

PROYECTO DE VIVIENDA SOLAR EN UN MICROCLIMA DE LA PROVINCIA DE SAN LUIS

¹C.Filippin, ²J.Follari, ²L.Odicino y ²D. Perelló

¹CONICET – ²U.N. San Luis
Lab. De Energía Solar – Chacabuco y Pedernera 5700 San Luis
Tel. 02652-425109 Int. 103 follari@unsl.edu.ar

RESUMEN Se presenta el diseño, la evaluación térmica y la modelización de una vivienda solar a construir en un microclima de la provincia de San Luis a 15 km de su capital. Las pautas de diseño fueron: climatización natural y optimización del uso de la energía. Áreas funcionales perfectamente definidas y una pileta de natación cubierta climatizada naturalmente integran la superficie total diseñada. Renovaciones de aire diferenciadas por área funcional, una envolvente energéticamente eficiente, desarrollada con tecnología local, y ganancia solar directa permiten obtener una fracción de ahorro solar del 90%. Un comportamiento térmico satisfactorio muestra la modelización realizada para el mes de junio. La acumulación prevista es adecuada para satisfacer un salto térmico de 2° C.

ABSTRACT The article presents a design and the thermal evaluation of a solar low-energy house located in a microclimate of the province of San Luis in the semiarid region in Argentina. The guidelines were: natural climatization, comfort and efficient use of energy. Functional areas with clear definition and natural conditioning and covered swimming pool make up the needs of the owner. Of compact design, it houses 200 m² of useful floor area in a roughly linear scheme, with the main spaces facing north and ancillary in the south. An integrated sunspace is incorporated into the centre of the north facade, providing additional heat to inner spaces as well as functional and visual expansion. Different air changes according to functional areas and habits of use, an insulated envelope and direct solar gain allow to obtain a 90% of solar savings fraction. Based on the results of the simulation analysis and the thermal evaluation it has been concluded that the thermic performance is satisfactory and thermal storage mass is adequate to satisfy the thermal jump.

Palabras clave: Vivienda Solar Microclima San Luis

INTRODUCCION

Se presenta el diseño, balance térmico y modelización de una vivienda solar. El trabajo responde a las exigencias académicas del módulo de integración de la Maestría en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Salta. El diseño satisface los requerimientos de uno de los integrantes del grupo de trabajo quién plantea la necesidad del uso de estrategias solares para calentar, refrescar e iluminar su vivienda. La tecnología deberá incluir el uso de materiales disponibles localmente. Otra de las pautas iniciales de diseño fue la incorporación de una pileta de natación cuyo ambiente y agua deberán ser climatizadas naturalmente. Todas las áreas funcionales se ubicarán en el mismo nivel. Las áreas de estar y descanso estarán perfectamente definidas. Respecto a sus hábitos de vida, el usuario considera que tiene una disciplina internalizada del uso de la tecnología solar. En función de las actividades de la familia las renovaciones de aire son diferentes según las áreas funcionales. Se estima un uso promedio diario de la pileta de 2 ½ hs.

Localización geográfica

La localidad de Las Chacras, está ubicada a 15 km de la Ciudad de San Luis (Latitud 33° 17' Sur y Longitud 63° 20' Oeste), con una altura sobre el nivel del mar de 900 m aproximadamente.

Caracterización climática.

Por ser una zona de montañas, correspondiente a las estribaciones de las sierras de San Luis o Centrales, está protegida de los vientos dominantes. Por carecer de datos in situ, hemos supuesto una disminución de 2° C respecto a los valores medios para San Luis (Follari et al 1993). Esto hace una temperatura media en invierno de 7° C. y de 23° C. para el verano en dicha localidad y con vientos menores de 4,7 m/seg. La radiación media anual es de 17,09 MJ/ m² día, la misma que para San Luis. Las mínimas extremas pueden llegar a -12ª en invierno y las temperaturas diurnas son prácticamente iguales a las de San Luis, las nocturnas son de hasta 4° inferiores a las de San Luis estos valores han sido medidos, aunque no existen medidas sistemáticas.

DISEÑO Y TECNOLOGIA

Las estrategias de climatización natural que se plantean son: para invierno el uso de ganancia solar directa y para verano,

¹ Investigador del CONICET

ventilación natural de los espacios y protección solar. Tecnológicamente se plantea el uso de materiales locales en envolventes energéticamente eficientes (Czajkowski y Gomez 1994).

Disposición interior

El edificio desarrollado en un eje este - oeste ubica al norte el estar - comedor, dormitorios y patio de invierno. El área de servicios y circulación al sur. La pileta de natación cubierta, en un núcleo separado, y hacia el sur, se conecta con la vivienda a través de un tabique translúcido. Su diseño permite un aprovechamiento óptimo del sol en invierno.

Las paredes exteriores involucran tres elementos, la pared interior, portante y acumuladora, de ladrillón con un espesor de 0,18m, la aislación de poliestireno expandido de 0,05m y un tabique de ladrillón, como protección mecánica. Para la cubierta se establecen dos tipo: A y B. La cubierta A, de chapa galvanizada, incluye aislación térmica de 0,08m de espesor y un cielorraso de madera machihembrada. La cubierta B, formada por una estructura resistente de hormigón armado, una capa de poliestireno expandido de 0,07m de espesor, un contrapiso de pendiente de hormigún pobre de 0,15m de altura promedio y una capa exterior de mortero, de base para la colocación de la membrana hidrófuga. Las fundaciones perimetrales incluyen aislaciones de 0,05m de espesor, como continuación del poliestireno expandido de las paredes exteriores. La carpintería exterior es de madera maciza en toda la vivienda, excepto en el patio de invierno en donde el área transparente es de policarbonato alveolar de 16 mm. Las ventanas llevan doble vidriado hermético y cortina de enrollar. La Tabla 2 muestra la resistencia térmica de cada componente. El piso esta elevado 40 cm con arena seca que contribuye a la capacidad térmica de la vivienda.

Las superficies de ventanas de los dormitorios es de 3 m² c/u, de 18 m² en el estar y de 12 m² el hall. Esta es una primera hipótesis de cálculo que luego se ajustará en superficie y finalmente se combinará con muros Trombé para ajustar la iluminación interior.

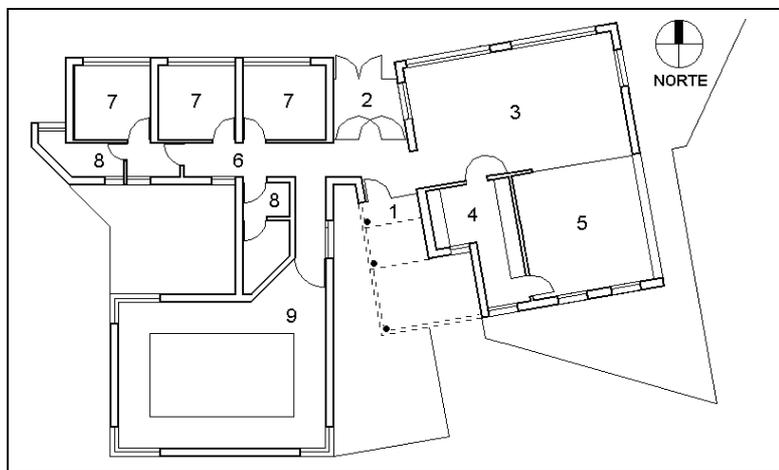


Fig. 2: Planta, 1: acceso- 2: patio de invierno- 3: estar comedor- 4: cocina- 5: garage- 6: paso- 7: dormitorios- 8: sanitarios- 9: pileta de natación

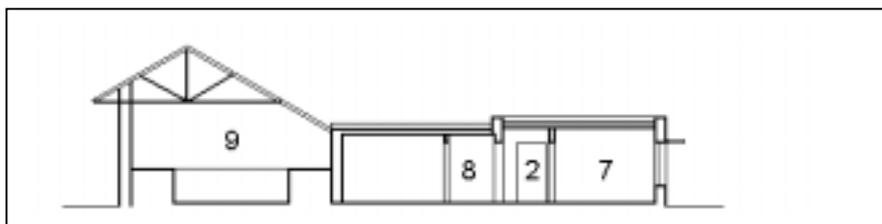


Fig. 3: Sección transversal. 2: paso – 7: dormitorios – 8: servicios – 9: pileta de natación

Tecnología

Tabla 2: Resistencia térmica de la envolvente en °C m²/W

Vertical	Superior		Fundaciones	Carpintería
	Tipo A	Tipo B		
1,72	2,27	2,25	1,28	0,4

BALANCE TÉRMICO

En función de los hábitos de la familia se consideran dos alternativas, renovación de 1,5 en toda la vivienda las 24 hs, y renovación parcial según área funcional.

A) para una renovación total de 1,5

B) En función del balance de superficies de la envolvente y sus respectivos indicadores térmicos se calculan las pérdidas de cada componente. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3: Pérdidas diarias a través de la envolvente

Componente	Superficie (m2)	K (W/m2 °C)	Q (W/°C)
Paredes	134	0,58	77,72
Cubierta A	126	0,44	55,44
Cubierta B	87	0,445	38,3
Fundaciones		0,78	41,53
Carpintería	39	2,50	97,5
Renovaciones			325
TOTAL			635,5

Considerando una temperatura interior base de 18 °C y una temperatura media de invierno para la región en estudio de 7°C corresponde un total de 604 MJ de pérdidas diarias. Según el modelo de Liu Jordan corresponde, para invierno, un aporte solar de 12,35 y 13,28 MJ/m2, sobre superficies con pendientes a 90° y 30° respectivamente. El diseño involucra 23 m2 y 10 m2 de áreas efectivas al norte con 90 y 30° de pendiente, respectivamente. Para una transmitancia del 80% las ganancias solares, para el período invernal, son de 333,4 MJ diario. Para la presente situación en estudio, el aporte auxiliar de calor es de 5,4 kg de gas envasado por día. Una temporada invernal de 120 días con los valores medios de la situación más desfavorable, requiere, en función de la temperatura base de 18°C, 14,5 tubos de gas de 45 kg de propano - butano. Para una situación de condiciones meteorológicas normales la demanda de calefacción convencional se aproximaría a la mitad de la estimación hecha. El calculo se realizó suponiendo las condiciones más desfavorables de la época invernal, condiciones que se atenúan hacia el otoño y primavera, a esto último llamamos condiciones meteorológicas normales.

B) para una renovación parcial según áreas funcionales

Según los hábitos de vida del usuario y su esposa, los cuales tiene muy internalizados los hábitos de uso de las tecnologías solares, las renovaciones serán zonificadas y sólo el 70% del tiempo el aire se renovará. El estar se usará no más de dos horas diarias, los dormitorios entre 8 y nueve horas y los servicios y circulación dos horas, el garaje se abrirá durante cinco minutos dos veces al día. Teniendo en cuenta este esquema y cierres de buena calidad (madera de doble contacto y burlete), se hacen las suposiciones de renovaciones que se muestran en la tabla cuatro. Se recalculan las pérdidas energéticas, en función del nuevo análisis según los hábitos de vida. La Tabla 4 muestra los requerimientos y resultados, en los cuales se han tenido en cuenta las renovaciones durante las horas de uso mas las debida a infiltraciones fuera de los horarios de uso.

Tabla 4: Renovaciones por área funcional según hábitos de vida

	Renovaciones	Horas	Total diario (m ³)
Estar	1	3	504
Garage	1	2	172
Dormitorios-Servicios-Circulación	1,5	12	2608
Total			3284

El volumen total de aire diario renovado corresponde a un cambio de 137 m3/h. Para un volumen total del edificio de 520 m3 correspondería una renovación horaria de 0,27. En función del nuevo valor de aire renovado, las pérdidas diarias se reducen a 369 W/°C (350 MJ diario). Para una ganancia solar diaria de 334,4 MJ, y una pérdida energética diaria de 350 MJ, la fracción de ahorro solar asciende al 95%.

FLUCTUACIONES DE LA TEMPERATURA PARA LA SITUACION B

En función del pre-diseño realizado y la tecnología adoptada se calcula la capacidad de almacenamiento. La temperatura diurna es:

$$T_d = \frac{1}{2} [T_{\max} + T_e] \quad (1)$$

Siendo:

T_{\max} , temperatura máxima exterior
 T_e , temperatura media exterior

Para un valor de 15° y 7° C, de temperatura máxima y media exterior, respectivamente, la temperatura media exterior durante las horas de sol es de 11° C. Se estiman las pérdidas durante las horas de sol (Q_p) en función de:

$$Q_p = \frac{1}{2} CTU [T_i - T_d] \quad (2)$$

Siendo:

CTU, carga térmica unitaria

T_i , 18°C + 2°C (T_i es la temperatura interior deseada sin aportes internos)

Para una CTU de 31,8 MJ/°C corresponde una pérdida diaria de 111 MJ. Siendo el aporte solar invernal de 333,4 MJ, el balance de energía diurno es de 222 MJ de ganancia térmica neta. Donde CTU es la carga térmica unitaria, es decir la energía necesaria para elevar en un grado la temperatura y surge de sumar las capacidades caloríficas de los 40 cm de arena seca bajo el piso más las paredes de mampostería.

Se calcula los requerimientos de acumulación, en función de:

$$Q_{\text{acumulación}} = Caci * A_i * \Delta T_i \quad (3)$$

Donde Caci es el coeficiente de intercambio de calor por unidad de área de la masa térmica de la vivienda.

La ganancia térmica requiere, para una fluctuación de 2° C y para un Caci de 0,37, un área de acumulación de 300 m². El área real de almacenamiento en el diseño es de 228 m² de pared interior y 208 m² de solado. Esto significa que el área establecida satisface ampliamente los requerimientos de masa acumuladora, permitiendo una fluctuación interior de aproximadamente 1,3 °C.

CALCULO TERMICO DE LA PILETA DE NATACION

Se plantea el balance térmico de una pileta de 6 x 3 m² construida en plástico reforzado con fibra de vidrio y protegida por una construcción de pared convencional aislada que se describe en forma separada. Se prevee un techo en policarbonato de 9,6m en la dirección este - oeste, y hacia el norte y 3,3 m en la dirección norte - sur con una inclinación de 30° respecto al plano horizontal. Para evitar las pérdidas de calor por evaporación la pileta será cubierta durante las horas que no se use con placas flotantes de policarbonato. En estas condiciones de operación, la pileta tendrá el siguiente balance térmico.

GANANCIA

La ganancia directa de energía por la pileta se describe con la siguiente ecuación:

$$G_{1,2} = \tau_1 * \tau_2 * \alpha * I * t_1 * t_2 * A \quad (4)$$

Siendo:

G_1 es la ganancia diaria de energía solar en las horas que no se usa la pileta (5,6 horas en invierno).

G_2 es la ganancia diaria de energía solar en las horas de uso de la pileta (2,4 horas en invierno).

τ_1 , la transmitancia del policarbonato en la cubierta superior (0,80)

τ_2 , transmitancia del policarbonato flotante (0,80)

α , es la absorbancia de la superficie del agua (0,80)

I , radiación global media diaria sobre superficie horizontal (9,6 MJ/m²)

A , área de la pileta (18 m²)

t_1 , fracción del día solar en que la pileta está con radiación directa (0,70=5,6 hs)

t_2 , fracción del día solar en que la pileta está en uso (0,30=2,4 hs)

Calculando de la ecuación [4], y en las dos situaciones :

$G_1=61.9$ MJ

$G_2=33.2$ MJ

Para G_1 y G_2 , corresponde un aporte total diario de 94,1 MJ.

El lucernario es de mayor área que la superficie de la pileta y se utiliza para calefaccionar a esta y al ambiente. Por ello el calculo se realiza sobre la radiación efectiva sobre la pileta, la cual estará totalmente soleada en el invierno durante las seis horas centrales de sol y parcialmente en las restantes.

PERDIDAS

Las pérdidas en la pileta se evalúan por conducción a través del piso y pared, por convección, por evaporación y por radiación.

a) *pérdidas por conducción, hacia abajo y hacia los costados.*

Dada la condición de aislamiento térmico del entorno de la pileta, en función de las áreas respectivas, y para una temperatura del agua de 25° C, y una temperatura ambiente media diaria de 26° C, corresponde:

$$Q \text{ por piso} = 345,6 \text{ kJ/día m}^2 * 18\text{m}^2 = 6,2 \text{ MJ}$$

$$Q \text{ por paredes} = 345,6 \text{ kJ/día m}^2 * 21,6 \text{ m}^2 = 7,5 \text{ MJ}$$

Estas pérdidas son debidas a que durante la noche, no está prevista calefacción extra.

b) *pérdidas hacia arriba*

b1) *por evaporación:*

Dado que se requieren 2,35 MJ para evaporar un litro de agua y en julio se disponen, un promedio de 9,5 MJ/día sobre el plano horizontal, se podrían evaporar, a lo sumo 4 litros diarios por metro cuadrado de superficie de pileta. Dado que el aire está quieto cuando la pileta está en uso y su temperatura es similar a la del agua, con humedad relativa alta, el aporte del aire a la evaporación del agua es mínima. Por ello estimamos en 3,5 l/m² como la máxima evaporación posible. El factor de utilización de la pileta es 0,1 (2,4 horas por día en promedio), el calor perdido por evaporación es:

$$Q \text{ evaporación} = 18 \text{ m}^2 * 8,2 \text{ MJ/día} * 0,1 = 14,76 \text{ MJ}$$

b2) *por radiación*

Siendo la constante de Stefan Boltzman, $\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4$ y la absortividad de la pileta $\alpha = 0,8$ el calor perdido por radiación es:

$$Q \text{ radiación} = A * \sigma * \alpha * (T_{\text{pileta}}^4 - T_{\text{pvc}}^4) * t = 28,8 \text{ MJ/día}$$

$$Q \text{ radiación} = 18 \text{ m}^2 * 1,7 \text{ Mj/día} = 30,6 \text{ MJ}$$

Donde t es el tiempo en segundos.

b3) *por convección*

Siendo h, el coeficiente convectivo del aire sobre la pileta de 5,8 W/m²°C, el calor perdido por convección es:

$$Q \text{ convectivo} = A * h * (T_{\text{pileta}} - T_{\text{ambiente}}) * t = 36 \text{ MJ}$$

En función de los resultados parciales las pérdidas totales son de 93,3 MJ. En función del aporte solar, el balance neto de la pileta es:

$$94,1 - 93,3 = 0,8 \text{ MJ}$$

Los cálculos indican que la pileta no necesita aporte extra de energía para ser usada en las condiciones propuestas y que alcanzará una temperatura de equilibrio aproximadamente a los 25° C.

BALANCE DE LOCAL PILETA

Se adopta la tecnología empleada en la vivienda para diseñar la envolvente vertical. La envolvente superior se resuelve con estructura de madera, aislación térmica, cielorraso de madera y cubierta de teja. Al conjunto corresponde una resistencia térmica de 2,2 °C m²/W. La ganancia solar directa se resuelve a través de un lucernario de policarbonato a 30° con un área de 31,5 m². La Tabla 4 muestra las pérdidas totales por envolvente.

Tabla 4: Pérdidas energéticas por envolvente

Componentes	Area (m2)	K (W/m2°C)	Subtotal (W/°C)
Pared	95	0,58	55
Cubierta	60	0,45	27
Lucernario	31,5	2,5	78,75
Fundación	30/1.54	0,78	15,2
Ventanas	12	2,5	30
Renovaciones	1,2 * 0,8 * 4,18 * 277,5 m ³ * 0,5		58
Total			264

De la tabla 4, las pérdidas totales en el día serían, 264 W/°C x 86400 seg x 15° C = 342 MJ.

Las pérdidas energéticas diarias por envolvente son de 342 MJ, que se incrementan con las pérdidas evaporativas del espejo de agua de 15 MJ. Las pérdidas totales son de 357 MJ. Las ganancias por lucernario son de 335 MJ. Para un ΔT de 15° C (22°

C - 7° C), los valores obtenidos indican que hay un balance a una temperatura media del ambiente entre 21 y 22° C, y del agua a 25° C a 26° C.

SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO

Para Junio, días medios y renovaciones, según áreas funcionales

Se incorporó los parámetros funcionales de la vivienda en un programa de simulación térmica de edificios (simedif) (Casermeiro y Saravia 1984) y los resultados, para una corrida, esto es, para unas dadas condiciones externas se muestran en la figura 4.

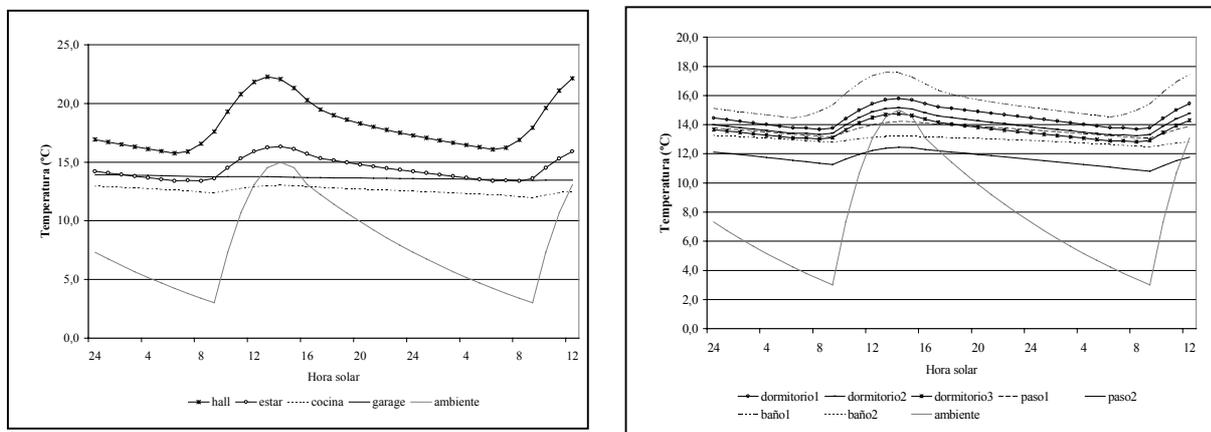


Fig. 4: Comportamiento térmico en Junio para las distintas áreas funcionales

CONCLUSIONES

En la Fig. 4 se observa que la temperatura media es, para el sector oeste, de 14° C con picos próximos a los 16° C. En el baño principal las temperaturas están 2° C por encima durante el día por efecto de la ganancia directa, requisito del usuario. En el sector este, el acoplamiento térmico entre cocina y garage disminuye al tener aquella más renovaciones, tendiendo a una temperatura media de 12,5°C, valor que parecería bajo si despreciamos el aporte interno de aproximadamente 5°C. El estar tiene una temperatura diurna entre 16 y 17 °C. Las fluctuaciones se mantienen similares al sector oeste y no superan los 2° C entre día y noche.

Los resultados del comportamiento térmico de la vivienda diseñada muestran que el sector oeste requeriría una ampliación del área de absorción para aumentar la temperatura en el orden de los 3 y 4 °C. En el sector este la apertura de la puerta que conecta el estar con el hall o patio de invierno, usado como espacio de compensación térmica y expansión, sería suficiente para alcanzar el confort térmico en invierno. Analizado el comportamiento de la vivienda para días nublados las pérdidas medias diarias son de alrededor de 0,5°C que no afectaría el confort deseado por el usuario. La situación es el resultado de una masa térmica relativamente grande (estructura bajo piso de 40 cm).

BIBLIOGRAFIA

Follari J., Fasulo A., Odicino L, Perelló D, Di Genaro J. Invernadero Calefaccionado con Energía Solar, 16 Reunión Nacional de Trabajo de ASADES 97 - La Plata pag. 477 a 482.

Czajkowski J y Gomez A (1994), Introducción al Diseño Bioclimático y la Economía Energética Edilicia.

Casermeiro M y Saravia L (1984), Calculo Térmico Horario de Edificios Solares Pasivos, Actas de IX Reunión de Trabajo de ASADES 1984 – San Juan pag. 39 a 44