

## VIVIENDA SOLAR PROTOTIPO

EN SANTA ROSA LA PAMPA LAT.  $-36^{\circ} 34'$  #

Elfas Rosenfeld, Jorge Luis Guerrero, Olga Ravella, Graciela Brusasco,  
Leticia Ciancaglini, Alberto Jurgeit, Ernesto Ffgoli<sup>o</sup>,  
Norma Giménez<sup>o</sup>, Jorgelina Vidal<sup>o</sup>, Aldo Fabris\*

IAS / FABA, Instituto de Arquitectura Solar, diag. 76 N° 526 1900 La Plata Argentina

### RESUMEN

Es un proyecto unifamiliar destinado a funcionarios jerárquicos del Gobierno de la Provincia de La Pampa, encomendado con intenciones de transferencia tecnológica respecto al medio local.

El partido se sintetiza en abrir en dos plantas para aumentar compacidad la colección al Norte y proteger el Sur con dependencias accesorias.

La calefacción es por ganancia directa y muros colectores acumuladores en agua, con descarga controlada, forzada, conducida y automatizada. Los muros están protegidos por un sistema de aislaciones móviles reflectoras que siguen la trayectoria solar.

El refrescamiento es por enfriamiento evaporativo generado en una fuente y tratado como la calefacción.

La acumulación tanto para invierno como para verano es de 12.000 Kg, distribuida 10.000 en los muros y el resto en una unidad centralizada.

### 1. INTRODUCCION

El proyecto está destinado a vivienda unifamiliar para funcionarios jerárquicos del Gobierno de la Provincia de La Pampa, en Santa Rosa, en un terreno de 1.492 m<sup>2</sup> ubicado en la esquina de las calles Bouchard y Padre Buodo, con requerimiento explícito del Ministerio de Obras Públicas pampeano de optimizar el aprovechamiento de la energía solar para calefacción, refrescamiento ambiental, calentamiento de agua y secado de ropa, así como el uso racional y conservación de la energía.

<sup>o</sup> Colaborador; \* Asesor

# Trabajo realizado por Convenio con el Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de La Pampa.

El programa lleva implícito la intención de convertir al edificio en un hito referencial para otros proyectos futuros con uso de energía solar. Está claro que la investigación y el desarrollo que se han llevado a cabo para concretarlo, así como la experiencia que se obtenga de su construcción y ensayo, ha producido y producirá un flujo de transferencia tecnológica al medio pampeano.

Se previó asimismo que la construcción pudiera ser licitada entre empresas locales y que al margen de servir como edificio de demostración pudiera ser habitado en condiciones de seguridad, confort y facilidad de uso acordes con su destino; de calidad buena dentro del carácter previsto para un edificio de su categoría en el ámbito oficial.

### 2. PARTIDO SOLAR

El partido responde a la idea de sintetizar diversas necesidades helioenergéticas fundamentales. Ellas son:

- Conformar el sector de Residencia en dos plantas, con el eje longitudinal circulatorio en el sentido Este-Oeste, con el fin de duplicar el área de colección al Norte manteniendo las proporciones compactas a efecto de minimizar pérdidas. Esto permite asimismo interconexiones verticales de los muros colectores acumuladores. Fig. 1.
- Adosar al sector de Residencia las áreas complementarias del quincho-garage por el Sur, protegiendo térmicamente ambos sectores.
- Apertura de una "olla" por delante de la fachada Norte para incrementar las áreas de muros colectores acumuladores, conformando asimismo un ámbito protegido de los vientos. Este sector tiene prevista protección solar en el período cálido con toldos o vegetación de vida estacional. Fig. 2 y 3.
- Proteger las cubiertas planas del sector de residencia con cubiertas atemperantes tipo terraza jardín, inclinando la cubierta metálica del sector quincho-garage para lograr refrescamiento por chimenea solar a la vez que se ofrece un perfil de mínima exposición a los vientos de los cuadrantes del Sur.

e) El nexo entre ambas cubiertas conforma una franja longitudinal que brinda ganancia directa e iluminación al sector complementario a la vez que se conforma el lugar de instalación de los colectores para agua caliente. Fig. 4.

f) Localización de los invernáculos como prolongación de las áreas de estar logrando que la ganancia directa se localice en sectores equidistantes del volumen habitable.

g) Localización de la fuente de enfriamiento evaporativo y la unidad de acumulación centralizada en situaciones equidistantes Sur para lograr economía de recorridos en la red de conductos.

Decidido el Partido la resolución arquitectónica se encarriló por vías coherentes con el mismo. En la Planta Baja se localizaron las

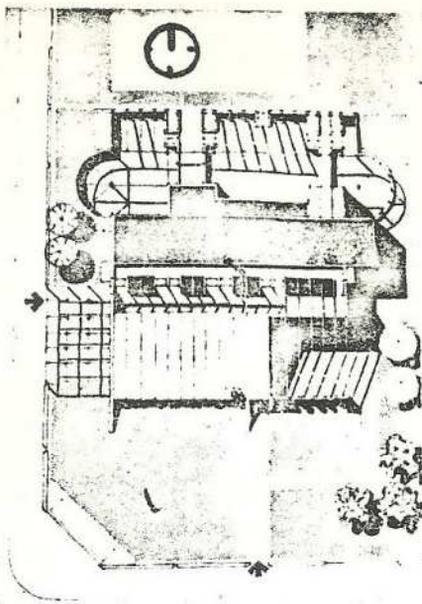


Fig. 1. Planta de conjunto.

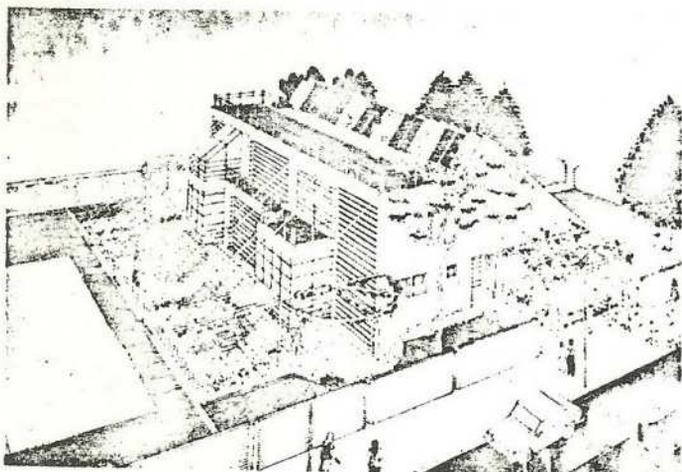


Fig. 2. Vista desde calle Bouchard.

áreas de estar, comer, cocinar, escritorio y las áreas complementarias del quincho-garage. En Planta Alta todos los dormitorios, sanitarios principales y sala de control del sistema helioenergético. En doble altura el invernáculo principal y la fuente de refrescamiento evaporativo. En el Atico se hallan los colectores de agua caliente, lucarnas accesibles y sala de tanques de reserva.

En cuanto a las características constructivas principales son las siguientes: en la Residencia estructura de hormigón armado, muros de mampostería con aislación de poliuretano, carpintería de chapa doblada. En las áreas complementarias estructura metálica con cubierta de chapa galvanizada prepintada verde, y aislación de lana de vidrio con folio de aluminio superior, puesto que funcionará como chimenea solar. En los ambientes

que reciben iluminación natural cenital se colocarán cielorrasos integrales tipo "louvers" desmontables con iluminación artificial incorporada.

El tratamiento de la vegetación tuvo en cuenta no sólo las reglas de buena colección y protección solar sino la adecuación a las características climáticas y del suelo arenoso.

Las zonas con protección solar se determinaron no sólo por estudios de asoleamiento sino por los resultados obtenidos en el balance energético.

El dimensionamiento de las aberturas se realizó en función de los balances lumínico y energético.

El solado de la olla delantera es blanco.

### 3. PROYECTO HELIOENERGETICO

Analizadas las características climáticas y solares medias mensuales y extremas se observó un alejamiento energético de la zona de bienestar higrotérmico mayor en época de invierno que en la de verano. Por esta razón se dió énfasis a solucionar en primer lugar la calefacción solar.

En cuanto al período cálido se encontró viable implementar un sistema de refrescamiento evaporativo, puesto que para entrar en la zona de confort el aire debe ser humectado y enfriado.

En cuanto a las decisiones tecnológicas se optó por sistemas eminentemente pasivos y semi-pasivos (por ser pasivos en colección y activos en distribución). Ello se realizó para ser coherentes con el objetivo de constituir un edificio de demostración, debiendo privilegiar en consecuencia los sistemas que puedan utilizarse en otros proyectos por sobre la optimización a ultranza de tecnología que hubiera llevado a un sistema activo, en función de la magnitud del proyecto y las situaciones de compromiso de las prestaciones teniendo en cuenta la calidad de los usuarios

Se desarrolló en consecuencia un sistema totalmente automatizado de calefacción y refrescamiento ambiental cuyo diagrama general se muestra en la Fig. 5.

Para la calefacción se combinó la ganancia solar directa con un sub-sistema de muros colectores acumuladores en agua de descarga forzada, controlada automáticamente y distribuida por un sistema de conductos (MAC II), Fig. 6. Se trata de un desarrollo de los utilizados en (1) y ya expuestos en (2). Los MAC II se hallan protegidos por un sistema de aislaciones reflectoras móviles. Las mismas están compuestas por un alma de poliuretano y caras de aluminio, habiéndose automatizado su movimiento. Contarán a tal efecto con sensores de radiación, de temperatura ambiente y de temperatura del agua en una capsula central de un MAC II. En el período invernal se orientarán para garantizar la máxima colección y cerrarán en caso de que la energía colectada sea menor que la de pérdidas. En la situación estival los MAC II se abren de noche si su temperatura es superior a la ambiente, empleando la información de los mismos sensores. El paso de invierno a verano o viceversa se realizará anualmente en setiembre y abril, por cambio de programación del microprocesador.

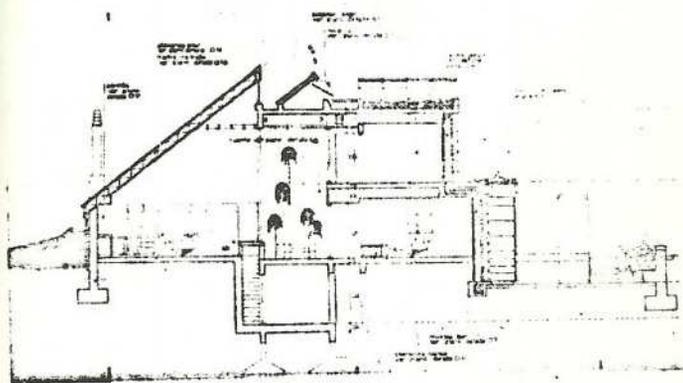


Fig. 3. Corte transversal por la fuente y la "olla".

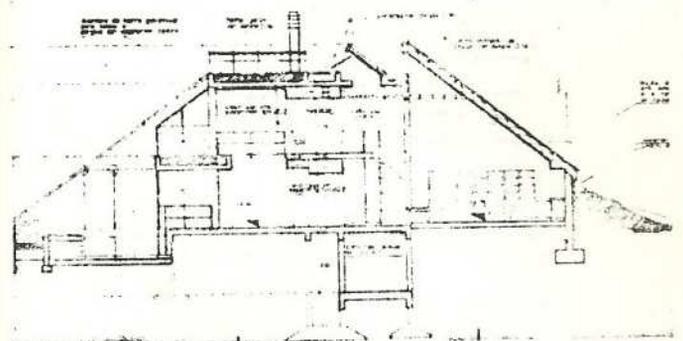


Fig. 4. Corte transversal por la escalera principal.

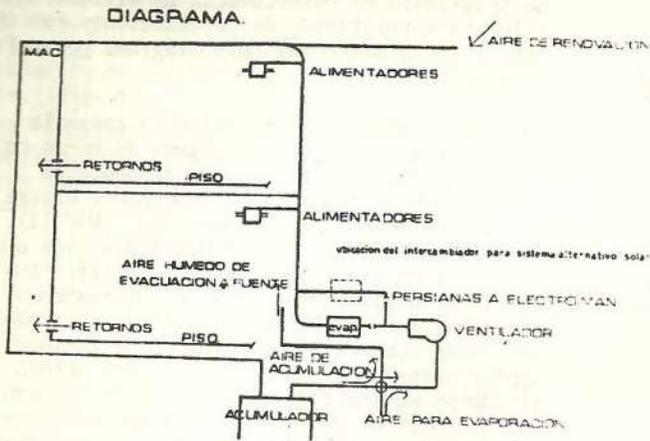


Fig. 5. Diagrama general

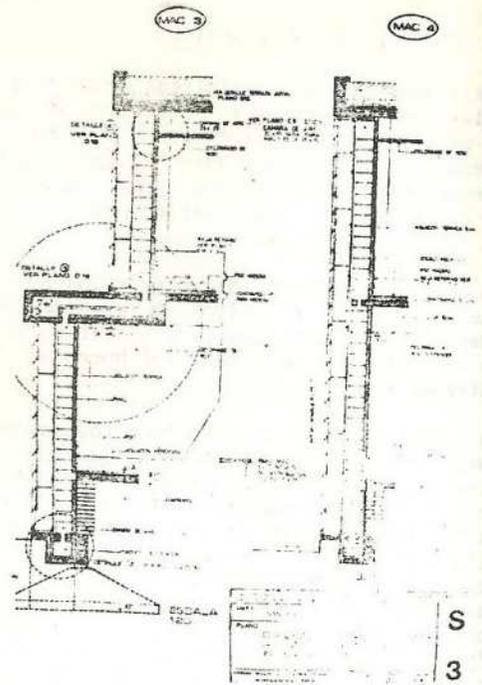


Fig. 6. Detalle de los MAC II.

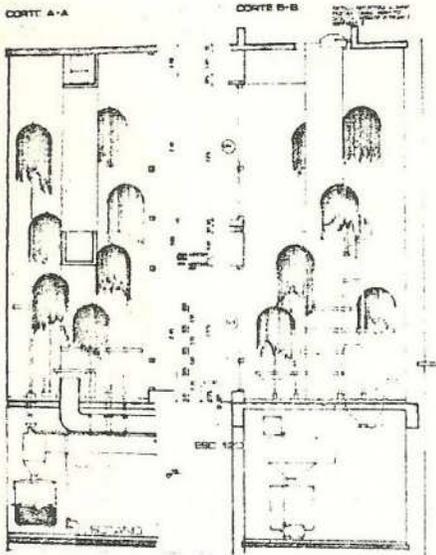


Fig. 7. Dos cortes de la fuente de enfriamiento evaporativo.

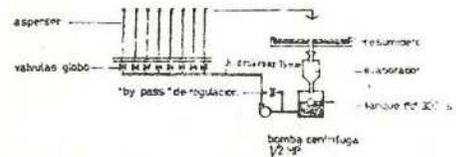
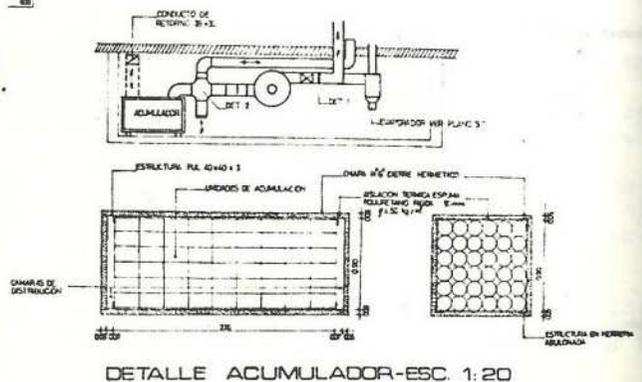


Fig. 8. Circuito hidraulico de la fuente.

Fig. 9. Corte sótano y detalle de la unidad centralizada de acumulación.



DETALLE ACUMULADOR-ESC. 1:20

Como fuente auxiliar de calefacción se cuenta con una estufa para quemar leña de doble boca ubicada en la zona de estar.

En cuanto al refrescamiento ambiental se han considerados dos sub-sistemas: de enfriamiento evaporativo para el sector de Residencia, de chimenea solar para las áreas complementarias (1)(3).

El refrescamiento evaporativo está generado en una fuente que se muestra en la Fig. 7 y fue calculado según (4).

Consta de 8 columnas aspersoras de caño de bronce de diferentes alturas, un resumidero a Nivel +0,30m que conecta con un evaporador de acero inoxidable. El circuito hidráulico se muestra en la Fig. 8. Como se puede apreciar en la Fig. 7 el sistema de conductos está integrado a la fuente, debajo de la cual se halla localizado el sótano desde donde se accede a las instalaciones inferiores y donde se halla la unidad centralizada de acumulación. Fig. 9.

El secado de ropas se realizará en secaderos similares al construido en (1).

El calentamiento solar de agua se realiza por un sistema automatizado de 10 colectores, inclinados 60°, de flujo forzado. El sistema de control acciona en función de 3 sensores que miden: temperatura del agua en tanque, temperatura a la salida de los colectores y radiación solar en el plano de colección. Como resultado del diagrama diseñado el vaciado de los colectores es inmediato luego de la detención de la bomba centrífuga de 1/2 HP, evitando el congelamiento o el hervor. La fuente auxiliar está constituida por dos resistencias eléctricas de 1,5 kw de accionamiento manual y ubicadas en el tanque de salida a la provisión. La acumulación es de 1.000 lts en dos tanques de fibrocemento aislados de 500 lts.

A solicitud del comitente y a efectos de completar los aspectos de transferencia de tecnología perseguidos, se procedió al diseño y dimensionamiento de un sistema auxiliar de aire acondicionado solar. Cuenta con colectores evacuados de alta eficiencia, unidad de enfriamiento de agua por absorción e intercambiador de calor agua-aire que se utiliza en invierno para calefacción.

#### 4. BALANCE ENERGETICO

La expresión general empleada para evaluar el paso del calor por cada sector diferencia de la envolvente, considera a ésta como un colector solar y no sólo como un elemento resistente a la termotransmisión. Es decir se empleó una combinación de la ecuación de colección de energía radiante (Hottel-Whillier-Bliss) con las tradicionales de

transmisión por muros, cubiertas, ventanas, etc.

En su forma diaria integral, que fue la usada, tiene la siguiente forma general:

$$Q = S \left\{ \frac{1 - \gamma}{1 + \frac{U_e}{U_p}} \left[ H_t \alpha_s - U_e T_d (t_i - t_d) \right] + \gamma \left[ H_t \alpha_a - \frac{U_v U_e}{U_v + U_e} T_d (t_i - t_d) \right] + (86.400 - T_d) \left\{ \beta \frac{U_v U_e}{U_v + U_e} + (1 - \beta) \frac{U_p U_e}{U_p + U_e} \right\} (t_n - t_i) \right\}$$

donde:

- S - Es el área del sector de envolvente considerado (m<sup>2</sup>)
- U<sub>e</sub> - Es la conductancia de la capa límite exterior, teniendo en cuenta la velocidad media del viento y la pendiente del sector considerado (W/m<sup>2</sup> °C)
- U<sub>p</sub> - Es la conductancia térmica a través del sector considerado si es opaco, incluyendo su capa límite interior y considerando su pendiente (W/m<sup>2</sup> °C)
- U<sub>v</sub> - Es la conductancia de sectores transparentes semejantes a U<sub>p</sub>
- H<sub>t</sub> - Es la integral diaria de radiación global incidente sobre el sector de envolvente teniendo en cuenta su orientación y pendiente (J/m<sup>2</sup>)
- T<sub>d</sub> - Es la duración del "día" para el sector, considerando como tal al tiempo en que el Sol en su trayectoria se encuentra incidiendo sobre el mismo en un día claro de ese mes (seg). Para superficies que sólo reciben radiación difusa T<sub>d</sub> es igual a la duración del día.
- t<sub>i</sub> - Es la temperatura de bienestar higrotérmica media para el mes considerado (°C)
- t<sub>d</sub> - Es la temperatura media ambiente exterior durante el lapso del "día" del sector (°C)
- t<sub>n</sub> - Es la temperatura media ambiente exterior durante la "noche" del sector, es decir durante el tiempo en que el Sol no lo ilumina en forma directa incluyendo la noche
- γ - Es el factor de uso de superficies transparentes, por ej. si el sector es una ventana y es un número ≤ 1 que indica qué parte de la ventana está usada para iluminación. De aquí se desprende que *previo al balance energético es necesario un balance lumínico natural* a fin de determinar el valor de γ para cada local. Se realiza por medios convencionales para una iluminación de

- confort de 250 lux
- $\beta$  - Es un factor similar a  $\gamma$  pero nocturno
  - $\alpha_s$  - Es la absortancia superficial de sectores opacos, para longitudes de onda pequeñas
  - $\alpha$  - Es la absortancia interior de cualquier ambiente con una abertura transparente, varía poco en los ambientes netamente interiores donde es cercano a 1, no así en invernaderos, secaderos, etc.
  - $\zeta$  - Es la transmitancia de los sectores transparentes

#### Notas

Fueron calculados en base a datos climáticos los coeficientes de película  $U_e$  para distintos planos para invierno y verano. Se muestran en la Tabla I.

En lo referente a  $U_p$  se identificaron 14 tipos de sectores de envolvente con diferente conductancia en invierno y verano, y en los que no son verticales con 2 valores según el calor vaya hacia arriba o hacia abajo.

Cada elemento o sector de la envolvente fue calculado por un cómputo programado HP 97 que discrimina el sentido del paso del calor.

#### 5. RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado arrojado por ambos balances, estival e invernal, muestra resultados dentro de lo esperado, siendo éstos unas diez veces menores en cuanto a cargas térmicas equilibrantes que los balances de edificios sin las medidas en este caso adoptadas de conservación de la energía.

La energía de equilibrio necesaria para el período estival es suministrada ampliamente por la fuente evaporativa manteniendo la situación de bienestar higrotérmico por debajo de los 24°C que es su temperatura de diseño.

Los 12.000 Kg de agua para acumular frío por debajo de esta temperatura (17°C de diseño) son más que suficientes para absorber los posibles picos de demanda de frío en el aire interior.

Esta misma masa de agua es la que en época invernal absorbe no sólo las variaciones climáticas sino que contribuye con calor proveniente de meses anteriores, entregándolo en julio que es el peor mes del año. La acumulación al fin del mes de julio se calcula al rededor de los 700 MJ cuando la demanda media en ese mes es del orden de los 190 MJ (correspondiendo 80 a pérdidas por la envolvente y 110 por el aire de renovación) por día. Al principio de dicho mes, la energía acumulada se estima en 1.400 a 1.300 MJ.

Cabe señalar que se ha diseñado el sistema, manteniendo este nivel de acumulación con el objeto de poder absorber los picos térmicos aleatorios del clima.

Con esta acumulación los MAC II colectan en el mes peor, cerca de 65 MJ por día, sumados a los 20 usables de lo acumulado, lo que hace un déficit del orden de los 105 MJ diarios a suministrar en el peor mes, por medio de la estufa a leña con un funcionamiento medio de 4,5 horas por día.

No obstante este aporte convencional se verá disminuído si se disminuye la cantidad de calor acumulado de reserva, no sólo por el aporte de este calor, sino por las propiedades helioenergéticas del MAC II. La Fig. 10 muestra su capacidad de colección en función de la energía acumulada.

Disminuyendo la acumulación, es decir, dejando menor capacidad para cubrir los picos de demanda de calor, se podría triplicar la colección de energía solar, con lo que el balance medio quedaría virtualmente satisfecho con creces.

Tabla I. Coeficientes de conductancia de película exterior  $U_e \left( \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$

| PENDIENTE | INVIERNO           |                   | VERANO             |                   |
|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|           | Calor hacia arriba | Calor hacia abajo | Calor hacia arriba | Calor hacia abajo |
| 0         | 9,08               | 5,25              | 9,38               | 5,55              |
| 37,5      | 14,22              | 11,19             | 15,76              | 12,72             |
| 60        | 16,00              | 14,09             | 18,06              | 16,11             |
| 90        | 16,26              | 16,26             | 18,59              | 18,59             |

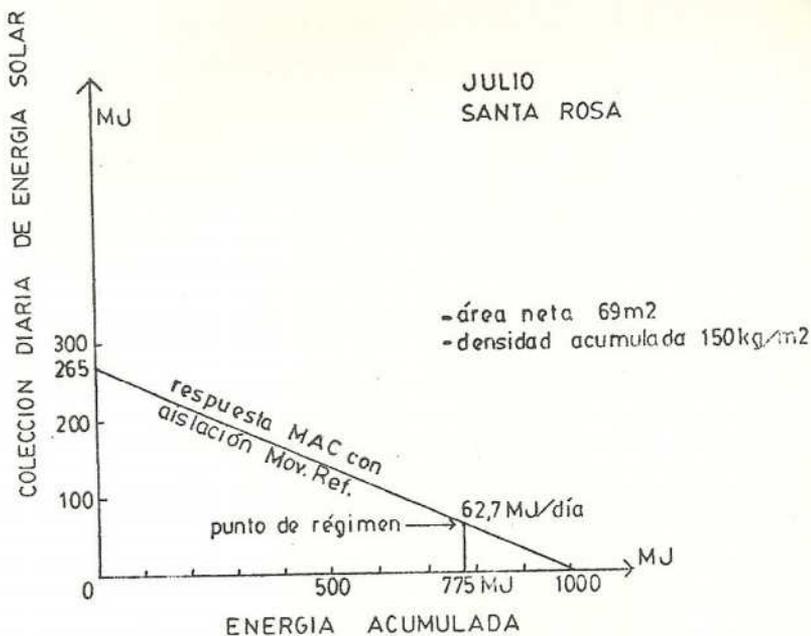


Fig. 10. Capacidad de colección del MAC II en función de la energía acumulada.

#### 6. ESTADO DEL PROYECTO

A la fecha el proyecto se halla completo y con la documentación lista para licitar. La arquitectura e ingeniería de detalle insu-  
mió 62 planos y un volumen de especificacio-  
nes que se ejecutaron en 120 días. Se con-  
templa la posibilidad de licitarlo en el e-  
jercicio 1982.

#### 7. REFERENCIAS

- (1) E. Rosenfeld et al., "Construcción y programa de ensayos de un prototipo de vivienda solar en zona templada húmeda", Actas de la 6a. Reunión de Trabajo de ASADES, Catamarca (1980).
- (2) J.L. Guerrero et al., "Muro colector acumulador para el Programa CESAD", Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de ASADES, Córdoba (1980).
- (3) J.L. Guerrero y R. Wainschenker, "Modelo para chimeneas solares", 7a. Reunión de Trabajo de ASADES, Rosario (1981).
- (4) ASHRAE, "1977 Fundamentals", New York (1978).

#### 8. RECONOCIMIENTOS

El cálculo de la estructura de hormigón armado fue realizado por el Ing. Civil Salvador Spampinato.

Las instalaciones sanitarias por el Señor Eduardo Collar.