

BANCO DE PRUEBA DE COLECTORES SOLARES, ESTADO ACTUAL Y PRIMEROS RESULTADOS*

A. Rapallini; O. Muñoz; R. Estol; A. Fabris; H. Grossi Gallegos
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales
Departamento de Energía No-Convencional
Av. Mitre 3100 - 1663 San Miguel - Bs.As.

Resumen

En este trabajo se describe el banco de pruebas de colectores solares que se está terminando de montar en el Centro Espacial San Miguel de la C.N.I.E., dando especial énfasis a las técnicas de medición y las probables normas de ensayo a utilizar.

También se incluyen los resultados de los ensayos realizados con colectores de producción comercial en nuestro país, habiéndose ensayado equipos entregados por los fabricantes. Estos resultados se presentan graficando el rendimiento en función de la relación $\Delta T/I$, siendo ΔT la diferencia entre la temperatura media del fluido y la ambiente e I la radiación solar global incidente sobre el plano del colector.

COLLECTOR TEST FACILITY - PRESENT STATE AND FIRST RESULTS

Abstract

The collector test facility being built at the San Miguel Space Center of the National Space Research Commission of Argentina is described, placing emphasis on the measurement techniques and the probable experimental procedures to be used.

Results of tests carried out with collectors produced commercially by two Argentine manufacturers are also included and shown on a graph. The efficiency vs. the $\Delta T/I$ ratio is plotted, where ΔT is the difference between the average fluid temperature and that of the environment, and I is the global solar radiation incident on the collector surface.

* Trabajo parcialmente financiado por la SECyT; subsidio 8540/78-3

INTRODUCCION

Los objetivos perseguidos al decidir la construcción del banco de pruebas de colectores solares han sido descritos ampliamente en trabajos anteriores (1), (2) y (3), pudiendo ser resumidos describiendo las tres principales aplicaciones para las que fue concebido:

- Optimización de diseños tanto propios como de otros grupos de trabajo.
- Caracterización y determinación de parámetros de funcionamiento con el fin de formular modelos y simular el comportamiento de sistemas solares.
- Formulación de normas de ensayo y control de calidad.

Como se dijera en estos trabajos, el problema de la caracterización del comportamiento de los colectores planos no radica en la decisión de qué parámetros deben ser medidos sino en la definición de las condiciones en que debe realizarse el ensayo y en la presentación de los resultados, a fin de que sean útiles tanto para determinar la performance del colector en sí como para facilitar su comparación con otros. En el terreno específico de la formulación de normas de ensayo debe tenerse presente que una norma existe sólo cuando hay acuerdo en su contenido. Deberá ser lo suficientemente completa como para permitir obtener la información necesaria para el logro del objetivo y lo suficientemente simple como para garantizar aplicabilidad y costo razonable.

La diversidad de funciones, la necesidad de brindar un servicio ágil y la falta de una norma única de uso generalizado obligaron a pensar en una instalación que posibilitara la prueba simultánea de colectores bajo diferentes condiciones de trabajo y capacidad de medición y registro de un número grande de parámetros.

En este trabajo no se discuten las leyes que rigen el funcionamiento de los colectores solares planos, aceptándose como válidas las ecuaciones deducidas por HOTTEL, WOERTZ y WHILLIER (4) y (5); será la finalidad de los ensayos hallar las constantes de estas ecuaciones.

ANTECEDENTES

De las publicaciones que se tomaron como base de trabajo merecen destacarse: ASHRAE STANDARD 93/77 (6), "Testing of Solar Collectors" (7), "Solar Collectors Performance Studies" (8), "A Proposed Method for the Evaluation of Performance Parameters of Flat Plate Solar Collectors" y "Useability of Solar Collectors" (10). En particular, la propuesta de la ASHRAE y de BSE definen con gran detalle las características que debe tener el instrumental, los sensores y los circuitos de medición, contemplando el agua y el aire como posibles fluidos de trabajo. Los demás se refieren, en su mayoría, al ensayo de colectores que usan agua. No es de extrañar que existan menos intentos de normar ensayos de colectores que funcionan con aire; su uso menos generalizado, su gran tamaño y su diseño muy condicionado por la aplicación específica hacen particularmente difícil la fijación de técnicas únicas. Además, la medición

de temperaturas, humedad y caudal exigen dispositivos y métodos más elaborados.

En este trabajo describiremos el sistema proyectado y que se está terminando de construir en el Centro Espacial San Miguel de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.

DESCRIPCION DE LA INSTALACION

Tomando como base el diagrama de la figura 1 se diseñó la instalación esquematizada en la figura 2. Se decidió triplicar los circuitos de acondicionamiento de líquido con el fin de poder realizar experiencias simultáneas y/o disponer de agua a diferentes temperaturas para permitir ensayos rápidos de un colector y de

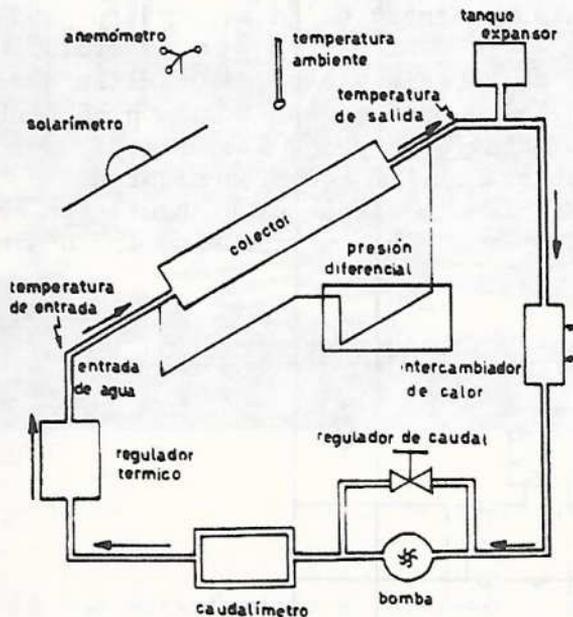
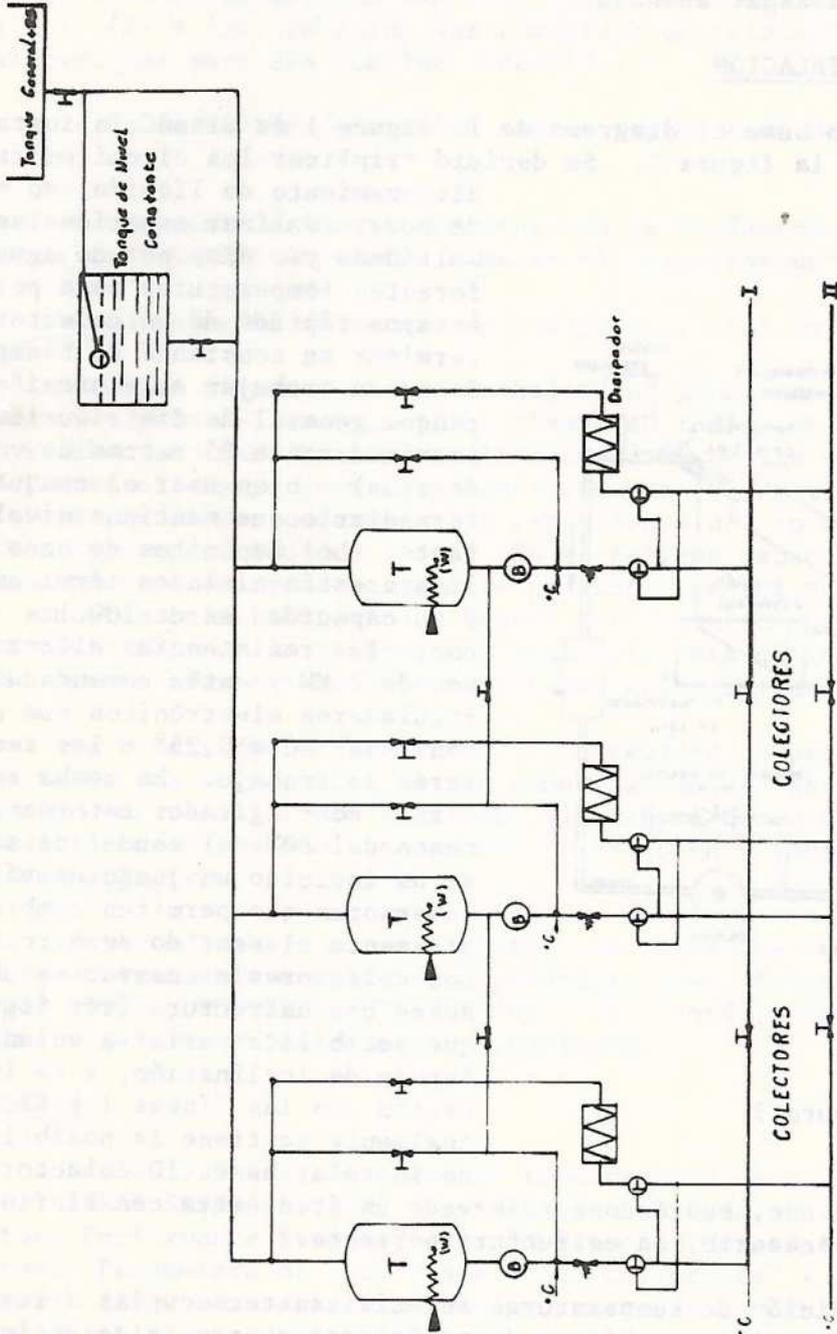


figura 1

terminar su constante de tiempo. Se puede trabajar a la presión del tanque general de distribución (aproximadamente 25 metros de columna de agua) o bien usar el tanque intermedio que mantiene nivel constante. Los depósitos de agua caliente están aislados térmicamente y su capacidad es de 100 lts. cada uno; las resistencias eléctricas son de 2 KW y están comandadas por reguladores electrónicos que permiten fijar en $\pm 0,25^\circ \text{C}$ las temperaturas de trabajo. La bomba es utilizada como agitador retornando no menos del 80% del caudal de salida; se ha incluido un juego de válvulas inversoras que permiten cambiar rápidamente el sentido de circulación. Los colectores a ensayar se ubican sobre una estructura (ver figura 3), que posibilita variar a voluntad el ángulo de inclinación, y se interconectan con las líneas I y II. Actualmente se tiene la posibilidad de instalar hasta 10 colectores de 2

metros cuadrados cada uno, habiéndose reservado un área extra con el fin de poder ampliar, de ser necesario, la estructura portante.

Para la medición de temperaturas se utilizan termocuplas o termoresistencias, para la de caudales, turbinas y/o rotámetros y para la de radiación solar, solarímetros Eppley de precisión. Todos los sensores elegidos cumplen con los requisitos pedidos por la norma ASHRAE 93-77 y la BSE. Para la lectura y registro de datos se adquirió un sistema Hewlett-Packard compuesto por un voltímetro digital con resolución de un microvolt, dos "scanner" de 40 canales cada uno y como unidad de control, una calculadora de mesa HP9875 de 16 Kbytes de memoria y capacidad de almacenar datos en cassette (217 Kbytes).



ESQUEMA DEL BANCO DE PRUEBAS DE
COLECTORES SOLARES
C.N.I.E.

figura 2

La estructura portante es totalmente desarmable para dar mayor flexibilidad a la instalación (ver figura 3). En el extremo oeste de la platea so-

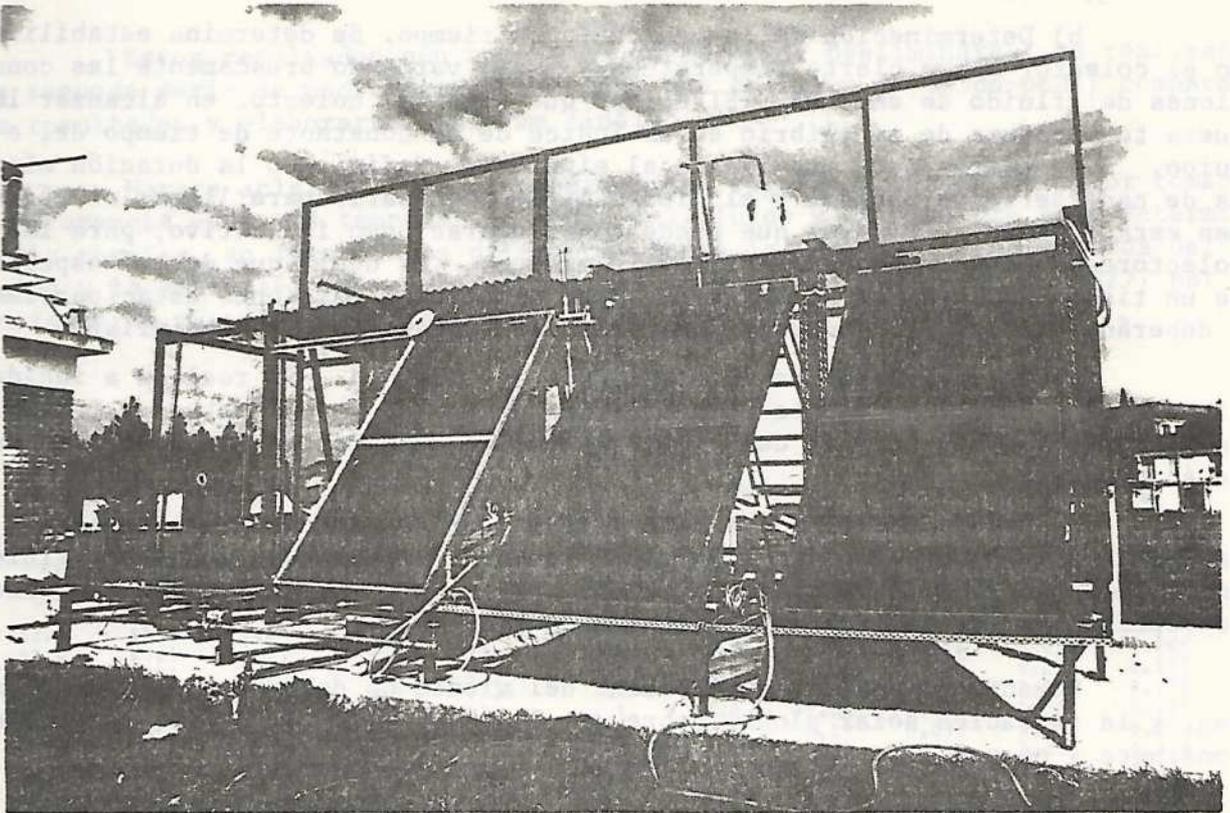


figura 3

bre la que está fundado el sistema se ha reservado un área para la instalación de los elementos de medición y control para ensayar colectores que trabajan con aire. Estos equipos, en general, no necesitan de una estructura portante especial estando previsto instalarlos directamente sobre el pasto.

METODOS DE ENSAYO

Aún no se ha decidido la metodología particular a seguir para determinar la eficiencia de los colectores solares planos; basándose en experiencias hechas en el exterior parecería que la norma 93/77 de ASHRAE presenta algunas ventajas. De todos modos, la diferencia está en la elaboración y presentación de resultados y no en la instrumentación en sí por lo que, en nuestro caso, podremos ensayar colectores bajo cualquiera de las propuestas hasta ahora existentes.

Por un pedido de la Secretaría de Vivienda del Ministerio de Bienestar Social se están ensayando colectores de producción comercial. En este caso se optó por respetar los lineamientos de la norma ASHRAE 93/77. Básicamente cada ensayo exige la realización de:

a) Preacondicionamiento del colector. Se debe dejar, al menos 3 días, el colector expuesto al sol y sin circulación de fluido alguno.

b) Determinación de la constante de tiempo. Se determina estabilizando el colector a una cierta temperatura y luego variando bruscamente las condiciones del fluido de entrada. El tiempo que tarda el colector en alcanzar la nueva temperatura de equilibrio es un índice de la constante de tiempo del equipo. Este ensayo está muy ligado al siguiente, definiendo la duración mínima de cada serie de medidas y el tiempo mínimo necesario para llegar al régimen estacionario. Un valor que puede considerarse como indicativo, para los colectores de diseño tradicional, es 15 minutos. Es decir que deberá esperarse un tiempo no inferior a 15 minutos para alcanzar condiciones estacionarias y deberán efectuarse las mediciones necesarias durante un lapso similar.

c) Determinación de la eficiencia instantánea. Se realiza a incidencia normal y bajo condiciones estacionarias de caudal y temperatura. Debido a las características ópticas del vidrio se admiten ángulos de incidencia de hasta 45 grados.

d) Determinación del factor modificador del ángulo de incidencia o factor de ángulo. Se realiza bajo condiciones de temperatura media del fluido en el colector igual a la temperatura ambiente. Se determina así el rendimiento "óptico" en función del ángulo de incidencia.

Durante el ensayo la velocidad del viento no deberá superar los 5 m/seg. y la radiación solar global sobre el plano del colector deberá mantenerse constante y no ser inferior a los 630 W/m².

A título de ejemplo, en la tabla I se incluyen los valores medidos al ensayar un calefón solar SONNEN-CO, de la firma Ingeniería Solar, para determinar su rendimiento instantáneo a incidencia normal. En la columna correspondiente al área se ha tenido en cuenta la superficie neta de captación, descontando sombras. En tres de los ensayos se conectaron dos colectores en serie, de allí que figure un área mayor y un salto de temperaturas también mayor en las columnas respectivas. Como puede verse en la figura 4 la consistencia de los valores obtenidos es muy buena. La recta fue hallada por el método de los cuadrados mínimos, siendo la ecuación:

$$\eta = 0,70 - 9,63 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) \quad \text{con } r^2 = 0,99$$

utilizando el mismo método puede obtenerse una curva de segundo grado cuya expresión es:

$$\eta = 0,65 - 6 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) - 53,47 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)^2 \quad \text{con } r^2 = 0,99.$$

Ensayos similares fueron realizados sobre otro equipo comercial, el TERMOSOL de la firma SMAR. En la figura 5 se han graficado los puntos obtenidos y también por cuadrados mínimos se determinó que:

$$\eta = 0,61 - 6,60 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) \quad \text{con } r^2 = 0,96$$

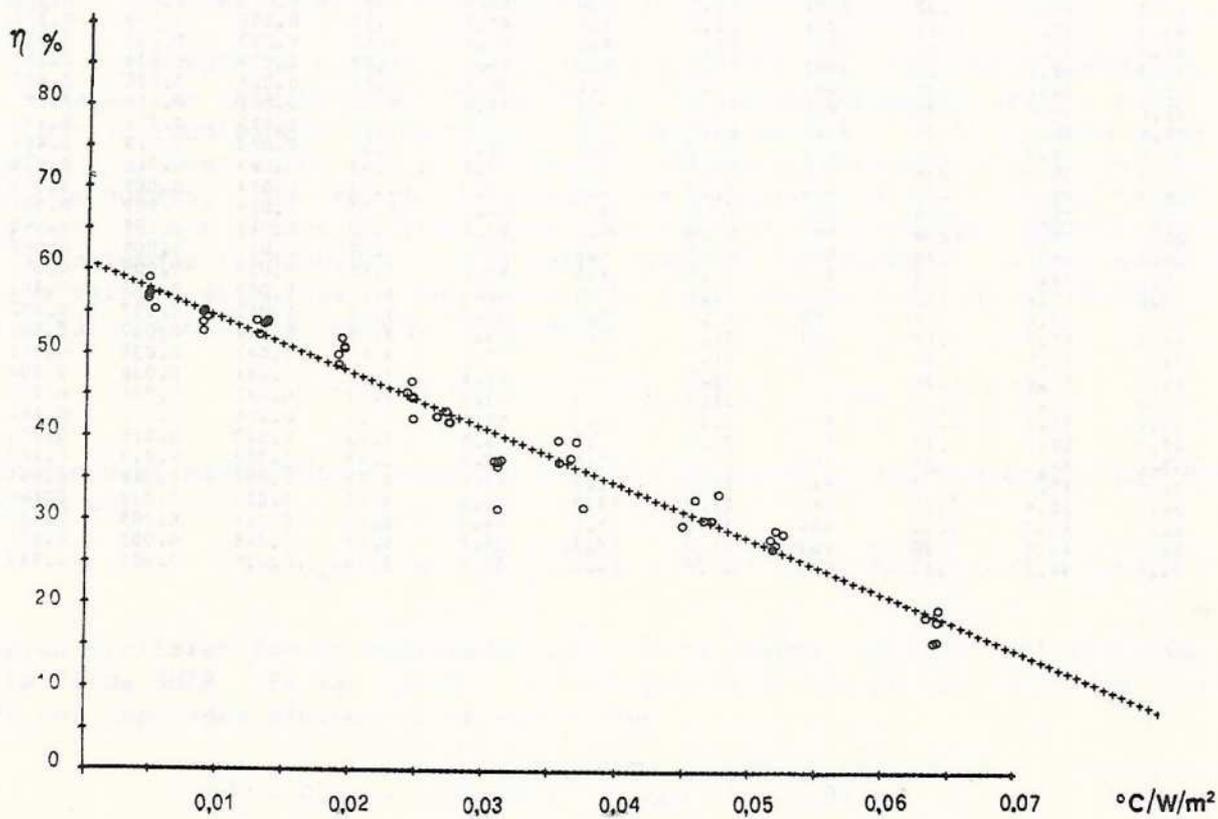
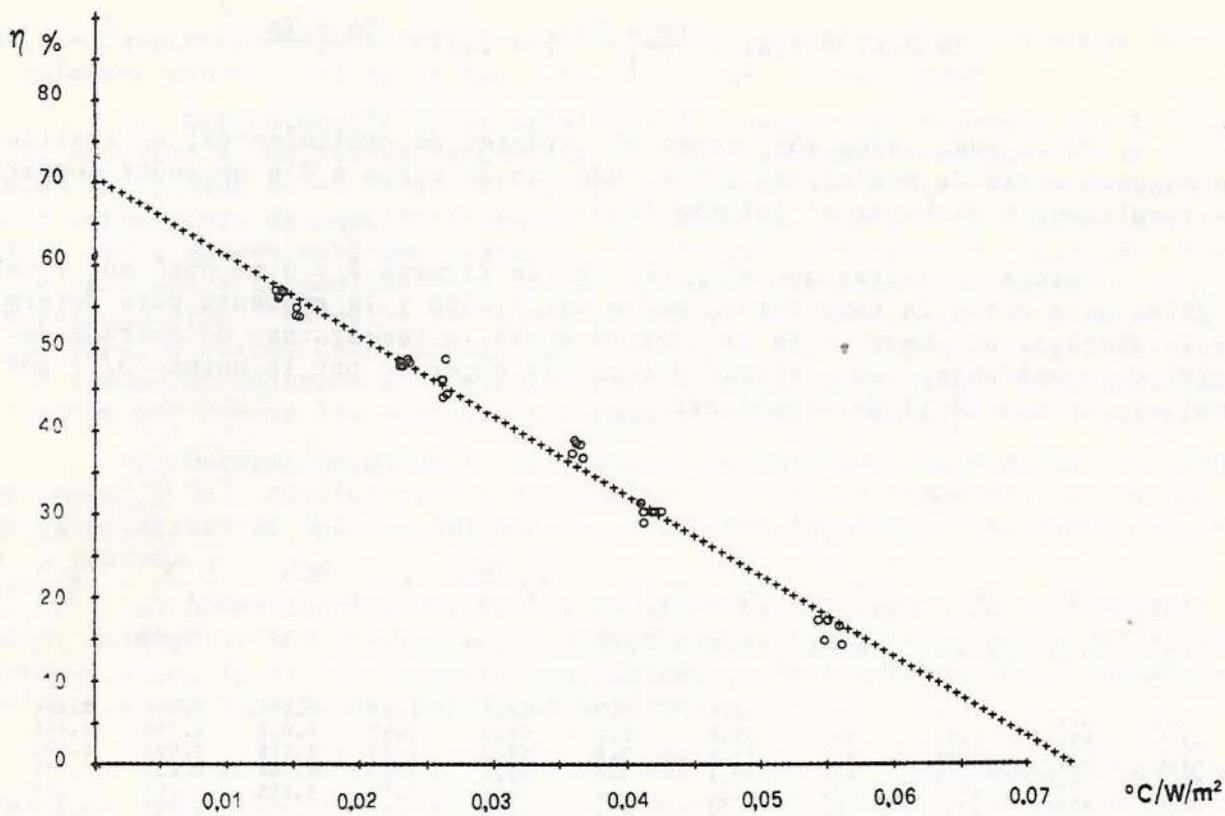
$$\eta = 0,61 - 6,61 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) + 0,21 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)^2 \text{ con } r^2 = 0,96.$$

Estos resultados aún tienen el carácter de preliminares; se realizará una segunda serie de mediciones sobre cada uno de ellos a fin de poder comparar los resultados y elaborar el informe final.

Merece aclararse que al preparar las figuras 4 y 5 se optó por tomar la diferencia entre la temperatura media del fluido y la ambiente para determinar la abscisa, en lugar de la diferencia entre la temperatura de entrada del fluido y la ambiente. Se prefirió alterar lo sugerido por la norma 93/77 por considerarse más fácil de visualizar.

T_1 (°C)	T_2 (°C)	Q (Lts/min)	I (W/m ²)	T_a (°C)	$T_2 - T_1$ (°C)	$T_m = \frac{T_2 + T_1}{2}$ (°C)	A (m ²)	$\frac{T_m - T_a}{I}$ (°C.m ² /W)	$\frac{T_1 - T_a}{I}$ (°C.m ² /W)	η
63.3	65.6	1.26	906	13.6	2.3	64.5	1.57	0.056	0.055	0.144
63.0	65.6	1.29	905	13.6	2.6	64.3	1.57	0.056	0.055	0.166
62.6	65.4	1.26	914	13.6	2.8	64.0	1.57	0.055	0.054	0.173
62.2	64.9	1.29	918	13.6	2.7	63.5	1.57	0.054	0.053	0.172
62.8	65.3	1.26	920	13.6	2.4	64.0	1.57	0.055	0.053	0.149
45.6	52.1	1.30	995	12.6	6.5	48.8	1.57	0.036	0.033	0.384
45.6	52.2	1.32	1002	12.6	6.6	48.9	1.57	0.036	0.033	0.388
45.7	52.1	1.31	1006	12.6	6.4	48.9	1.57	0.036	0.033	0.372
46.1	52.7	1.31	1003	12.6	6.6	49.4	1.57	0.037	0.033	0.384
46.3	52.6	1.29	1000	12.6	6.3	49.4	1.57	0.037	0.034	0.367
31.8	39.8	1.36	1004	12.0	8.0	35.8	1.57	0.024	0.020	0.486
31.8	39.8	1.36	999	12.0	7.9	35.8	1.57	0.024	0.020	0.482
31.6	39.6	1.36	1020	12.0	8.0	35.6	1.57	0.023	0.019	0.478
31.6	39.7	1.36	1021	12.0	8.1	35.7	1.57	0.023	0.019	0.483
31.8	39.8	1.36	1019	12.0	8.0	35.8	1.57	0.023	0.019	0.479
19.9	29.7	1.29	999	11.0	9.8	24.8	1.57	0.014	0.009	0.569
20.1	29.8	1.29	1003	11.0	9.7	24.9	1.57	0.014	0.009	0.561
20.1	29.7	1.29	995	11.0	9.7	24.9	1.57	0.014	0.009	0.562
20.2	29.8	1.29	981	11.0	9.6	25.0	1.57	0.014	0.009	0.568
20.0	29.6	1.29	974	11.0	9.6	24.8	1.57	0.014	0.009	0.569
49.6	57.4	1.29	749	21.5	7.8	53.5	3.13	0.043	0.037	0.302
49.8	58.0	1.28	767	21.5	8.1	53.9	3.13	0.042	0.037	0.302
49.8	57.9	1.29	770	21.5	8.0	53.8	3.13	0.042	0.037	0.302
49.2	57.5	1.29	773	21.5	8.3	53.3	3.13	0.041	0.036	0.312
49.5	57.6	1.29	776	21.5	8.1	53.6	3.13	0.041	0.036	0.302
49.8	57.5	1.29	776	21.5	7.7	53.6	3.13	0.041	0.036	0.289
36.9	50.2	1.33	856	21.0	13.3	43.5	3.13	0.026	0.019	0.461
37.3	50.0	1.33	850	21.0	12.7	43.6	3.13	0.027	0.019	0.443
37.1	49.8	1.33	851	21.0	12.6	43.5	3.13	0.026	0.019	0.440
36.5	49.6	1.33	843	21.0	13.1	43.1	3.13	0.026	0.018	0.461
36.5	50.4	1.33	847	21.0	13.9	43.5	3.13	0.027	0.018	0.486
25.7	43.7	1.18	884	21.0	18.0	34.7	3.13	0.016	0.005	0.537
25.7	43.9	1.20	903	21.0	18.2	34.8	3.13	0.015	0.005	0.539
25.6	44.3	1.20	910	21.0	18.7	35.0	3.13	0.015	0.005	0.549

TABLA I



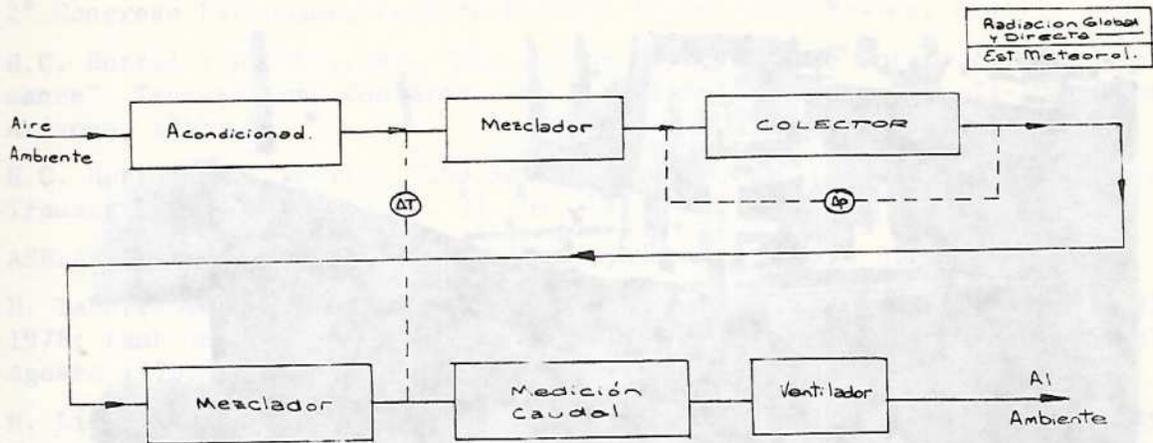
figuras 4 y 5

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La aplicación de la norma ASHRAE 93/77, aunque aún en un número limitado de ensayos, parece no presentar mayores inconvenientes. La razonable consistencia y la relativa poca dispersión de los valores obtenidos aparentemente invalidan críticas hechas por algunos autores (ver referencias 10 y 11) señalando la difícil reproducibilidad de las condiciones de ensayo.

Queda aún por demostrar la utilidad real de los resultados de los ensayos propuestos en la formulación de modelos numéricos. Pensamos que es uno de los aspectos que más influirán en la elección de una metodología definitiva.

En lo referente a la medición de los colectores que trabajan con aire aún se está en la etapa del diseño y construcción de los componentes de la instalación. El diagrama de bloques está representado en la figura 6. Por razones de diseño de la instalación el rango de caudales de trabajo estará limitado entre 5 y 15 m³/min. En la figura 7 se muestran fotografías de algunos elementos que serán utilizados para el ensayo de colectores de aire de gran superficie.



Para Colectores con caudales entre 5 y 15 m³/min

BANCO COLECTORES DE AIRE

figura 6

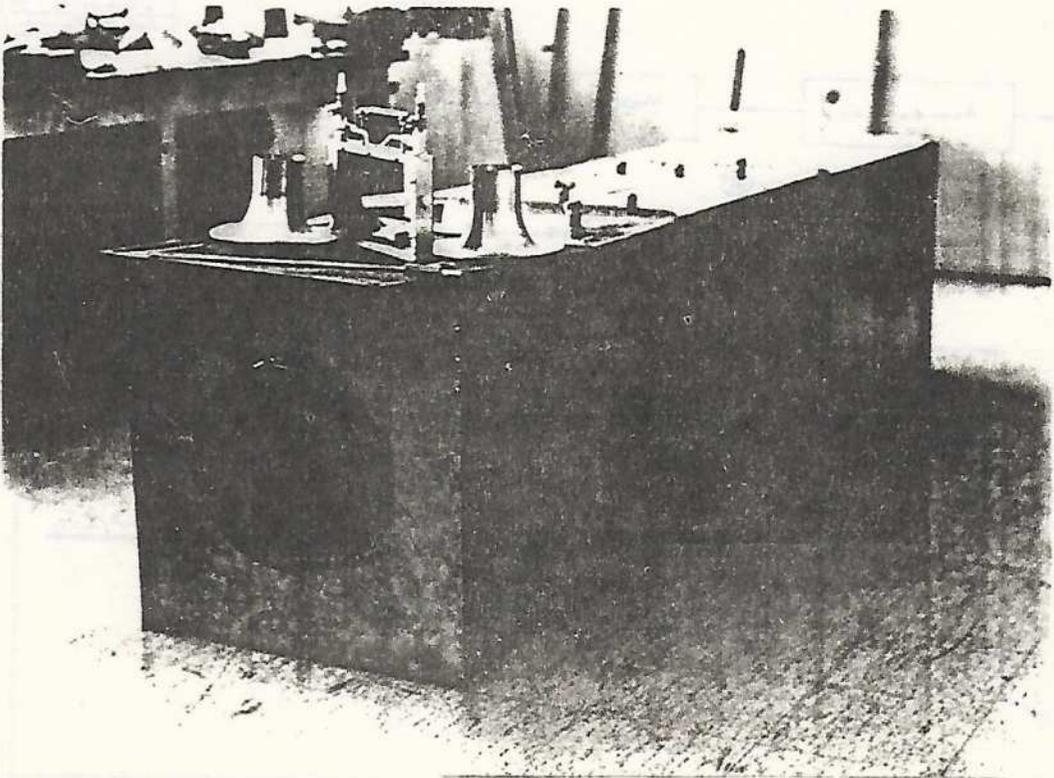
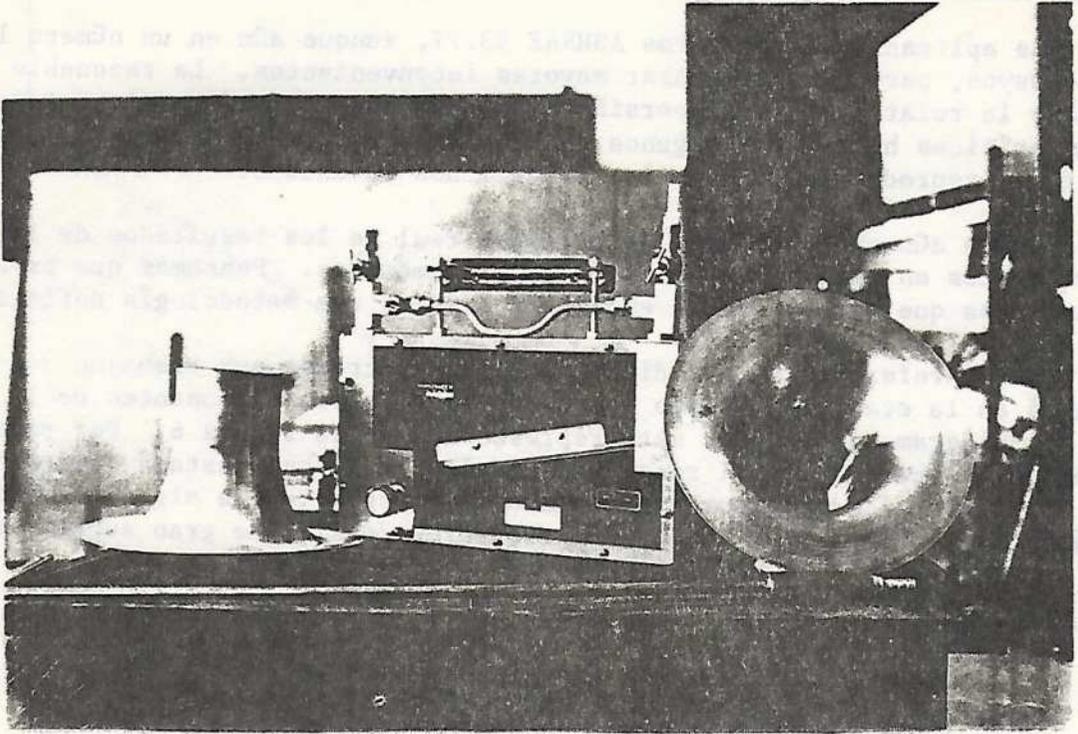


figura 7

NOMENCLATURA

- T1 : Temperatura de entrada del fluido, °C.
T2 : Temperatura salida del fluido, °C.
Ta : Temperatura ambiente, °C.
Tm : Temperatura media del fluido, °C.
Q : Caudal, lts/min⁻¹.
I : Radiación solar global, Wm⁻².
A : Area neta de captación, m².
η : Rendimiento.

REFERENCIAS

1. A. Rapallini y H. Grossi Gallegos, "Proyecto: Banco de Prueba de Colectores Solares". Actas de la III Reunión de Trabajo de la ASADES, Mendoza, 1977.
2. R. Estol y H. Grossi Gallegos, "Calibración de Instrumental y Ensayo de Equipos Solares en el Observatorio de Física Cósmica de San Miguel". Actas del Seminario sobre el Aprovechamiento de la Energía Solar y Eólica", San Miguel, 1978.
3. A. Rapallini y H. Grossi Gallegos, "Banco de Colectores Solares". Actas del 2° Congreso Latinoamericano de Energía Solar. Joao Pessoa, Brasil, 1978.
4. H.C. Hottel y A. Whillier, "Evaluation of Flat Plate Solar Collector Performance", Transactions Conference on Use of Solar Energy, pp. 74-104, Tucson, Arizona, 1955.
5. H.C. Hottel y B. Woertz, "The Performance of Flat Plate Solar Collectors", Transactions, ASME, 64, pp. 91-104, 1942.
6. ASHRAE, "Rating of Solar Collectors", ASHRAE Standard 93/77, New York, 1977.
7. H. Tabor, "Testing of Solar Collectors", Solar Energy, Vol. 20, pag. 293, 1978; también presentado en el Congreso Internacional ISES 75, Los Angeles, Agosto 1975.
8. N. Lior y A. Saunders, "Solar Collector Performance Studies", University of Pennsylvania, Philadelphia, 1974.
9. R.P. Dunkle y P. Cooper, "A Proposed Method for the Evaluation of Performance Parameters of Flat Plate Solar Collectors". ISES Congress, Los Angeles, 1975.
10. BSE-Working Group, "Useability of Solar Collectors - Solar Collector Efficiency Test", Bundesverband Solarenergie, Mayo 1978.
11. Proceedings of the Solar Thermal Concentrating Collector Technology Symposium Session 1, Group 4, pag. 311, SERI/TP-34-048, Agosto 1978.