

DISEÑO DE UN EDIFICIO SOLAR PASIVO DE VIVIENDAS EN ALTURA

Mirza Basso*, Carlos De Rosa, Ana Gibert*, Gustavo Lelio*, Rodolfo Vilapriño*, Fernando Solanes*, Luis Magistocchi y Oscar Corbella°.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Casilla de Correo 507, 5500, Mendoza.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo ha sido demostrar que, es posible obtener eficiencias aceptables en calefacción solar pasiva, para edificios de vivienda en altura, tipológicamente diferentes a una estructura en forma de placa, con su cara principal orientada al Norte.

El fundamento de esta búsqueda está dado por razones estructurales y urbanísticas.

El diseño desarrollado a nivel de anteproyecto ha permitido obtener mediante el cálculo los siguientes factores de utilización solar:

Calefacción de espacios:	
· Muros solares solamente:	0,60
· Muros solares y ganancia directa:	0,89
Calentamiento de agua:	0,48

Salvo el mayor costo, debido a aislación exterior y dispositivos solares, el edificio proyectado puede encuadrarse dentro de la construcción económica de los planes FO.NA. VI., al menos en cuanto a superficies cubiertas y materiales de la zona.

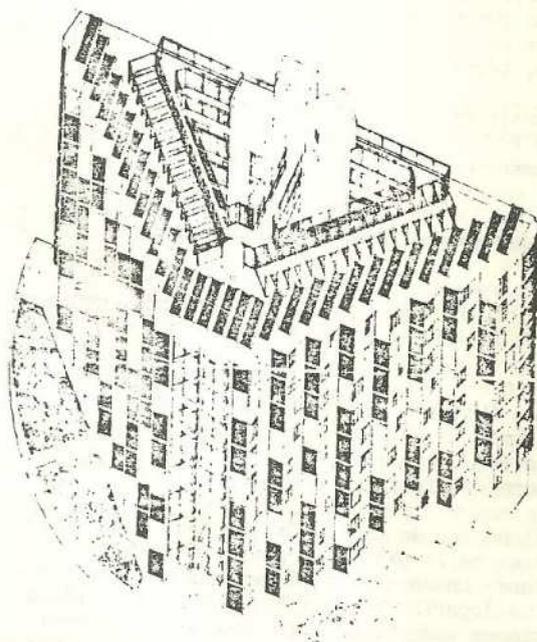
1. FUNDAMENTACION

Las zonas áridas del centro-oeste argentino, son geográficamente coincidentes, con las de más alta sismicidad del país.

Esta realidad plantea una limitación de primer orden, cuando se encara el diseño estructural de edificios en altura.

Formas compactas en planta, con rigideces similares en ambos sentidos y alturas no mayores de diez pisos, darán por resultado estructuras económicas y eficientes desde el punto de vista de su comportamiento bajo cargas horizontales.

Programa financiado por la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, a través de un convenio SSNUV-IADIZA. Participación del Programa de Energía no Convencional de la Subsecretaría de Ciencia y Técnica.



VISTA AXONOMETRICA

Por otra parte, desde el punto de vista de la tecnología solar, los edificios en formas de placa con su cara principal orientada al Norte, constituyen sin duda la solución óptima para captar energía.

El propósito de dar mediante el diseño una respuesta satisfactoria a ambos requerimientos, obviamente contrapuestos, es el fundamento mismo de este trabajo.

* Profesionales del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
° Asesor.

Desde el punto de vista urbanístico, se intenta encontrar alternativas tipológicas que permitan cuando se las combine, evitar la monotonía en conjuntos residenciales solares de alta densidad. Finalmente, la reducción en alguna medida de la gran sombra arrojada por una placa orientada al norte es otro aspecto positivo de volúmenes de edificios más compactos.

2. EL PROYECTO

ASPECTOS ARQUITECTONICOS

El diseño elaborado emergió de una selección analítica entre catorce esquemas diferentes, que fueron evaluados comparativamente desde los puntos de vista arquitectónico-urbanístico, térmico y estructural.

Consta de dos alas cuyas fachadas principales se encuentran orientadas al NE y NO respectivamente.

Sobre las mismas se sitúan los ambientes principales, estares y dormitorios.

Los espacios de servicios, cocinas y baños se ubican hacia los patios interiores, ocupando las fachadas cortas de cada ala.

Frente a los estares se han diseñado balcones abiertos que contribuyen a la regulación climática de verano, pudiendo en invierno, al cerrarse con vidrio, funcionar como invernaderos si fuera necesario.

El núcleo de circulaciones verticales se ubica en la planta de manera baricéntrica, estando unido por un sistema de pasarelas con los departamentos. Este sistema de circulaciones comunes abierto, asegurará la ventilación cruzada en verano, al permitir el pasaje de los vientos frescos procedentes del S y S-E.

Tanto el núcleo como las pasarelas cumplen una función estructural de máxima importancia, "cerrando" la forma y vinculando los tabiques de rigidez principales

En la azotea del edificio se ubican las placas colectoras para el calentamiento solar de agua de uso doméstico, y en el subsuelo los dos tanques de acumulación de 7.500 lts. cada uno. Su emplazamiento sobre la azotea hubiera sido altamente perjudicial bajo cargas sísmicas. (Fig. 1 a 6).

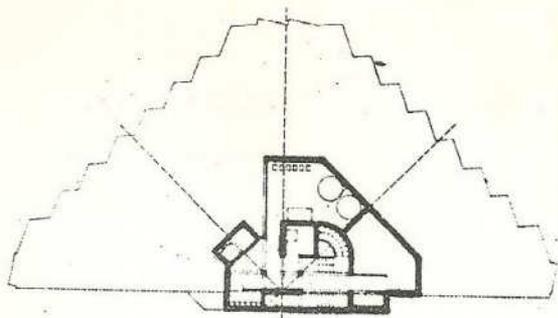


Fig. 1 - Planta Subsuelo

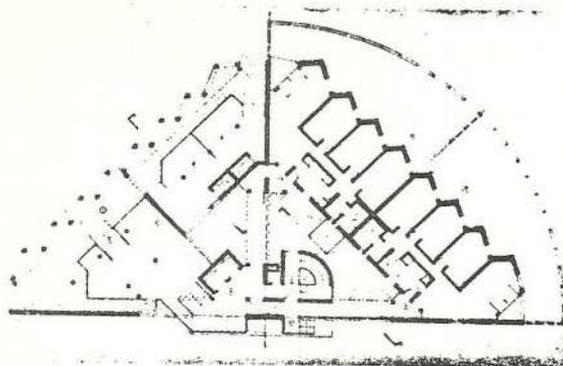


Fig. 2 - Planta Baja

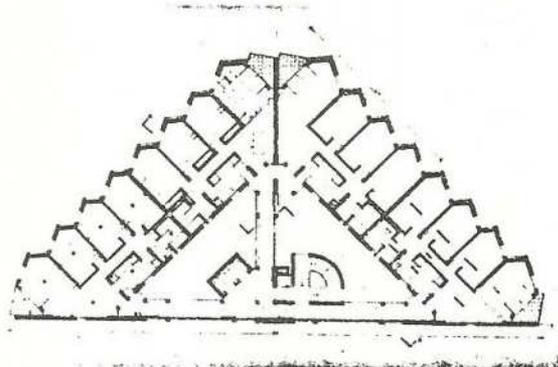


Fig. 3 - Planta Tipo

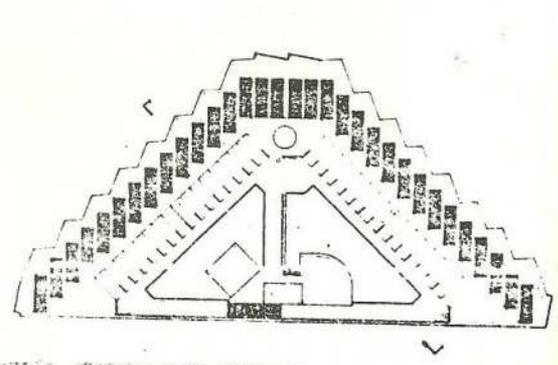


Fig. 4 - Planta de Techos

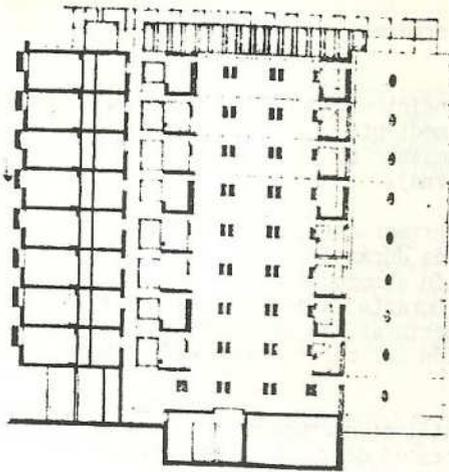


Fig. 5 - Corte.

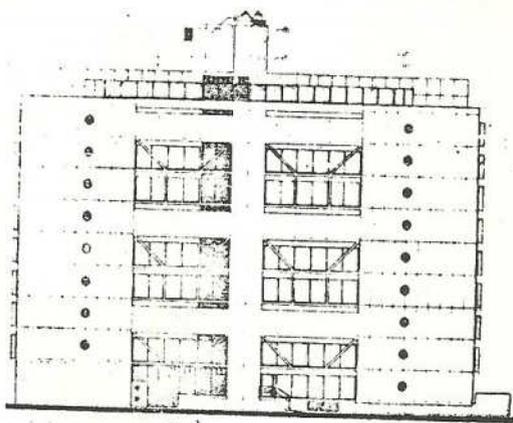


Fig. 6 - Fachada Sur

ASPECTOS URBANISTICOS

El agrupamiento urbanístico propuesto a nivel esquemático, tiene por objeto asegurar que no existirán sombras arrojadas entre las 9 y las 15 horas durante los meses de invierno. (Fig. 7).

La separación así definida, es la determinante principal de las densidades obtenibles. En nuestro caso se consiguen valores que consideramos aceptables para conjuntos residenciales:

Densidad Bruta: 365 HAB/HA

Densidad Neta : 410 HAB/HA

Con respecto a asegurar el pasaje de vientos en verano para el acondicionamiento natural, se plantea un problema mucho más complejo y

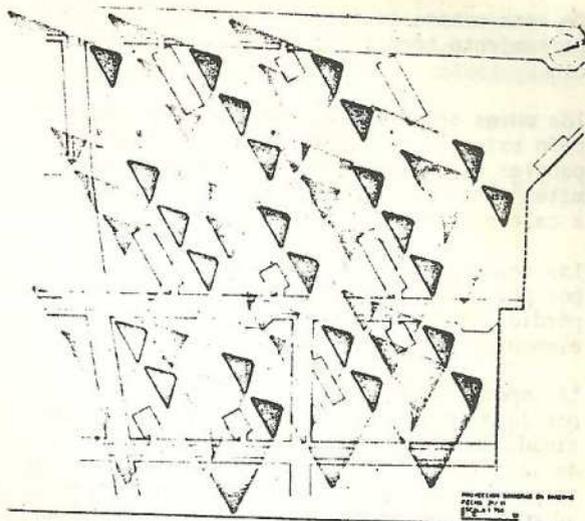


Fig. 7 - Planta de Conjunto. Estudio de sombras. 21 de junio de 9 a 15 horas.

que seguramente deberá ser estudiado en base a modelos.

ASPECTOS TERMICOS

Se describen aquí los aspectos que son determinantes del diseño.

a) Acondicionamiento Pasivo.

Los planos de colectores de fachadas adoptan una configuración "aserrada" con el objeto de ubicar directamente al Norte los muros solares tipo Trombe - Michel. Los paños que quedan entre éstos llevan ventanas normales para iluminación y ventilación, y que además hacen un aporte significativo en ganancia solar directa.

El eje de simetría del edificio se ha rotado 10° hacia el Oeste y la normal a los muros solares 5° en la misma dirección. Se obtiene así un ángulo de 15° con respecto al Norte.

Las razones para esta corrección son las siguientes:

1. La curva de temperaturas horarias tiene su pico entre las 14 y las 16 horas, lo que indica que el rendimiento de los muros del ala Este es menor que las de la Oeste.
2. Si bien en días claros no se observa una desviación apreciable del "pico" de radiación hacia el Oeste respecto al mediodía solar, cuando hay nubosidad el corrimiento puede ser del orden de 15° ó más. El plano colector es por lo tanto, normal, al máximo de radiación en las situaciones más desfavorables.

De esta manera se intenta equilibrar el comportamiento térmico de ambas alas del edificio.

Los muros solares están provistos de protección exterior móvil; (cortinas de enrollar) y paneles aislantes interiores móviles, que permiten controlar la radiación hacia el espacio a calefaccionar. (Fig. 8.).

Las ventanas están protegidas exteriormente por postigones corredizos que disminuirán las pérdidas nocturnas en invierno y servirán de elementos de sombra en verano.

La importante masa térmica del edificio, dada por losas premoldeadas, de hormigón, tabiques rigidizadores de hormigón y muros de cierre de ladrillón macizo, está aislada exteriormente por placas de poliestireno expandido de 50 mm de espesor en paredes y 70 mm en cubierta. La aislación de muros está protegida por placas de fibrocemento plano de 10 mm de espesor.

Se ha estudiado cuidadosamente el problema de las sombras arrojadas sobre superficies colectoras, tanto en muros solares como colectores planos del sistema de agua caliente.

Las disminuciones que se producen por este efecto, sobre el total de la radiación diaria,

son las siguientes:

En muros solares: 23,78% - caso más desfavorable.

En colectores planos: 16,20% - caso más desfavorable.

El acondicionamiento natural de verano, se obtiene mediante las técnicas bien conocidas de enfriamiento nocturno y ventilación cruzada (nocturna).

En el primer caso, manteniendo los espacios cerrados durante el día, la masa de la construcción absorberá calor, enfriando los espacios. Durante la noche deberán abrirse todas las aberturas con el fin de posibilitar la disipación del calor acumulado por muros y losas.

La ventilación cruzada aprovechando los vientos frescos de verano, será complementaria del enfriamiento nocturno. En caso de no soplar brisa, la entrada de aire exterior desde el Sur podrá producirse, ventilando los muros solares hacia afuera.

El dimensionamiento preciso de las ventanas hacia el Sur no está calculado y debe motivar un estudio más profundo, probablemente utilizando modelos.

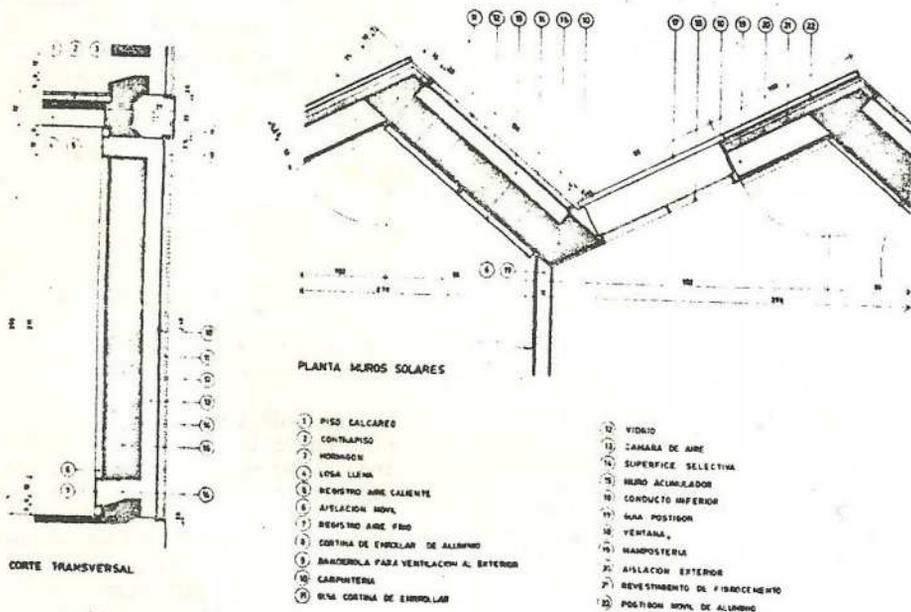


Fig. 8 - Muro Solar tipo Trombe-Michel. Detalles constructivos.

b) Sistema solar activo de calentamiento de agua.

Para proveer de agua caliente al edificio se ha previsto un sistema activo, en el que se ha tomado en cuenta:

a. Necesidad de no trabajar con anticongelantes en el circuito de colectores, pues cualquier rotura en el sistema de intercambiadores puede ocasionar un aporte de etilenglicol (tóxico) a la distribución.

Para evitar todo esto se prevé el uso de colectores de flujo integral que soportan las tensiones de congelamiento. Empresas productoras de la zona han sometido colectores al frío en cámaras frigoríficas sin problemas de rotura.

Estos colectores presentan problemas de deformación cuando se los somete a presiones mayores de 0,3-0,5 hg/cm², pero teniendo en cuenta que:

- Se encuentran en la parte más alta de un circuito cerrado.

- El circuito es cerrado.

- Que la cantidad de agua por colector es muy baja: si se considera un máximo de radiación en el plano del colector del orden de 600 kcal/hr m² para una elevación de 2°C en el agua que circula por cada colector se tiene un flujo de $\frac{600 \text{ kcal/hr m}^2 \times 4 \text{ m}^2/\text{colector}}{2^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ l/kg}} =$

$$\frac{1200 \text{ lts}}{\text{hr colect.}} = \frac{1,30 \text{ m}^3}{\text{hr colector}}$$

si el área de colector es:

$$A = 1 \text{ m} \times 0,003 \text{ m} = 0,003 \text{ m}^2$$

la velocidad de flujo es:

$$V_t = \frac{1,20 \text{ m}^3/\text{hr}}{3600 \text{ s/hr} \cdot 0,003 \text{ m}^2} = 0,111 \text{ m/seg.}$$

velocidad suficientemente baja como para considerar que las pérdidas de presión en los colectores son muy bajas. Para

$$Re = \frac{D_H (v) \rho}{\mu} = \frac{0,006 \text{ m} \times 0,111 \text{ m/s} \times 998 \text{ Kg/m}^3}{0,56 \cdot 10^{-3} \text{ p}} =$$

$$= 1,19 \cdot 10^3$$

$$f = f(Re) = 0,018$$

$$\Delta P = L \left(\frac{4}{D} \frac{1}{2} e v^2 f \right) = \frac{4 \times 998 \times 0,111^2 \cdot 0,018}{0,006 \cdot 2} =$$

$$= 72 \text{ N/m}^2 = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ kg/cm}^2.$$

- Que los colectores serán conectados en paralelo.

- Que la velocidad en las cañerías de impul-

sión, distribución y retorno es baja para evitar trabajar con presiones elevadas (referidas a la presión admisible para los colectores).

Para 1 m/seg. el diámetro necesario es:

$$D = 2 \sqrt{\frac{1,30 \text{ m}^3 \cdot 32 \text{ col}}{\text{m.col.} \cdot 3600 \text{ s/hr} \cdot 1 \text{ m/seg}}} = 0,121 \text{ m} = S L$$

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,125 \cdot 1 \cdot 998}{0,56 \cdot 10^{-3}} = 222768.$$

$$f = f(Re) = 0,006$$

Le = longitud equivalente de cañería = 192 mts.

$$\Delta P_C = Le \times \frac{4}{D} \frac{1}{2} e v^2 f = \frac{192 \cdot 4 \cdot 998 \cdot 1^2 \cdot 0,006}{0,125 \cdot 2} =$$

$$= 18.395 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 0,181 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- la presión total en el sistema es:

$$\Delta P_t = \Delta P_{col} + \Delta P_C \approx 0,182 \text{ kg/cm}^2$$

En los colectores la presión total es

$\Delta P_{col. \text{ total}} = 0,091 \text{ Kg/cm}^2$ menor que la presión admisible.

Con una cañería de 3" la presión total en los colectores sería:

$P_{col. \text{ total}} = 0,28 \text{ kcal/cm}^2$, menor que la presión admisible.

b. Los tanques de acumulación de agua caliente no pueden ser elevados por problemas sísmicos, por lo que se ubican en el sótano.

c. La distribución de agua caliente a los departamentos se hace por gravedad, resultando de esto la colocación de un tanque de 3.000 lts. Este tamaño surge de compatibilizar un pico de demanda de agua caliente con la capacidad de elevación de las bombas, de tal manera que no estén sometidos a un proceso de marcha y parada continua.

d. Se recircula el agua de distribución para evitar el consumo adicional por dejar corriendo el agua hasta que sale caliente.

3. METODOS DE CALCULO

A. Calentamiento de agua para uso doméstico.

La cantidad de calor necesaria para calentamiento de agua se determinó considerando un consumo máximo de 530 lts. por departamento por día de agua caliente a 50°C. estimando la temperatura de agua fría según aparece en la plañilla I.

La fracción de aporte solar al calentamiento

de agua se obtuvo usando el método de utilizabilidad de S. A. Klein.

Abreviaturas y unidades:

- K_t relación entre radiación total promedio mensual y radiación extraterrestre promedio mensual en plano horizontal.
 H_h radiación diaria media mensual en superficie horizontal (10^3 KJ).
 H_c idem en el plano del colector
 R_n relación entre radiación en el plano del colector y en superficie horizontal al mediodía.

- \bar{R} idem radiación diaria media mensual.
 T_w temperatura ambiente del agua °C.
 T_a temperatura ambiente media mensual durante el día. °C.
 I_c nivel de radiación crítica (10^3 KJ)
 r_{tn} relación entre la radiación total a mediodía y la diaria, día/hr.
 ϕ utilizabilidad diaria media del colector.
 Q_u calor solar utilizable promedio diario (10^3 KJ/día).
 L calor necesario para calentar agua promedio diario (10^3 KJ/diario).

Planilla I - Sistema solar de calentamiento de agua

Mes	K_t	H_h	H_c	R_n	R	T_w	T_a	I_c	r_{tn}	ϕ	Q_u	L	SHF
1	0,57	23,7	18,1	0,89	0,76	18	27,6	0,31	0,125	0,82	1332	2270	0,59
2	0,56	21,5	18,5	0,99	0,86	18	26,2	0,34	0,131	0,81	1345	2270	0,59
3	0,55	18,3	19,1	1,13	1,04	16	23,9	0,38	0,139	0,80	1371	2420	0,57
4	0,53	14,3	18,4	1,31	1,29	15	18,4	0,48	0,149	0,75	1239	2490	0,50
5	0,52	10,9	16,9	1,53	1,55	12	14,0	0,56	0,160	0,70	1061	2700	0,40
6	0,51	9,2	15,8	1,61	1,72	10	10,8	0,61	0,168	0,67	950	2840	0,34
7	0,54	10,2	17,5	1,54	1,72	10	10,2	0,62	0,165	0,68	1068	2840	0,38
8	0,53	12,9	18,4	1,31	1,43	12	12,9	0,57	0,151	0,69	1140	2700	0,42
9	0,54	16,4	18,9	1,14	1,15	15	16,9	0,50	0,143	0,73	1238	2490	0,50
10	0,54	19,6	18,0	0,96	0,92	16	19,8	0,46	0,134	0,74	1196	2420	0,50
11	0,56	22,7	17,8	0,88	0,78	18	24,5	0,37	0,127	0,78	1246	2270	0,55
12	0,54	22,8	16,9	0,85	0,74	18	26,6	0,35	0,124	0,79	1198	2270	0,55

Necesidad anual: 912.480×10^3 KJ
 Aporte solar: 437.196×10^3 KJ
 Aporte de energía auxiliar: 475.284×10^3 KJ
 SHF: 0,48

B. Acondicionamiento

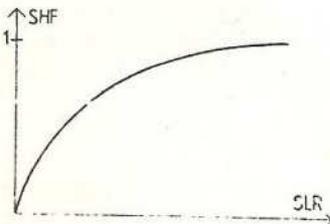
Para el cálculo del aporte solar al acondicionamiento de los departamentos de la torre se recurrió a las correlaciones SLR (solar load ratio) de los Alamos Scientific Laboratory, desarrolladas por Balcomb, Wray y Mc Farland. Estas correlaciones relacionan el valor

$$SLR = \frac{\text{Radiación solar absorbida}}{\text{Pérdidas de calor del ambiente}}$$

con la fracción de calefacción solar (SHF) según una función

$$SHF = a_1 - a_2 e^{-a_3 SLR}$$

Cuya forma gráfica es:



Se puede observar que la fracción de calefacción tiende asintóticamente a 1 para valores elevados de SLR, lo que es razonable, ya que un exceso de ganancia solar sirve sólo para recalentar el ambiente sin disminuir la energía necesaria para mantener la temperatura base mínima en el interior.

La radiación solar se estimó a partir de datos de heliofanía media mensual de un período de 10 años, usando el método de Pape para obtener los valores en el plano horizontal y la correlación de Boes para la radiación transmitida por las áreas vidriadas de los sistemas pasivos.

Las pérdidas de calor se obtuvieron calculando el coeficiente total de pérdidas de calor y multiplicándolo por los grados días obtenidos a partir de las temperaturas medias mensuales.

Las estimaciones de aporte solar se realizaron para los meses de mayo, junio, julio y agosto, identificando los departamentos según su posición central o lateral, al este u oeste y entre planta baja al 7º piso y el último

piso, por existir diferencias apreciables de ganancia y pérdidas de calor por su ubicación.

La planilla II indica los valores obtenidos en miles de kilocalorías al mes.

Planilla II - Aporte de muros solares y ganancia directa con cortina de enrollar como protección nocturna.

Mes	Q_p PB-7°	Q_p 8°	Q_g MS	Q_g GD	SHF MS PB-7°	SHF GD PB-7°	Q_c PB-7°	SHF MS 8°	SHF GD 8°	Q_c 8°
Central Oeste										
5	380	511	638	300	0,69	0,6	-	0,58	0,48	-
6	507	682	603	284	0,56	0,46	-	0,46	0,37	107
7	570	767	655	308	0,55	0,46	-	0,55	0,45	-
8	416	559	824	388	0,76	0,66	-	0,65	0,55	-
Lateral Oeste										
5	431	563	554	124	0,59	0,26	79	0,49	0,2	170
6	574	751	522	121	0,47	0,18	184	0,38	0,3	257
7	646	845	565	132	0,45	0,18	210	0,37	0,12	288
8	471	617	710	166	0,65	0,31	23	0,55	0,24	149
Central Este										
5	380	511	724	346	0,74	0,66	-	0,63	0,54	-
6	507	682	684	327	0,61	0,50	-	0,50	0,41	58
7	570	767	743	355	0,60	0,51	-	0,49	0,40	82
8	416	559	935	447	0,80	0,72	-	0,69	0,61	-
Lateral Este										
5	431	563	673	174	0,67	0,36	-	0,56	0,28	107
6	574	751	635	164	0,54	0,25	132	0,44	0,19	235
7	646	845	688	179	0,52	0,25	159	0,43	0,18	268
8	471	617	864	255	0,73	0,41	-	0,63	0,32	43
Total	63920	10590	99153	35496			6296			1764
Total	74.510		134.649					8.060		

Fracción de calefacción solar total: 0,89
 muro solar: 0,60
 ganancia directa: 0,29

Bibliografía

- Passive Solar Buildings - Sandia Laboratories. New Mexico. julio 1979. 285 págs.
- Solar Energy Thermal Processes. Duffie y Beckman. Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin. Wiley Interscience Publications. 1974. 386 págs.
- Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings. Jordan y Liu. ASHRAE, GRP 170. 1977. 206 págs.
- Calculation of flat-plate collector utilization. C.A. Klein. Solar Energy, vol. 21 n° 5, 1978. págs. 385-392.
- Solar Heating Design by the f-chart method. Beckman - Klein - Duffie - Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin. Wiley. Interscience Publication. 1977. 200 págs.