará hacia el zócalo, que a su vez lo distribuirá hacia el resto de los paneles conectados en serie penetrando en las cámaras de aire a través de las rejillas inferiores (foto 2). El ancho de estas rejillas puede regularse mediante tapas corredizas que permitirán variar el caudal de aire cir-

culante. El aire asciende absorbiendo el calor ganado por la chapa expuesta, plegada justamente para aumentar la superficie de intercambio. Finalmente el aire calentado retorna al local a través de la rejilla superior, intercambiando luego convectivamente con la masa constructiva interior. De esta forma se espera lograr un rendimiento global del sistema del orden del 40% (5).

Para la automatización del funcionamiento se diseñó e implementó un circuito de control para el comando automático del ventilador.

Por otro lado, además de este funcionamiento como colector solar de aire "de fachada", si se abre completamente el postigo interior, el sistema opera como una ganancia directa convencional (foto 3).

El panel no requiere ningún tipo de protección exterior móvil dado que su gran resistencia térmica propia soluciona adecuadamente el problema del régimen de pérdidas, generalmente negativo en otros sistemas solares pasivos. Sólo requeriría algún mecanismo de ocultamiento de manejo simple y uso estacional para evitar en lo posible la incidencia solar en verano.

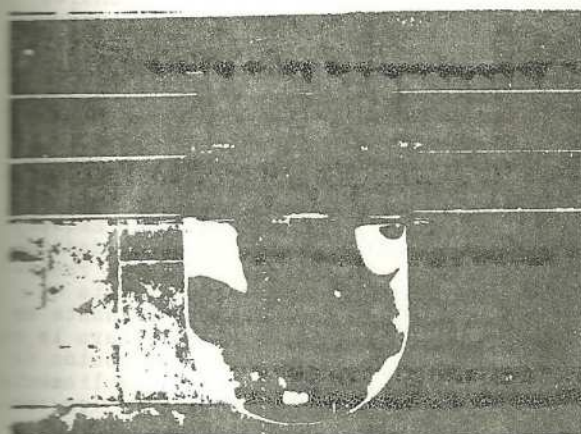


Foto 2

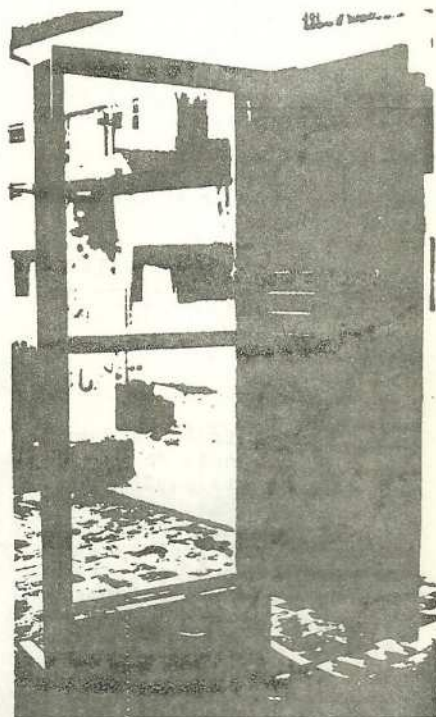


Foto 3

## COMPORTAMIENTO TERMICO

Si bien, en este clima, es impensable pretender acondicionar una vivienda solamente con el aporte solar, es significativo comparar el comportamiento térmico esperable entre una casa de la zona construida tradicionalmente (1) y la presente propuesta como alternativa.

A tal efecto tomamos como referencia una vivienda de igual superficie cubierta, en un sólo nivel de planta rectangular orientada a medio rumbo según la cuadrícula de Esquel y construida de manera convencional: muros de mampostería comunes, ventanas con dobles vidrios y postigos de madera, y techo de chapas con cielorraso de madera. La conductancia media ponderada (C) sería de aproximadamente unos 2.3 W/m<sup>2</sup>C.

Suponemos una ocupación promedio de 3 personas/hora, con lo que las cargas sensibles metabólicas (M) serían unos 4500 Wh/día. Las cargas por luces y aparatos domésticos (L) se estiman en otros 4500 Wh/día, y las pérdidas por infiltraciones de aire (V) en 2000 Wh/día como mínimo, suponiendo que se renueva solamente la mitad del volumen interno cada hora.

Hacemos la estimación para la temperatura media estadística del mes de julio (1.5 C) en un día semi-despejado con una radiación integrada diaria (Q) de 2000 Wh/m<sup>2</sup>día sobre la cara vertical norte y 1200 Wh/m<sup>2</sup>día para las caras noreste y noroeste.

Utilizamos un modelo simplificado (6) para calcular la temperatura interior media de esperar en esas condiciones, cuya ecuación es:

$$\bar{t}_i = \frac{+12 \int (M + L) dt + (\sum K \alpha Q)}{-12 \int (V + \sum C S) dt} + \bar{t}_e \quad (7)$$

donde:

- S: superficie de cada envolvente
- K:  $\alpha \alpha Re + C$
- $\alpha$ : absortancia en la gama solar
- C: transmitancia en la gama solar
- Re: resistencia superficial externa
- C: conductancia
- M: cargas metabólicas
- L: cargas por luces y aparatos
- V: pérdidas por infiltraciones
- Q: radiación solar integrada diaria
- $\bar{t}_i$ : temperatura interior media
- $\bar{t}_e$ : temperatura exterior media

Para la vivienda construida tradicionalmente el resultado aproximado sería el siguiente:

$$\bar{t}_i = \frac{(4500+4500)Wh + 8200 Wh}{(2000 + 13500)Wh/C} + 1.5 C$$

$$\bar{t}_i = 2.6 C$$

En tanto, para la vivienda propuesta por el CEB, estimando un rendimiento del orden del 40% para el sistema captor, el resultado aproximado sería:

$$\bar{t}_i = \frac{(4500+4500)Wh + 40000 Wh}{(2000 + 2000)Wh/C} + 1.5 C$$

$$\bar{t}_i = 14 C$$

Los resultados son elocuentes si se compara, además, la cantidad de energía que habría que agregar en cada caso para lograr condiciones de confort óptimas, por ejemplo una temperatura interior media de 18 C.

Siendo EUC la energía útil de calefacción a suministrar, en el caso de la vivienda tradicional sería:

$$EUC = ((18-1.5)C \ 15500 Wh/C) - 17200 Wh$$

$$EUC = 240000 Wh/día$$

Mientras que en la alternativa propuesta por el CEB:

$$EUC = ((18-1.5)C \ 4000 Wh/C) - 40000 Wh$$

$$EUC = 17000 Wh/día$$

Aún agregándole el consumo de los ventiladores, aproximadamente unos 3000 Wh/día (que incluso sería un aporte de calor pero a un costo mayor), la energía extra necesaria para la propuesta del CEB significaría solamente menos de un 10% de la que requeriría una vivienda tradicional tal como se construye actualmente en Esquel. Esto permite presumir que el incremento en la inversión inicial de construcción (aislaciones y sistema captor) podrá amortizarse rápidamente a lo largo de la vida útil de la vivienda.

Por otro lado, en los casos de escasez de combustibles convencionales (muy frecuentes en la zona), una vivienda con 14 C de temperatura interior media estaría bastante próxima a los niveles de confort deseables, mientras que otra con 2.6 C sería directamente inhabitable.

## CONCLUSIONES

En climas con inviernos muy fríos y de larga duración como el de Esquel, prestar atención a la compacidad del partido arquitectónico y a la resistencia térmica de la envolvente es sin dudas el aspecto determinante en el diseño de las viviendas para la región. El incremento en los costos de construcción se justifica ampliamente por la sensible reducción de los costos de funcionamiento que es posible

lerrar, tal como lo demuestran las estimaciones realizadas.

Por otra parte, el sistema de captación solar propuesto puede llegar a responder adecuadamente a los tres problemas que se intenta resolver:

1. la alta resistencia térmica propia mejora el régimen de pérdidas ante el rigor del clima, respecto a otros sistemas solares pasivos.
2. la escasa masa térmica del panel hace que funcione ante el menor aporte solar, en un clima inestable y de baja radiación.
3. la ausencia de mecanismos móviles de protección y la automatización de su funcionamiento, lo independizan de un acertado o inoportuno manejo por parte del usuario, lo que lo hace adecuado para planes masivos de vivienda.

A partir de esta experiencia se plantearán otros prototipos de vivienda aptos para planes del FONAVI, con la idea de prefabricar el sistema captor. A tal fin comenzará a ensayarse un panel piloto construido por el CEB, para evaluar detalladamente su funcionamiento y optimizar su diseño.

#### COLABORACIONES

Los autores agradecen a los demás integrantes del Centro de Estudios Bioambientales por las ideas y el apoyo brindado, y especialmente la colaboración de las Arqs. L. Bracalenti, P. Mosconi y P. Medina, en el anteproyec-

to de la vivienda, y del Ing. R. Farditti en el diseño del sistema de control automático del panel.

#### REFERENCIAS

- (1) D. Perone, E. Di Bernardo y N. Cannelli. "Economía de energía y aprovechamiento solar en Esquel". Facultad de Arquitectura (UNR) publicación interna 1983.
- (2) Crivelli y Pedregal. "Cartas de radiación solar global en la República Argentina". Meteorológica vol. III 1972.
- (3) Datos proporcionados por el proyectista, Arq. Héctor Elena, radicado en la ciudad de Esquel.
- (4) Servicio Meteorológico Nacional. "Estadísticas Climatológicas 1951-1960".
- (5) R. Piacentini, B. Podadera, R. Saffino y J. Elicabe Urriol. "Locales de habitabilidad intermitente con calefacción solar". Presentado en la 9ª Reunión de ASADES 1984.
- (6) J. Borgato. "Calefacción solar directa". Facultad de Arquitectura (UNR) publicación interna 1981.
- (7) D. Perone y E. Di Bernardo. "Anteproyecto de vivienda suburbana con sistemas pasivos de acondicionamiento". Presentado en la 9ª Reunión de Trabajo de ASADES 1984.

