

**PROYECTO DEMOSTRATIVO:
VIVIENDA SOLAR DE BAJO CONSUMO ENERGETICO
CASA FUENTES-LOPEZ, BARILOCHE, RIO NEGRO**

Silvia de Schiller y John Martin Evans
Centro de Investigación Hábitat y Energía,
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
CIHE-FADU-UBA, Pabellón 3, piso 4, Ciudad Universitaria, (1428) Cap. Fed.
Te: 011 4789-6274 Fax: 011 4576-3205 E-mail: schiller@fadu.uba.ar

RESUMEN - La casa Fuentes-López, situada a 18 km de Bariloche, es un proyecto demostrativo de integración de sistemas solares en arquitectura, diseñada para un comitente real en el marco del Programa de Asistencia Técnica del Centro de Investigación Hábitat y Energía. Los componentes de la vivienda, compacta y abierta al sol, cuentan con excelentes espesores de aislación térmica que permiten superar significativamente el Nivel A establecido en la Norma IRAM 11.605. Se incorpora además gran inercia térmica en paredes a fin de almacenar el calor de los sistemas solares pasivos y activos, adicionalmente a moderar las temperaturas interiores en verano. Se proyectaron tres sistemas solares pasivos: ganancia directa, muro acumulador e invernadero, y un sistema activo de almacenamiento de calor del invernadero en lecho de piedras, y dos sistemas activos: paneles fotovoltaicos y colectores solares planos para calentamiento de agua. Este trabajo presenta las estrategias de diseño y características térmicas.

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética, sistemas solares pasivos, vivienda solar, climas fríos, fotovoltaicos en arquitectura, energía y forma.

INTRODUCCION

La casa Fuentes-López se encuentra a 18 km de la Ciudad de San Carlos de Bariloche, latitud 41°S, a 950 m de altura, en la zona peri-urbana hacia el N, con vistas a las montañas al S y el Parque Nahuel Huapi. El comitente, la familia Fuentes-López estableció como objetivo fundamental de proyecto una vivienda de bajo impacto, energéticamente eficiente y aprovechamiento de energía solar para calefacción, agua caliente y electricidad. Este trabajo presenta las características térmicas y solares de la vivienda, así como las estrategias bioclimáticas de diseño empleadas.

Objetivos: El programa de la vivienda, para un matrimonio joven de científicos con cuatro hijos, previó un espacio central para estar-comedor-cocina como centro de la vida familiar, especialmente en invierno, y estudio y oficina para los padres. Aunque los dormitorios principales también se ubican en la planta baja, se cuenta con una zona intermedia para los niños, de clara separación física entre las dos áreas. La planta alta, concebida inicialmente como espacio abierto y de uso múltiple, se compartimentó sin dificultad en dormitorios adicionales y estudios, aprovechando la flexibilidad planteada.

Terreno: con un frente de 55 m y 134 m de largo, el terreno tiene pendientes fuertes con bosques y cañaverales, con 20 m de diferencia entre la entrada y el centro, la zona más alta, donde se ubica la vivienda, con 18 m de pendiente hacia la parte posterior del lote. Los reglamentos locales permiten la tala de un número mínimo de árboles para ubicar la vivienda, factor respetado y considerado para la implantación y conformación de la vivienda. Los retiros laterales, de 7,50 m cada uno, y el retiro de fondo, de 60 m, junto con las pendientes y árboles existentes fueron condicionantes determinantes para lograr buen acceso solar. (Figura 1).

Clima: Bariloche, con 3600 grados días, base 18°C, tiene una temperatura mínima de diseño de -5.8°C, y en el terreno, la nieve es frecuente debido a la altura y distancia del lago. Las horas anuales de sol corresponden a 40 % del total, con días nublados y lluviosos distribuidos durante todo el año. Sin embargo, la radiación solar en verano es intensa, debido a la altura, alcanzando temperaturas estivales máximas de 24°C.

FACTORES ESPECIFICOS

Estructura sísmo-resistente: Dado que la vivienda se ubica en una zona de potencial actividad sísmica, el proyecto incorpora una estructura sísmo-resistente importante con el fin de resistir las posibles fuerzas generadas por los elementos de gran masa requerida para el almacenamiento de calor de los sistemas solares activos.

Materiales de construcción: Otro factor de preocupación fue la selección de materiales de bajo impacto y forma de provisión. La aislación térmica fue enviada desde Buenos Aires y las aberturas fabricadas en Bariloche, después de evaluar productos y costos provenientes de Buenos Aires y Neuquén. Aunque piedra y madera local fueron materiales seleccionados preferentemente, la disponibilidad, costo y calidad de los productos, así como plazos de entrega, también fueron considerados.

Mano de obra local: Aunque la escasa experiencia en construcciones super-aisladas fue una preocupación inicial importante, los resultados demuestran que tanto el contratista como los obreros respetaron las condiciones con cuidado especial, mostrando interés en las indicaciones específicas, necesarias especialmente para lograr una buena colocación de los materiales aislantes.

Clima: Las condiciones climáticas muy desfavorables y rigurosas, limitan el desarrollo de la construcción en invierno, mientras la época de turismo en verano también influye en la disponibilidad de mano de obra calificada. A fin de superar ese obstáculo, fue necesario iniciar la etapa de construcción de cimientos y estructura en primavera y completar la obra gruesa en otoño, antes de la época invernal.

SIMULACIONES SOLARES

Se realizaron estudios del terreno y de alternativas de diseño con maquetas en el Heliodón del CIHE y con el IMAP in-situ, poniendo especial cuidado en definir la ubicación y forma de la vivienda con el fin de aprovechar un claro existente en el bosque en un sector con adecuada pendiente, aunque contemplando 2m de diferencia de altura del terreno en distintos sectores de la planta de la casa. El IMAP fue utilizado para medir las horas potenciales de exposición al sol con los árboles existentes, y permitir una buena captación de asoleamiento invernal en la fachada N de la vivienda, entre las orientaciones NE a NO, con una altura del sol de 26° al N y 19° al NE y NO.

El acceso vehicular, construido por el comitente con anterioridad al proyecto, resulta la única vía factible que evita la tala de arboles y responde a las pendientes existentes con mínimo movimiento de tierra. Los espacios exteriores, destinados a huerta y frutales, juegos, estacionamiento y descanso, fueron planteados en terrazas alrededor de la vivienda según orientación preferencial, nivel de asoleamiento, pendientes y condiciones del suelo. Los estudios de proyección de sombras y captación de sol según la hora del día y estación del año contribuyeron a definir con claridad estas posibilidades de acceso, habitabilidad y uso de espacios exteriores y evidenciar las alternativas de vinculación funcional con la vivienda.

FORMA EDILICIA

Para definir la forma edilicia y volumetría de la vivienda se realizó una serie de diseños alternativos y respectiva evaluación del comportamiento ambiental de cada caso, con el fin de seleccionar opciones que mejor respondan a los requerimientos funcionales y térmicos, adicionalmente a la integración de sistemas solares. Maquetas en escala de seis proyectos alternativos fueron desarrollados y ensayados en el Heliodón, analizando las ventajas y desventajas de cada propuesta con el comitente y su familia en Bariloche, antes y después de visitar conjuntamente el terreno, favoreciendo la participación activa en las decisiones de diseño.

Como resultado de este proceso, la alternativa elegida combina la forma edilicia compacta que disminuye las pérdidas de calor con óptima exposición de las superficies de captación hacia el N, lograda al combinar la forma V, con las caras internas orientadas al NE y NO, y una planta rectangular con la mayor dimensión se orienta al N. La fachada N incorpora un importante invernadero como elemento central de la casa. Todas las habitaciones principales en la planta baja tienen ventanas orientadas al N, NE y NO, con excepción de un dormitorio orientado al O (Figura 1). El hall de entrada, baño y lavadero están agrupados en la fachada S con aventanamientos reducidos para controlar pérdidas. El agrupamiento de los locales húmedos simplifica las instalaciones y recorridos de conductos. El techo de la cochera con pendiente al S proporciona protección de viento y lluvia a la entrada.

El techo presenta una forma sencilla a dos aguas con pendientes al N y S, evitando encuentros de difícil resolución constructiva y puentes térmicos, al mismo tiempo que permite recolectar agua de lluvia e integrar colectores solares y paneles fotovoltaicos.

SISTEMAS SOLARES

La fachada N incorpora tres sistemas solares pasivos:

- **Invernadero:** este gran volumen se vincula térmicamente al interior de la vivienda por cuatro mecanismos complementarios de transferencia de calor:
 - 1) Convección forzada al lecho de piedras debajo de las áreas del estar.
 - 2) Convección natural a través de ventanas practicables.
 - 3) Radiación directa a través de ventanas cerradas fijas.
 - 4) Transmisión con demora de la onda de calor a través de muros de gran capacidad térmica.La superficie nominal expuesta al N es aproximadamente 48 m².
- **Ganancia directa:** a través de aberturas con orientaciones favorables para la captación de radiación en invierno, ubicadas en la cocina, comedor, dormitorios en planta baja y aberturas en planta alta, con una superficie nominal de 7,50 m².
- **Muros acumuladores:** dos paneles de mampostería densa con vidrio fijo exterior sobre la fachada N, con un alero que proporciona sombra en verano. Superficie nominal expuesta al N: 16 m².

La pendiente del techo orientado al N, con una inclinación de 40°, incorpora dos sistemas solares adicionales:

- **Paneles fotovoltaicos:** una superficie de 10 m² con paneles de silicio amorfo alimenta un sistema conectado a la red convencional de energía eléctrica. Este dimensionamiento permite un máximo aprovechamiento de la energía generada y un mínimo de exportación a la red, de acuerdo a los costos locales desfavorables.
- **Colectores solares planos:** para el calentamiento de agua, se emplean colectores planos montados sobre el techo y conectados a través de un sistema activo a un tanque de 250 litros ubicado en la planta alta.

INVERNADERO

El invernado de grandes dimensiones con orientación N es un elemento clave en el proyecto y responde a los siguientes objetivos térmicos y funcionales:

- Adicionalmente al aporte de los muros acumuladores y de la ganancia directa, el aire caliente de sector superior del invernadero es transferido, mediante un ventilador con termostato, al lecho de piedras, fuente de calor nocturno.
- El volumen actúa como espacio-tapón, reduciendo las pérdidas de calor en días nublados o ventosos.
- El invernadero proporciona además un espacio adecuado para cultivo de plantas, protegido de las heladas, aunque las temperaturas llegaran a valores bajos en las noches frías de invierno.
- Este espacio intermedio es apto para actividades familiares cuando las condiciones exteriores son desfavorables, ofreciendo protección de la lluvia, nieve, viento y bajas temperaturas, así como captación de sol en días fríos.
- El techo del invernadero también contribuye a la recolección de agua de lluvia.

Sin embargo, es importante tener en cuenta la intermitencia de uso de este espacio, aunque espacialmente muy atractivo, debido a las grandes variaciones de temperatura.

Tanto el diseño como la forma volumétrica del invernadero responden a los siguientes objetivos:

- Área cubierta máxima que proporciona espacio para actividades y cultivo de plantas.
- Forma de la envolvente que minimiza la superficie expuesta al aire exterior.
- Superficie máxima expuesta al sol invernal favorable del N.
- Buena exposición del muro captador en invierno, con protección estival proporcionada por el alero y el balcón.
- Espacio de doble altura que favorece estratificación para alimentar el lecho de piedras en invierno y reducir discomfort estival.

Cinco estrategias fueron incorporadas en el diseño del invernadero con el fin de controlar el sobrecalentamiento estival:

- **Estratificación:** para disminuir el impacto a altas temperaturas a bajo nivel.
- **Balcón en planta alta:** proporciona sombra estival sobre ventanas con orientación N en la planta baja.
- **Ventanas de abrir** en los niveles superiores: permite la salida de aire caliente mientras las puertas y ventanas de los niveles inferiores permiten la entrada de aire más fresco, por 'efecto chimenea'.
- **Toldo interior:** modera el impacto de la radiación directa sobre los habitantes y disminuye las ganancias.
- **Aislación** térmica y aventanamientos con doble vidrio sellado herméticamente, disminuyen ganancias estivales y pérdidas invernales en el interior de la vivienda.

AISLACION TERMICA

La Norma IRAM 11.605 (1996) modifica los valores admisibles de transmitancia térmica y establece tres niveles o categorías: **A**, Recomendado; **B**, Intermedio; y **C**, Mínimo. Esta vivienda se destaca por superar el nivel **A**, con espesores de aislante térmico cuatro veces mayor que los necesarios para cumplir con el nivel **C**. El **techo** requiere una transmitancia térmica mínima de 0.26 W/m²K para cumplir con nivel A. Se logra aun menor transmitancia con la incorporación de 200 mm de poliestireno expandido, 150 mm entre los cabios del techo y 50 mm entre los clavaderos, solución constructiva que ofrece las siguientes ventajas:

- No se requiere madera adicional para formar las capas donde se inserta el material aislante.
- Las maderas de techo no están a la vista, permitiendo el uso de maderas más económicas sin cepillar.
- La terminación interior continua de machimbre, interrumpida solamente por las cabriadas principales ofrece una superficie atractiva de fácil mantenimiento.
- Los cabios y clavaderas, colocados perpendicularmente uno al otro, minimizan los puentes térmicos.

Como preferencia, la aislación de celulosa de baja densidad fabricada de papel reciclado evitará el uso de materiales basados en hidrocarburos, aunque todavía no se dispone en Argentina.

Tabla 1. Aislación térmica del techo

Capas constructivas	Espesor (mm)	Conductividad (W/mK)	Resistencia (m ² K/W)
Superficie exterior	-	-	0,04
Chapa acanalada galvanizada pre-pintada	1	80	0,00
Cámara de aire formada por listón de yesero	15	-	0,11
Barrera de viento 'respirable', Tipo Tyvek	< 1	-	-
Poliestireno expandido, densidad 15 kg/m ²	200 (150 + 50)	0,037	5,41
Barrera de vapor	<1	-	-
Machimbre	15	0,12	0,12
Superficie interior	-	-	0,10
Total	230	-	5,78
Transmitancia térmica	= 1 / R	= 1 / 5,78	0,174 W / m²K

El muro requiere un transmitancia térmica de 0,30 W/m²K o menor para alcanzar el nivel A, según la temperatura mínima de diseño. En este caso, se obtiene un valor menor de 0,21 W/m²K con 150 mm de aislación, una capa interior de ladrillo macizo y terminación exterior de madera (Tabla 2): con puentes térmicos en valor medio de la transmitancia es 0,22 W/m²K.

La construcción planteada no solo ofrece excelentes niveles de aislación térmica sino también las siguientes ventajas:

- 2 capas de aislación colocadas entre maderas de 75 mm x 75 mm, fijadas en forma ‘trabada’ evitan los puentes térmicos. Las maderas utilizadas provienen de los puntales de los encofrados.
- Se obtiene un retraso térmico de 7 horas, mejorando el confort interior en verano y periodos fríos en invierno.
- La admitancia alcanza a 5.1 W/m²K, permitiendo el almacenamiento eficaz de las ganancias solares diurnas.
- Los ladrillos pintados y con azotado denso son menos permeables que la terminación exterior de machimbre, evitando riesgo de condensación, aun sin barrera de vapor.

La pared de ladrillos fue construida primero, permitiendo continuar con las obras interiores durante el invierno y postergando las terminaciones exteriores hasta el verano.

Tabla 2. Aislación térmica de los muros, según la Norma IRAM 11.601 (1996).

Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/mK)	Resistencia (m ² K/W)
Superficie exterior	-	-	0.04
Machimbre	15	0.12	0.12
Cámara de aire formada por listón de yesero	5	-	0.11
Barrera ‘respirable’ impermeable tipo Tyvek	< 1	-	-
Poliestireno expandido, densidad 15 kg/m ²	150	0,035	4.29
Azotado de cemento	15	1.16	0.01
Ladrillo macizo de ladrillón	120	0,81	0,15
Superficie interior	-	-	0.12
Total	335	-	4,84
Transmitancia térmica	= 1 / R	= 1 / 4,84	0,21 W / m²K

COCIENTE VOLUMETRICO DE PERDIDAS DE CALOR

El coeficiente volumétrico de pérdidas de calor **G** es menor a 1,21 W/m³K, solamente 15 % menor al valor máximo admisible de 1.4 W/m³K para una vivienda de este volumen en Bariloche, según la Norma IRAM 11.604 (1997). Aplicando la metodología de la Norma IRAM 11.604, con 2 renovaciones de aire por hora, 56 % de las pérdidas corresponden a la ventilación. Considerando la calidad de las aberturas seleccionadas, con hojas de abrir de doble contacto, se puede obtener solamente 0,7 renovaciones por hora, reduciendo el valor de **G** a 0,75 W/m³K. El cálculo de G (Tabla 3) no incluye el valor aislante del invernadero, que será realizado en una etapa posterior de la construcción. Es importante notar que, con la incorporación del invernadero y el control de infiltraciones, el valor de G disminuye a 0,73 W/m³K.

Tabla 3. Cociente volumétrico de pérdidas de calor, según la Norma IRAM 11.604: 1997

Elementos	Orientación	Superficie	Transmitancia K	Pérdidas	% pérdidas
Pared aislada	Pared N	10	0,21	2,10	5 %
	Pared E y O	116	0,21	24,36	
	Pared S	65	0,21	13,65	
Muro acumulador	Norte	16	1,20	19,20	9 %
	Inver: N, NE y NO	24	(1,43) 1,86	(34,32) 44,64	
Ventanas	Ventanas N	9	3,23	29,07	19 %
	Invernadero	12	(2,38) 3,23	(28,60) 38,76	
	Ventanas E y O	16	3,23	51,68	
	Ventanas S	5	3,23	16,15	
Techo	Inclinado, N y S	156	0,17	26,52	4 %
Piso	Perímetro	52	(Lineales) 1,00	52,00	7 %
Ventilación	Volumen	600	(0,7) 2 renov/hr 0,34	(143,00) 408,00	56 %
Total				726,33	100 %
Cociente ‘G’	Pérdidas / volumen 726,33/ 600			1,21	100 %
Con invernadero	(Valores entre parentesis)		705,84 / 600	1,18	97 %
Control infiltración	(Valor entre parentesis e <i>italico</i>)		440,84 / 600	0,73	60 %

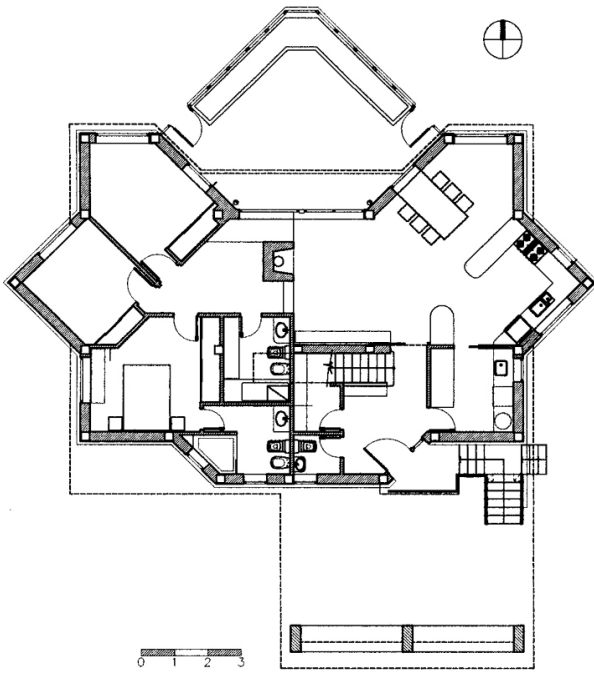


Figura 1. Planta Baja

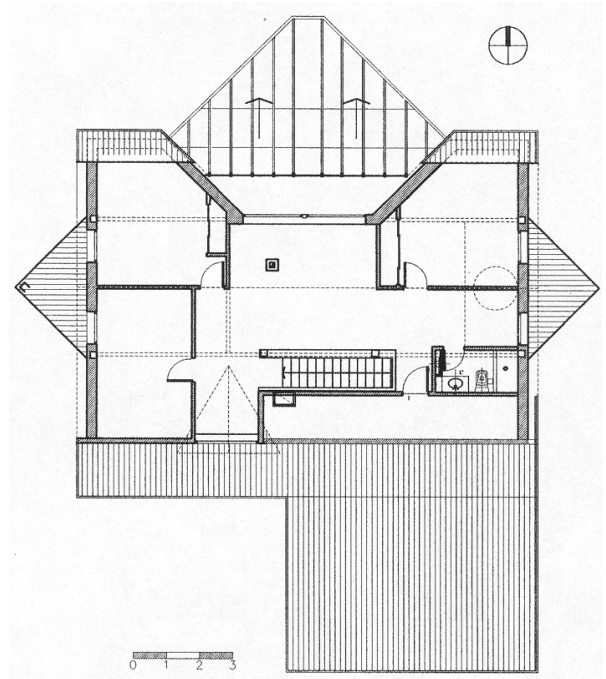


Figura 2. Planta Alta

Figura 3.
Corte Norte – Sur

A la izquierda, sur, la cochera y entrada, con leñera, depósito y bodega.
A la derecha, norte, el invernadero con el sistema activo con ventilador y conducto hacia el lecho de piedras.

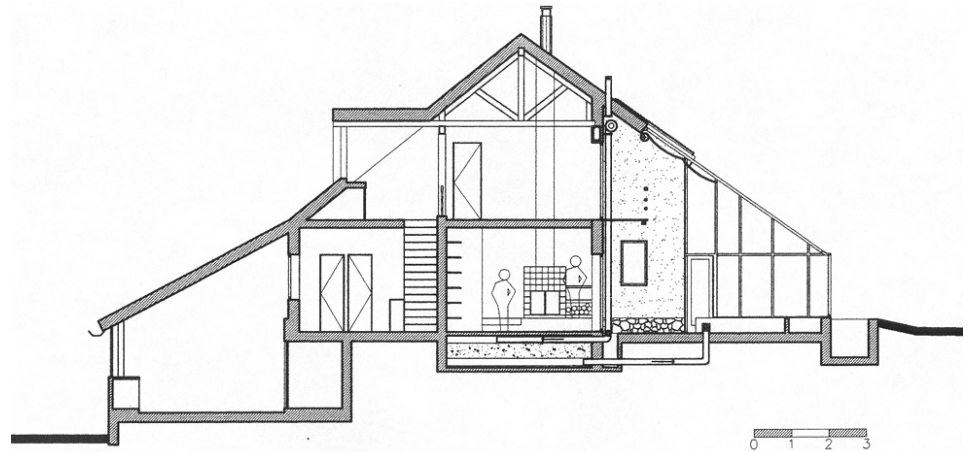


Figura 4.
Vista desde el NE

Los paneles solares planos para calentamiento de agua se ubican a ambos lados de la pendiente N del techo y los módulos fotovoltaicos en el sector central del mismo.



ZONIFICACION TERMICA

Las salas principales, circulaciones y espacios de servicio de la vivienda están ubicadas según las relaciones funcionales y el comportamiento térmico. En la **planta baja**, el estar y dos dormitorios tienen orientaciones favorables para captar el sol invernal (N, NE y NO). El comedor, estar y un dormitorio tienen ventanas que permiten el ingreso de aire caliente del invernadero. Sin embargo, todos estos espacios también ventilan directamente hacia el exterior. Los locales de servicio, lavadero, toilet, baño y hall de entrada se agrupan hacia el S, formando un espacio tapón. El invernadero y cochera cubierta también protegen las entradas del viento y la lluvia. Las paredes interiores, de ladrillo (1600 kg/m³) y hormigón (2000 kg/m³), también proporcionan capacidad térmica adicional con el fin de almacenar las ganancias solares en invierno y controlar las temperaturas pico en verano. Todos los espacios de la vivienda fueron proyectados para recibir iluminación natural, a pesar de la gran compacidad volumétrica y plantas profundas. Se incorporaron lumiductos para conducir la luz desde el techo hacia los baños interiores, con mínimas pérdidas de calor. Ambos conductos también proporcionan ventilación. En la **planta alta**, el espacio abre hacia el invernadero. Los locales laterales de estudios y dormitorios tienen orientación E y O, con sol de la mañana y tarde respectivamente. Debido a la intensidad del sol estival, los tamaños de las aberturas al oeste son controlados. Al sur, los espacios bajo techo de limitada altura se utiliza para almacenamiento, formando un espacio tapón, sin cambiar el espesor de la aislación térmica.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de una vivienda solar energéticamente eficiente requiere especial esfuerzo por parte del comitente y proyectista con el fin de lograr los objetivos fijados. El enfoque arquitectónico, enfatiza la importancia de evaluar alternativas en las etapas iniciales de proyecto, antes de verificar decisiones al final de un proyecto consolidado, cuando la posibilidad de modificar aspectos fundamentales es muy limitada. Por otro lado, la activa participación del usuario en la toma de decisiones, tanto de definiciones espaciales como de su implicancia en el uso y operación del edificio construido, constituye un entrenamiento relevante en la práctica proyectual.

Tuvieron primordial importancia los estudios del comportamiento y rendimiento térmico y su dependencia con el factor de forma, la relación entre forma edilicia y volumen, adicionalmente a las características térmicas de la envolvente. En este proyecto se logran excelentes resultados dado los espesores de aislantes livianos empleados y la forma compacta. Sin embargo, el valor de G es solamente 15% menor que el máximo admisible, según la Norma IRAM (1996). Se observa, por lo tanto, que los valores de la Norma 11.604 son sumamente exigentes.

Nota: El proyecto se encuentra en etapa avanzada de construcción, habiéndose completado: estructura, obra gruesa, instalaciones y cubierta. Los colectores planos, lecho de piedra y elementos de sistemas solares están instalados, con excepción del invernadero.

RECONOCIMIENTOS

Especial mención merece la participación del Dr Manuel Fuentes, comitente y promotor del proyecto demostrativo, quien además contribuyó en el diseño, cálculo e instalación de los sistemas solares. Los siguientes miembros del CIHE participaron en distintas etapas: Arqts. Leandro Heine, Ariel Cavilli, Fabiana Palmero y Javier Sartorio en la etapa inicial; Julian Evans en la elaboración de maquetas de estudio, realización de registros y ensayos en laboratorio; el Arq. Alejandro Perez en la documentación y el Arq. Claudio Delbene, a cargo de la dirección de obra. Los estudios iniciales y el anteproyecto se enmarcan en el Programa de Asistencia Técnica en Arquitectura Bioambiental del CIHE y la Dirección de Relaciones Institucionales de la FADU-UBA.

REFERENCIAS

- Norma IRAM 11.601 (1996), Acondicionamiento térmico de edificios, métodos de cálculo, propiedades térmicas de los componentes de construcción en régimen estacionario, IRAM, Buenos Aires.
- Norma IRAM 11.604 (1998), Acondicionamiento térmico de edificios, ahorro de energía en calefacción, coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor, cálculo y valores límites, IRAM, Buenos Aires.
- Norma IRAM 11.605 (1996), Acondicionamiento térmico de edificios, condiciones de habitabilidad en edificios, valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, IRAM, Buenos Aires.

SOLAR & LOW ENERGY DEMONSTRATION PROJECT: THE FUENTES-LOPEZ HOUSE, BARILOCHE, RIO NEGRO

ABSTRACT - The Fuentes-Lopez House, situated 18 km from Bariloche, is a demonstration project promoting the integration of solar systems in architecture, designed in the framework of the Technical Assistance Programme of the Research Centre Habitat & Energy. The elements of the house, compact and open to the sun, incorporate excellent thermal insulation values significantly exceeding Level A established in the National Standard IRAM 11.605. Heavy mass walls are used to store heat from the passive and active solar systems as well as improving comfort in summer. Three passive solar systems are used: direct gain, accumulating wall and sun-space, as well as an active system to store heat from the sun space in a rock bed, photovoltaic panels and flat plate collectors for hot water. The paper presents design strategies and thermal characteristics of the house now nearing completion.