

ENSAYO DE COLECTORES SOLARES EN EL BANCO DE PRUEBAS DE LA
COMISION NACIONAL DE INVESTIGACIONES ESPACIALES *

Alfredo Rapallini, María Susana Chiabrera, Oscar Muñoz, Omar Pellegrini, Bruno Mandel, Francisco Asis.

División Energía Solar

Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Av. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires

Resumen:

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos al ensayar colectores solares planos, de fabricación comercial, en el banco de pruebas de la División Energía Solar de la CNIE. Dos de los colectores ensayados fueron sometidos a un año de exposición continua al sol, la mayor parte del tiempo sin líquido en su interior, con el fin de estudiar la variación de su comportamiento térmico bajo condiciones extremas que, en cierto modo, equivalen a un envejecimiento acelerado.

También se incluyen los resultados obtenidos al ensayar un calefón solar, de fabricación comercial, según un programa de ensayos que refleja las condiciones reales de uso.

Introducción:

La División Energía Solar del Departamento de Energía No Convencional, de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, ha instalado un banco de pruebas de colectores solares con tres fines básicos:

- Optimizar diseños de colectores solares tanto propios como de terceros.
- Caracterizar y determinar parámetros de funcionamiento con el fin de formular modelos y simular el comportamiento de sistemas solares.
- Formular normas de ensayo y de control de calidad.

Dentro de este contexto se realizaron experiencias orientadas a:

- a) Verificar el funcionamiento del banco de pruebas

* Trabajo parcialmente financiado por el Programa Nacional de Energía No Convencional de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología.

luego de introducir mejoras constructivas;

- b) Comprobar la variación de eficiencia de colectores ensayados anteriormente;
- c) Ensayar nuevos colectores comerciales; y
- d) Continuar con el uso de la norma ASHRAE 93-77 a fin de tomar una decisión sobre su posible empleo como norma nacional.

Paralelamente se continuó con los ensayos de calefones solares que, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ministerio de Bienestar Social, fueron enviados por sus fabricantes para la obtención de certificados de aptitud.

La forma de ensayo ha sido objeto de un detallado análisis, sobre todo en lo referente a la simulación de su funcionamiento en condiciones reales de uso.

Descripción del banco de pruebas

En trabajos anteriores (1), (2), (3) y (4) se ha fundamentado debidamente la instalación, por lo que nos remitiremos a resumir sus características generales.

En la figura 1 se puede observar la distribución de los distintos elementos constitutivos: caudalímetros, válvulas de venteo, bombas, termotanques, disipadores, tanque de expansión y válvula de regulación de caudal. Las bombas son utilizadas como agitadoras del volumen de agua contenido en los tanques, retornando más del 80 % del total del líquido impulsado. Se dispone de tres circuitos independientes que, en caso de ser necesarios grandes caudales, pueden ser conectados en serie. El regulador de temperatura fue objeto de un estudio especial (5) y permite mantener la temperatura de los 100 litros de agua del tanque con oscilaciones no mayores de 0,2°C.

Para la medición de caudal se utilizan momentáneamente rotámetros y las temperaturas se miden con termocuplas de cobre-constantan. La radiación solar se mide con un solarímetro Eppley de precisión colocado en forma paralela a los colectores solares.

Método de ensayo y resultados obtenidos

Todos los ensayos se realizan sobre la base de la norma ASHRAE 93-77 (6) ya descripta en trabajos anteriores (3), (4); debiéndose medir: las temperaturas de entrada y salida de cada colector solar, la temperatura ambiente, el caudal de agua y la radiación solar incidente sobre el plano del colector. Los resultados se tabulan y, por el método de los cuadrados mínimos, se

halla la curva de eficiencia en función del parámetro $\Delta T/I$. Siendo ΔT la diferencia entre la temperatura de entrada del fluido al colector y la temperatura ambiente e I la radiación solar incidente sobre el plano del colector expresada en W/m^2 . Para este trabajo se optó definir el parámetro ΔT como la diferencia entre la temperatura media del fluido y la temperatura ambiente con el fin de poder efectuar comparaciones con los resultados publicados (4).

Se ensayaron tres colectores de fabricación comercial, dos de ellos después de un año de exposición continua al sol y el tercero sometido a estudio por primera vez. Merece destacarse que los colectores que se mantuvieron expuestos al sol estuvieron durante gran parte del tiempo sin líquido en su interior, motivo por el cual sufrieron variaciones térmicas muy marcadas y sus placas colectoras alcanzaron temperaturas mucho más elevadas que en uso normal. El objetivo perseguido con esta severa prueba fue analizar si se alternaban las propiedades superficiales y, dado que en ambos casos no existe unión metálica entre tubos y placa colectoras, comprobar si el ciclado térmico afectaba la presión que deben ejercer los respaldos colocados bajo las parrillas de tubos para garantizar una adecuada transferencia de calor. Es muy difícil estimar a qué lapso de tiempo, bajo condiciones normales de uso, equivale esta prueba pero, si se tienen en cuenta las elevadas temperaturas ambiente reinantes durante el pasado verano en la provincia de Buenos Aires, podría pensarse en unos cinco años como valor aceptable.

Los resultados obtenidos en los ensayos están reunidos en las tablas I, II y III; y las eficiencias en función de $\Delta T/I$ se han graficado en las figuras 2, 3 y 4 que corresponden a los colectores SMAR, SONNEN CO y EMEGE respectivamente.

Debe destacarse que todas las mediciones realizadas se vieron influenciadas por las condiciones climáticas, particularmente desfavorables, reinantes durante los meses de mayo y junio de 1980, esto explica la dispersión obtenida en los puntos graficados. Cada una de las curvas de eficiencia merece un comentario aparte.

a) Colector SMAR (figura 2 y Tabla I): Se nota un corrimiento de la recta obtenida en estos ensayos respecto de la incluida en la referencia (4). La recta ha sufrido prácticamente una traslación lo que refleja una disminución del término F_r (3%) de la ecuación de Whillier y Hottel. Como la pendiente no ha variado podemos decir que el término $F_r U_L$ tampoco varió por lo tanto la única posibilidad es que se haya producido una disminución del coeficiente de absorción (α), lo cual concuerda con las observaciones visuales de la placa colectoras pues se ha notado un cambio en la coloración y la aparición de manchas blancuzcas en algunas zonas. Una causa posible de esto podría ser el deterioro sufrido por los burletes, quienes permiten, bajo precipitaciones de cierta intensidad, el ingre-

so de agua en algunos puntos. Quizás no deba tomarse el apartamiento experimentado por la curva de eficiencia como una medida real del deterioro sufrido por la superficie colectora, la dispersión de los puntos obtenidos no permite asegurar su valor en términos absolutos aunque sí marca su tendencia.

Como conclusión importante merece destacarse la no variación del coeficiente global de trasmisión de calor entre placa colectora y el líquido circulante en los tubos o sea que, el tiempo y las severas condiciones impuestas no afectan significativamente el contacto entre tubos y placa.

Otro detalle observado fue la destrucción del galvanizado interior de los tubos, fundamentalmente debido a la acción de la humedad y la altas temperaturas. Este proceso se vio favorecido por no haberse mantenido permanentemente llenos de agua los colectores. Su uso, entonces, no es recomendable para grandes instalaciones que trabajen a circuito abierto y donde se utilice la técnica de descarga para evitar congelamientos, por el contrario utilizándolos en calefones solares, donde las temperaturas medias son inferiores y están permanentemente llenos de agua, el deterioro del galvanizado interior se produce en forma mucho más lenta y comparable al que experimentan las instalaciones convencionales de agua caliente domiciliaria, que utilizan hierro galvanizado.

- b) Colector SONNEN CO (figura 3, Tabla II): al ensayar nuevamente este colector luego de un año de exposición continua al sol, nos hemos encontrado con un hecho inesperado: su eficiencia global mejoró. Ello no puede atribuirse al mejoramiento del coeficiente de absorción ni a la variación de la transmitancia del vidrio pues la ordenada al origen no sufrió modificación. Las posibilidades que quedan son una disminución de la emitanancia de la placa colectora, poco probable pues la superficie está pintada, o bien a una mejora de la conductancia térmica entre la chapa y los tubos. Esto último es factible pues, por no haber soldadura, ambos elementos trabajan en forma diferente al experimentar dilataciones y contracciones de origen térmico pudiendo entonces haber mejorado el contacto entre ellos. La duda que queda es que si bien en este caso se produjo una mejora en otros bien podría ocurrir el efecto opuesto. Lamentablemente, por razones climáticas, no pudo ensayarse otro colector del mismo fabricante que también fue sometido al mismo tratamiento; en el futuro inmediato se procederá a su estudio con el fin de obtener conclusiones válidas sobre estas modificaciones.
- c) Colector EMEGE (figura 4, Tabla III): Este colector se ha sometido a ensayo por primera vez y los resultados son provisorios. Creemos, por sus características constructivas, que la curva de eficiencia debe ser algo mejor que la obtenida.

Ensayo de un calefón solar y resultados:

La División Energía Solar de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, por pedido de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, está ensayando calefones solares de fabricación comercial con el fin de comprobar su aptitud técnica. En este capítulo se incluyen los resultados obtenidos sobre uno de ellos, en particular el fabricado por la firma SMAR bajo el nombre TERMOSOL.

Un calefón solar, para que los resultados sean representativos debe ser probado bajo condiciones climáticas variables y siguiendo pautas de consumo (extracciones de agua) que reflejen, lo mejor posible, el funcionamiento real. Para la realización de esta e independientemente de la adquisición del instrumental adecuado, se debió definir totalmente el procedimiento de ensayo pues se carecía de una norma, como la ASHRAE 93-77 para los colectores solares, que fuera reconocida internacionalmente.

La secuencia elegida para las extracciones es la representada en la table IV y coincide con la utilizada por la firma SMAR para estudiar el comportamiento de sus equipos. Quizás podría pensarse que las extracciones que se realizan a la mañana son algo reduci-

Tabla IV

Hora	Cant. Extraída (litros)
--	
8:15	40
10:15	20
12:15	15
14:15	12
16:15	15
19:15	75

das pero, a los fines experimentales, esto se ve compensado por una gran extracción a última hora del día que tiende a crear condiciones térmicas más exigentes durante el funcionamiento diurno.

Los ensayos cuyos resultados se presentan aquí fueron realizados durante aproximadamente veinte días, utilizando los mismos colectores solares que fueron ensayados en el banco de pruebas y cuyos resultados se comentaron anterior-

mente en este mismo trabajo. Se colocaron 7 sensores de temperatura (termocuplas), cuatro dentro del tanque y a diferentes alturas, uno en la línea de salida de agua caliente, otro en la de alimentación de agua fría y el último para medir la temperatura ambiente; la radiación solar se midió con un solarímetro Eppley de precisión colocado paralelamente a los colectores. Todos los sensores se conectaron a un sistema de adquisición de datos Hewlett-Packard 3052 A quien también comandaba la válvula solenoide. Este sistema fue programado para registrar en cinta magnética los valores horarios de temperatura y radiación así como para operar la válvula de extracción a las horas preestablecidas, registrando también la temperatura media de entrada y salida de agua. Con los datos obtenidos se calcularon dos rendimientos diferentes tomando como límites las 7 de la mañana de un día y las 7 del día siguiente (rendimiento diario) y las 7 y 19 horas de un mismo día (rendimiento

diurno). Esta diferenciación se funda en el hecho de querer caracterizar la diferencia de lo que sucede durante el día, cuando el equipo está recibiendo más energía de la que pierde, y durante el ciclo completo, en que interviene la noche como lapso en que sólo se pierde energía. También se calculó un coeficiente global de pérdidas de calor del tanque tomando el descenso de la temperatura media del tanque entre el anochecer de un día y el amanecer del día siguiente. Este coeficiente permite calificar la capacidad de almacenamiento del conjunto tanque-colectores durante períodos sin radiación solar. Las ecuaciones utilizadas para determinar los rendimientos definidos más arriba y el coeficiente global de pérdidas de calor son:

$$\eta_{\text{diario}} = \frac{M \cdot C_p \cdot (T_7 - T_{7*}) + \sum L \cdot (T_s - T_e)}{R \cdot A} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\eta_{\text{diurno}} = \frac{M \cdot C_p \cdot (T_{19} - T_{7*}) + \sum L \cdot (T_s - T_e)}{R \cdot A} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\alpha = \frac{M \cdot C_p \cdot (T_{7*} - T_{19})}{12 \cdot A_t \cdot (T_m - T_a)} \quad \text{Ec. 3}$$

- donde: M= masa del agua contenida en el equipo en kg.
 C_p = calor específico del agua en kcal/°C.kg.
 T_7 = temperatura media del tanque a las 7 horas en °C.
 T_{7*} = idem anterior pero a las 7 horas del día siguiente
 T_{19} = idem pero a las 19 horas del día de ensayo
L= cantidad de agua extraída durante cada extracción
 T_s = temperatura media del agua extraída durante cada extracción en °C.
 T_e = temperatura media del agua fría ingresada al tanque
R= radiación global incidente durante todo el día sobre la superficie colectora en kcal/m².
A= área total de colección solar en m².
 A_t = área externa del tanque de almacenamiento en m².
 T_m = temperatura media del tanque durante el período en que se calcula el coeficiente α .
 T_a = temperatura media ambiente durante el período para el que se calcula el coeficiente de pérdidas
 η_{diurno} = rendimiento durante el período en que hay radiación solar.
 η_{diario} = rendimiento durante un ciclo de 24 horas.
 α = coeficiente global de pérdidas de calor.

En las figuras 5 a 13 se han graficado las temperaturas medias del tanque durante algunos de los días de ensayo así como la radiación solar incidente sobre el plano de colección. En ellas se incluyen también los rendimientos calculados, el coeficiente global de pérdidas de calor y datos meteorológicos que caracterizan a cada uno de los días. En la Figura 13 se han graficado las temperaturas dentro del tanque, en 4 niveles diferentes (Fig. 14), durante un día tipo de ensayo. Se destaca el buen mantenimiento de la estratificación.

En los gráficos de las Figuras 5 a 13 se han incluido días con buena radiación solar, heliofania relativa superior al 65% y días con nubosidad elevada, heliofania relativa inferior al 40%. Puede observarse que obviamente la energía total colectada es menor en estos últimos casos pero los rendimientos no varían significativamente.

Merece destacarse que este equipo funcionó utilizando los mismos colectores solares que se ensayaron en el banco de pruebas y cuyos resultados y comentarios se incluyen en la primera parte de este trabajo. Esto indica que aún siendo un equipo que fue sometido a situaciones extremas y habiéndose deteriorado la curva de eficiencia de los colectores mantiene un rendimiento medio comparable al promedio de los resultados que se encuentran en las publicaciones especializadas.

Conclusiones

Es indudable que, debido a las condiciones climáticas particulares que reinaron durante el período en que se realizaron los ensayos de los colectores solares, no pueden extraerse conclusiones terminantes respecto a su variación de eficiencia en función del tiempo. Si puede afirmarse que esta variación es apreciable y que su conocimiento es de fundamental importancia para el diseño de instalaciones, sobre todo grandes, donde deberá tenerse en cuenta este deterioro para el cálculo del área total de colección

Para el caso del calefón solar ensayado queda claro que, aún con un colector con una curva de comportamiento no demasiado buena, los rendimientos son aceptables. Las temperaturas relativamente bajas de trabajo y el hecho de funcionar por termosifón son el justificativo.

Referencias:

- 1) A. Rapallini y H. Grossi Gallegos, "Proyecto Banco de Pruebas de Colectores Solares". Actas de la 3ª 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 Nacional de Física Cósmica de San Miguel". Actas del Seminario sobre el Aprovechamiento de la Energía Solar y Eólica", San Miguel 1978

Aprovechamiento de la Energía Solar y Eólica", San Miguel 1978

- 3) A. Rapallini y H. Grossi Gallegos, "Banco de Pruebas de Colectores Solares", Actas del 2º Congreso Latinoamericano de Energía Solar, Joao Pessoa, Brasil, 1978.
- 4) A. Rapallini y otros, "Banco de Pruebas de Colectores Solares: Estado Actual y Primeros Resultados", Actas de la 5º Reunión de Trabajo de la ASADES, Córdoba, 1979.
- 5) A. Gonzalez y otros, " Dispositivos Electrónicos para Equipos Solares: Control de Temperatura y Relevador Solar", trabajo presentado en la 6º Reunión de trabajo de la ASADES, Caturmarca 1980.

TABLA I

Temperat. de entrada (°C)	Temperat. de salida (°C)	Temperat. ambiente (°C)	Caudal (l/min.)	Radiación Solar (W/m ²)	Rendim. (%)	$\Delta T/I$ (°C m ² /W)
66,57	66,64	10,0	1,33	820	0,5	0,069
66,66	66,89	10,0	1,39	814	0,8	0,070
66,66	66,77	10,0	1,33	808	0,8	0,070
66,66	67,04	10,0	1,36	843	2,8	0,067
66,66	67,00	10,0	1,30	832	2,4	0,068
65,48	66,34	10,0	1,30	733	7,0	0,076
65,37	66,25	10,0	1,26	797	6,4	0,070
65,46	66,66	10,0	1,23	843	8,1	0,066
65,37	66,75	10,0	1,26	873	9,2	0,064
64,78	65,53	10,2	1,20	896	4,6	0,061
64,26	65,93	10,2	1,10	913	9,3	0,060
64,35	66,16	10,2	1,26	913	11,6	0,060
50,35	53,12	10,5	1,53	971	20,1	0,042
50,30	53,09	10,5	1,49	989	19,5	0,042
50,21	53,07	10,5	1,50	989	20,0	0,042
50,04	53,67	10,5	1,56	1030	25,4	0,040
49,93	53,72	10,5	1,53	1030	26,0	0,040
39,92	44,95	10,7	1,36	989	32,0	0,032
39,85	44,76	10,7	1,36	983	31,4	0,032
39,85	45,07	10,7	1,26	983	31,0	0,032
39,85	45,18	10,7	1,30	989	32,3	0,032
39,73	45,18	10,7	1,16	989	29,6	0,032
34,07	39,04	10,7	1,06	1018	24,0	0,025
34,21	39,20	10,7	1,13	867	30,0	0,030
29,12	33,97	10,6	1,06	843	28,2	0,025
29,12	34,21	10,6	1,00	843	27,8	0,025
24,74	31,55	10,6	1,00	733	42,8	0,024
20,51	27,17	10,4	0,96	640	46,3	0,021
20,51	26,68	10,4	1,03	628	46,7	0,021
43,39	47,11	13,7	1,46	1035	24,9	0,030
43,27	46,88	13,7	1,59	1035	25,7	0,030
43,25	46,88	13,7	1,59	1035	25,7	0,030
43,25	46,93	13,7	1,43	1035	23,5	0,030
43,08	47,87	13,7	1,36	1030	29,2	0,031
43,10	47,77	13,7	1,46	1030	30,6	0,031
33,24	38,42	13,7	1,23	1030	28,5	0,021
33,20	38,51	13,7	1,36	1030	32,5	0,022
32,91	38,80	13,7	1,30	1030	34,2	0,022
32,81	38,99	13,7	1,43	1030	39,6	0,022
32,86	39,09	13,7	1,30	1030	36,2	0,022
20,66	28,75	14,0	1,20	989	45,2	0,011
20,73	28,63	14,0	1,26	983	43,2	0,011
20,81	28,66	14,0	1,23	983	45,3	0,011
20,86	28,56	14,0	1,23	983	44,5	0,011
20,93	28,49	14,0	1,26	983	44,8	0,011

TABLA II

Temperat. de entrada (°C)	Temperat. de salida (°C)	Temperat. ambiente (°C)	Caudal (l/min.)	Radiación Solar (W/m ²)	Rendim. (%)	$\Delta T/I$ (°C m ² /W)
66,66	68,69	10,0	1,79	820	19,7	0,070
67,11	68,24	10,0	1,79	815	11,1	0,071
66,89	68,24	10,0	1,86	808	13,8	0,071
67,34	68,47	10,0	1,73	843	10,3	0,069
67,11	68,47	10,0	1,69	832	12,3	0,069
49,65	53,84	10,6	1,96	1024	35,6	0,040
49,65	54,07	10,6	1,93	1018	37,2	0,041
49,76	54,07	10,6	2,06	1018	38,7	0,041
49,65	53,84	10,6	2,03	1018	37,1	0,040
49,65	53,79	10,6	2,26	1018	40,8	0,040
40,30	45,54	10,7	2,22	989	52,4	0,033
40,21	45,70	10,7	2,09	983	51,9	0,033
40,21	45,66	10,7	1,73	983	42,6	0,033
40,44	45,89	10,7	1,69	989	41,5	0,033
40,21	46,13	10,7	1,59	989	42,4	0,033
36,02	40,44	10,7	1,60	987	49,5	0,034
36,02	40,44	10,7	2,16	954	44,5	0,029
36,09	40,56	10,7	2,06	942	43,4	0,029
36,04	40,59	10,7	2,09	942	44,9	0,029
36,07	40,59	10,7	2,22	942	47,4	0,029
29,36	33,01	10,6	2,36	873	43,8	0,024
29,36	33,49	10,6	2,06	861	43,9	0,024
29,36	33,49	10,6	2,19	843	47,7	0,025
29,36	33,73	10,6	2,06	843	47,7	0,025
29,36	33,80	10,6	2,06	838	48,5	0,025
25,20	29,85	10,5	2,09	727	59,5	0,023
25,20	29,85	10,4	2,03	725	57,8	0,024
25,45	29,85	10,4	2,16	715	59,0	0,024
25,45	29,61	10,4	2,16	713	56,0	0,024
25,45	29,61	10,4	2,09	710	54,5	0,024
20,76	24,47	10,3	2,12	669	52,4	0,018
20,76	24,37	10,3	2,09	646	52,0	0,019
20,76	24,47	10,3	2,06	640	53,1	0,019
20,76	24,22	10,3	2,19	634	53,2	0,019
20,76	24,34	10,3	2,12	628	53,8	0,020

TABLA III

Temperat. de entrada (°C)	Temperat. de salida (°C)	Temperat. ambiente (°C)	Caudal (l/min.)	Radiación Solar (W/m ²)	Rendim. (%)	$\Delta T/I$ (°C m ² /W)
51,97	54,99	13,5	2,09	1030	21,4	0,039
51,83	55,15	13,5	2,09	1030	23,5	0,039
51,93	55,50	13,5	2,16	1030	26,1	0,039
51,88	55,29	13,6	2,19	1030	25,3	0,039
43,41	48,49	13,7	1,99	1040	34,2	0,031
43,29	47,30	13,7	2,09	1040	28,3	0,031
43,26	47,37	13,7	1,79	1040	24,8	0,031
43,53	49,01	13,7	2,13	1040	39,3	0,031
43,53	49,17	13,7	1,99	1040	37,9	0,032
43,50	49,41	13,7	1,66	1040	33,0	0,032
43,26	48,35	13,7	1,99	1040	34,2	0,031
43,31	49,17	13,7	1,93	1040	38,0	0,031
43,19	49,64	13,7	1,86	1030	40,6	0,032
43,12	49,85	13,7	1,83	1030	41,6	0,032
43,24	49,87	13,7	1,89	1030	42,6	0,032
43,36	49,87	13,7	1,86	1030	41,1	0,032
43,36	49,73	13,7	1,89	1030	40,9	0,032
33,39	40,68	13,7	1,89	1030	46,8	0,023
33,19	40,68	13,7	2,03	1030	51,4	0,023
33,15	40,72	13,7	1,86	1030	47,8	0,023
33,24	40,30	13,7	2,03	1030	48,4	0,022
33,32	40,15	13,7	1,93	1030	44,6	0,022
33,32	40,06	13,7	1,89	1030	43,3	0,022
21,10	28,63	14,0	1,89	989	50,3	0,011
21,13	28,77	14,0	1,83	983	49,6	0,011
21,25	28,80	14,0	1,93	983	51,6	0,011
21,28	28,82	14,0	1,93	983	51,6	0,011
21,32	28,73	14,0	1,96	983	51,5	0,011
21,37	28,85	14,0	1,89	971	50,8	0,011
21,42	28,82	14,0	1,86	971	49,4	0,011

COLECTOR SMAR

tubos: de hierro
 chapa: de hierro
 cubierta: un vidrio
 unión chapa-tubo: a presión
 área: 1,51 m²

$$= 0.507 - 6.78 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)$$

con $r^2 = 0.90$

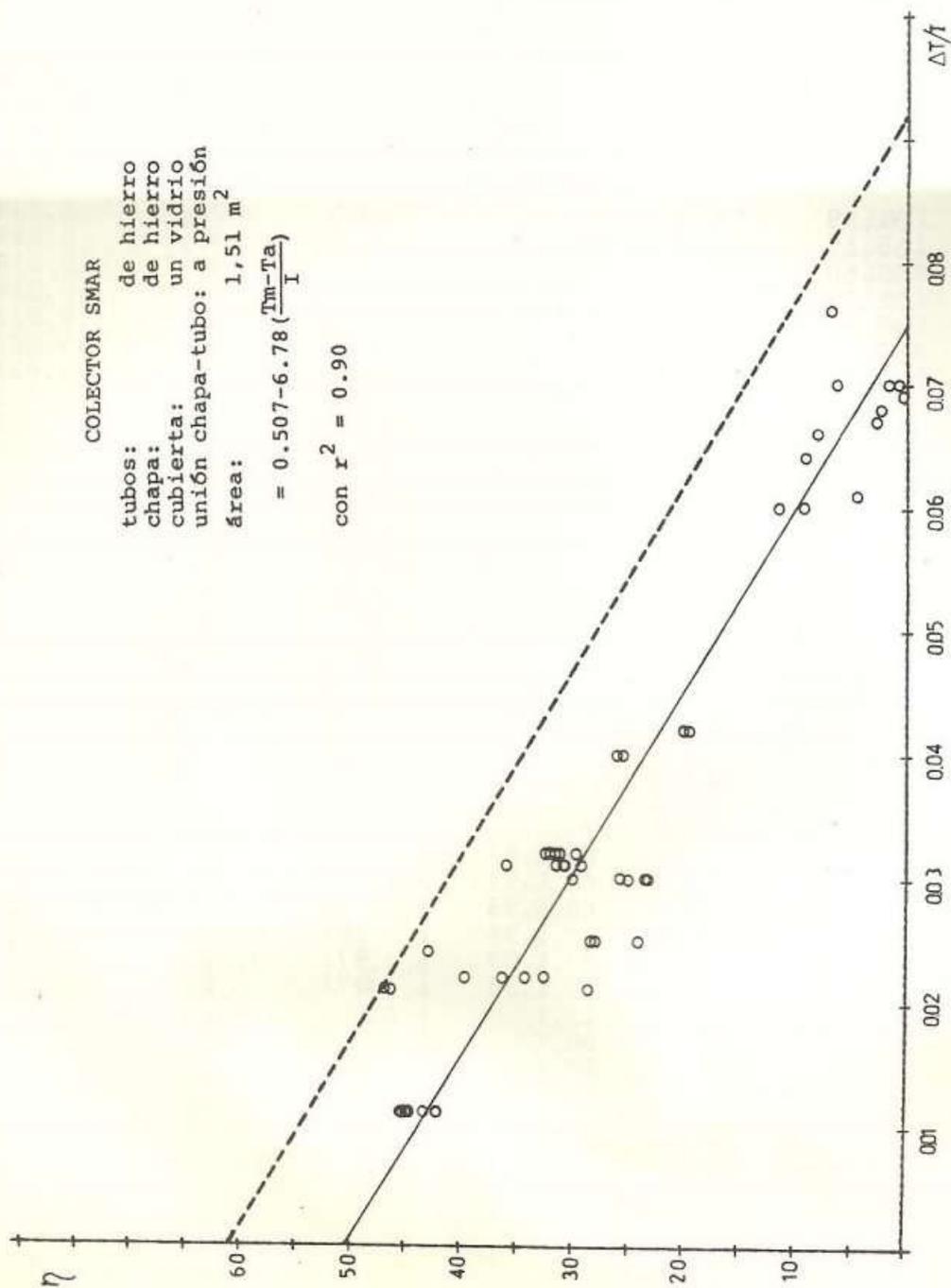


Fig. 2

COLECTOR SONNEN-CO

tubos: de cobre
 chapa: de aluminio
 cubierta: un vidrio
 unión chapa-tubo: a presión
 área: 1,57 m²

$$= 0.70 - 8 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)$$

con $r^2 = 0.90$

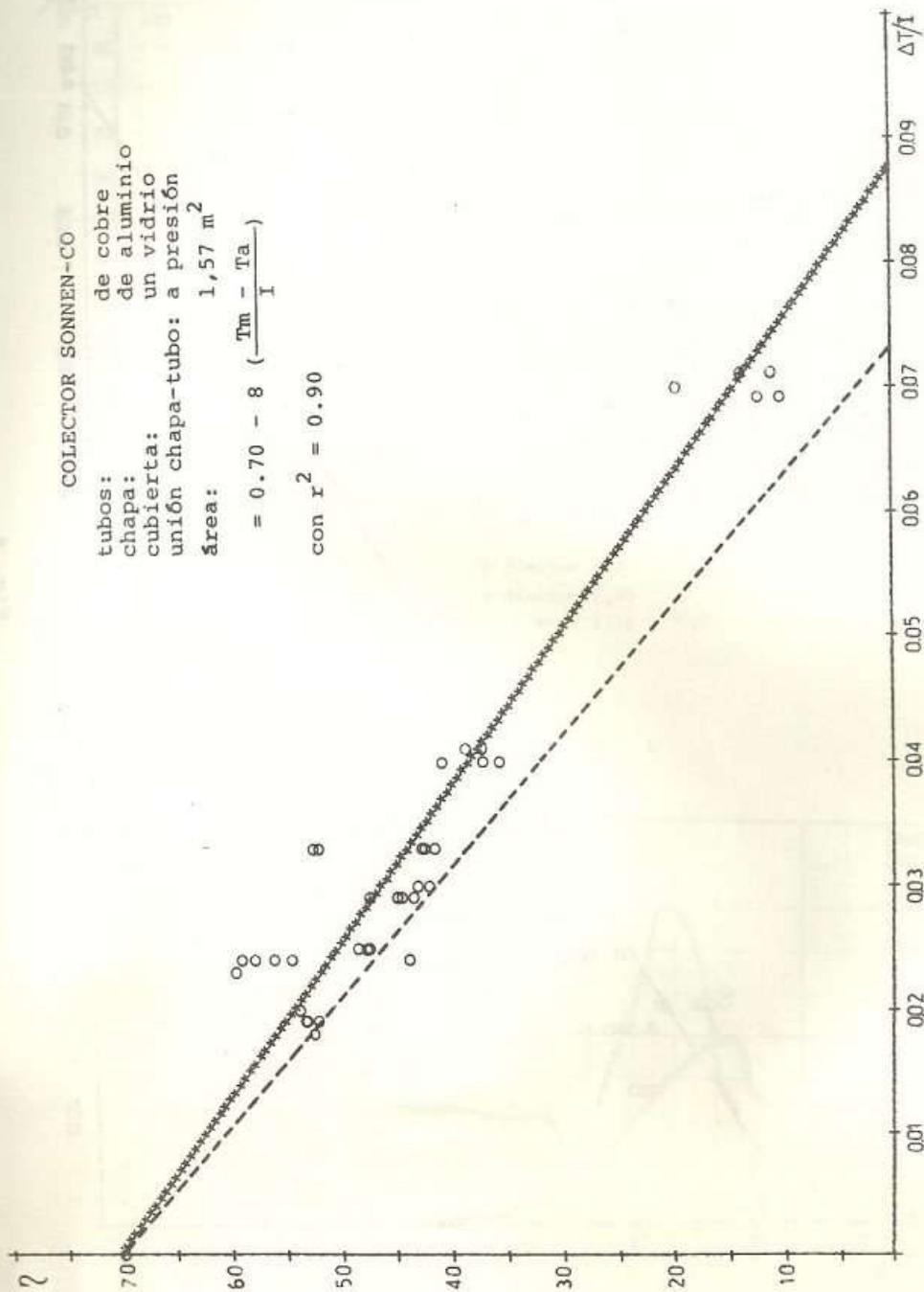


Fig. 3

COLECTOR EMEGE

tubos: de cobre
 chapa: de cobre
 cubierta: un vidrio
 unión chapa-tubo: soldado
 área: 2 m²

$$= 0.65 - 7.06 \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right)$$

con $r^2 = 0.76$

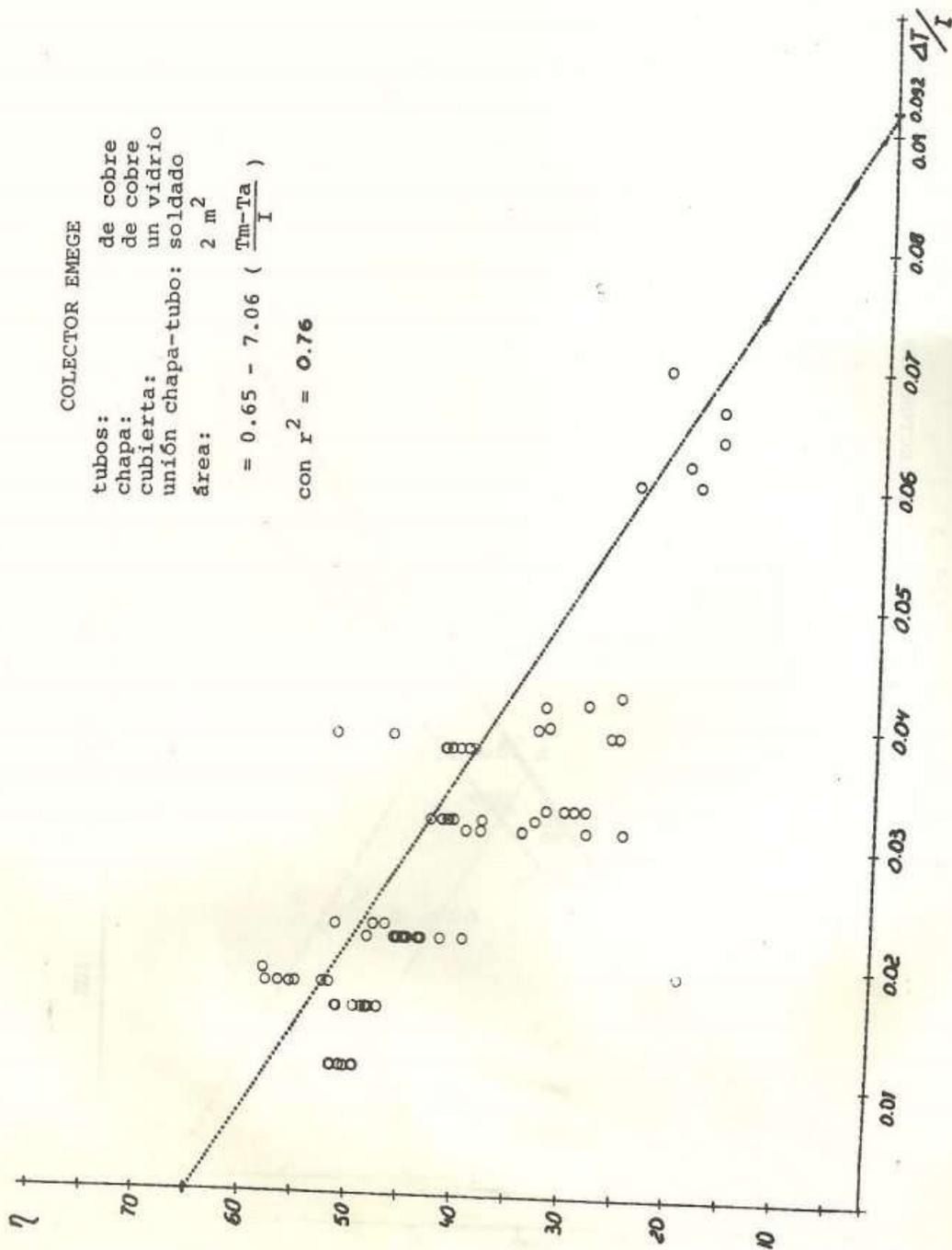


Fig. 4

FECHA: 23/05/80

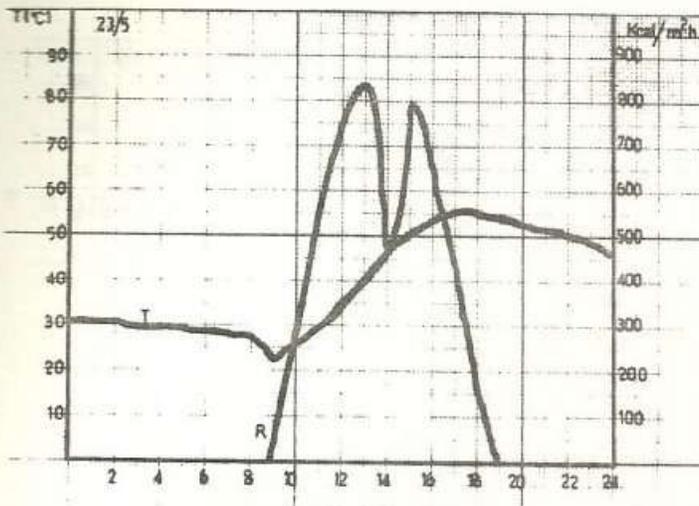
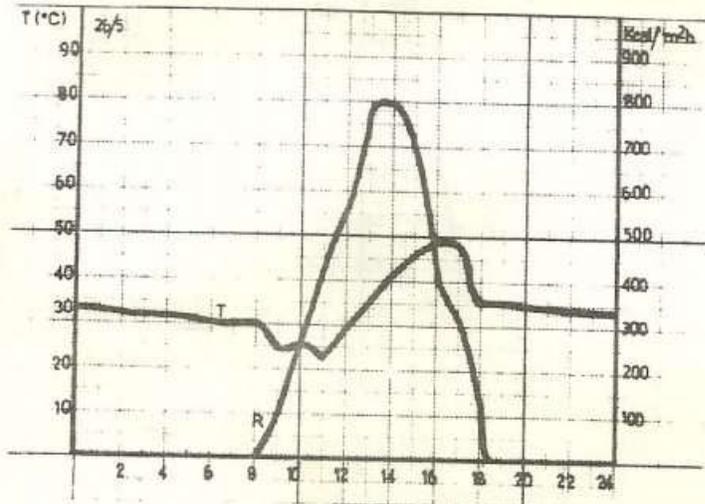


Figura 5

HELIOFANIA RELATIVA: 93% φ diario= 0,23
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 17,1°C φ diurno= 0,40
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 14 km/h $\alpha = 2,33$

FECHA: 26/05/80

Figura 6



HELIOFANIA RELATIVA: 83% φ diario= 0,09
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 18,1°C φ diurno= 0,17
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 7 km/h $\alpha = 2,11$

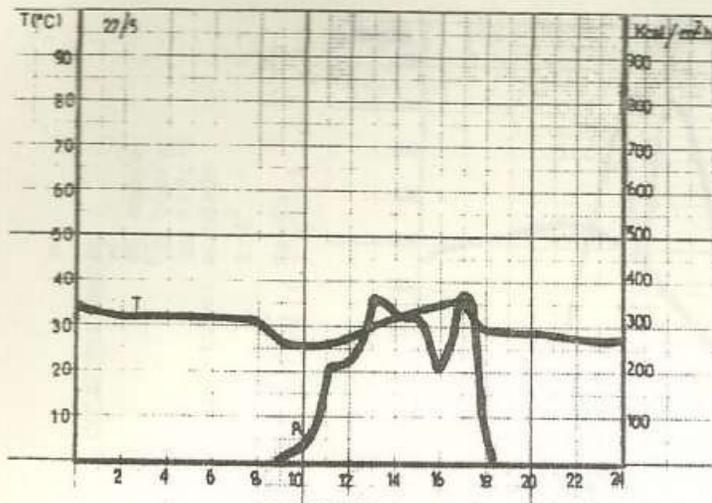
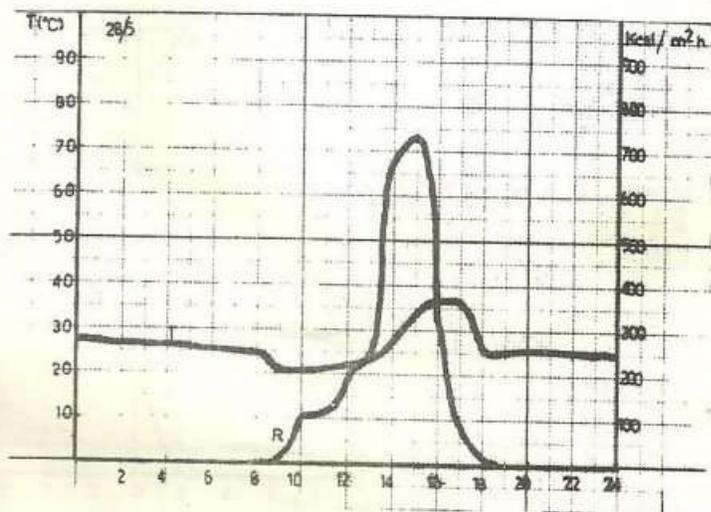


Figura 7

HELIOFANIA RELATIVA: 48% η diario = 0,37
 TEMP. MEDIA AMBIENTE: 20,3°C η diurno = 0,46
 VEL. MEDIA DEL VIENTO: 14 km/h $\alpha = 1,90$

FECHA: 28/05/80

Figura 8



HELIOFANIA RELATIVA: 35% η diario = 0,37
 TEMP. MEDIA AMBIENTE: 13,3°C η diurno = 0,45
 VEL. MEDIA DEL VIENTO: 4 km/h $\alpha = 1,55$

FECHA: 03/06/80

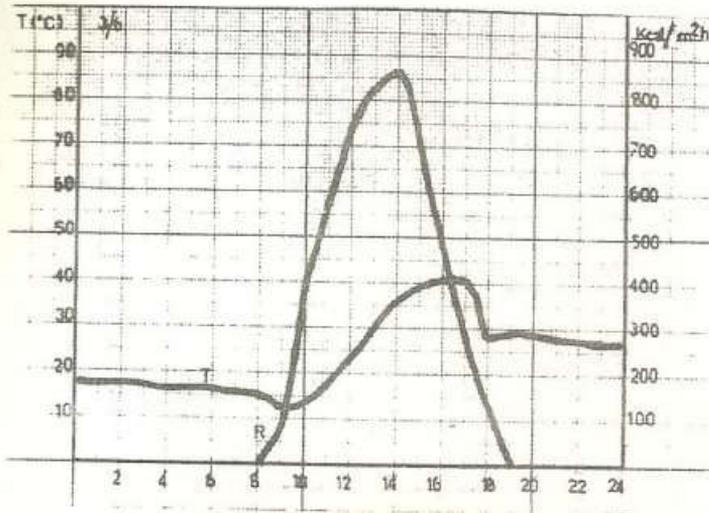


Figura 9

HELIOFANIA RELATIVA: 87% γ diario = 0,34
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 4,2°C γ diurno = 0,39
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 11 km/h $\alpha = 1,05$

FECHA: 04/06/80

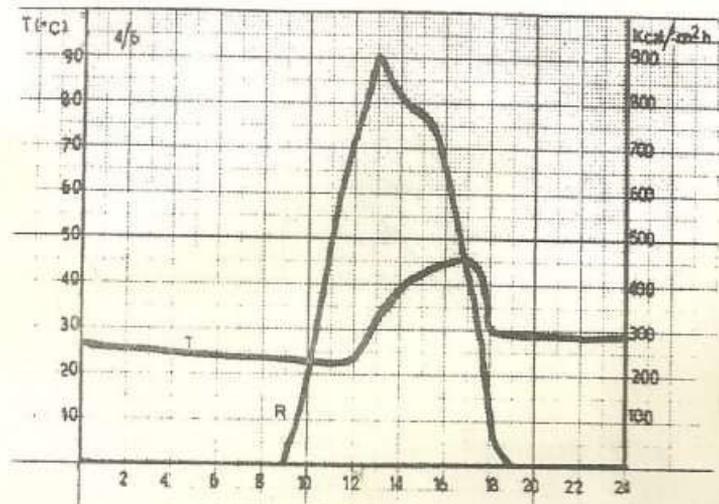


Figura 10

HELIOFANIA RELATIVA: 74% γ diario = 0,36
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 5,2°C γ diurno = 0,42
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 7 km/h $\alpha = 1,43$

FECHA: 05/06/80

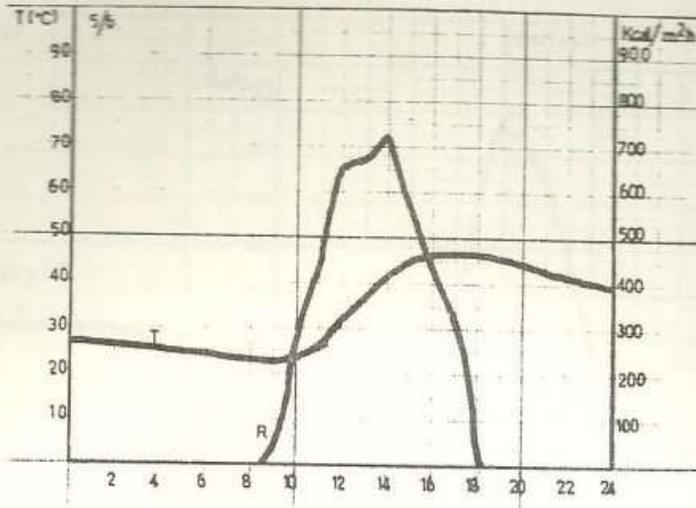


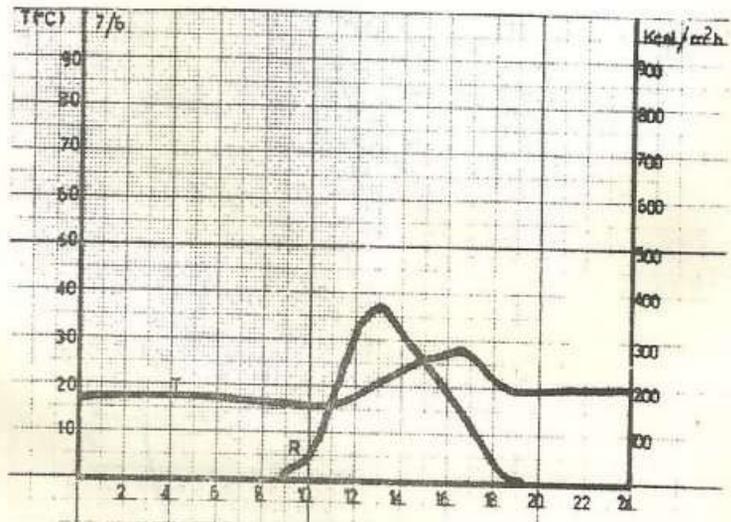
Figura 11

HELIOFANIA RELATIVA: 74%
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 9,4°C
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 9 km/h

γ diario = 0.12
 γ diurno = 0.28
 $\alpha = 2,76$

FECHA: 07/06/80

Figura 12



HELIOFANIA RELATIVA: 10%
TEMP. MEDIA AMBIENTE: 16,2°C
VEL. MEDIA DEL VIENTO: 10 km/h

γ diario = 0,39
 γ diurno = 0,42
 $\alpha = 2,12$

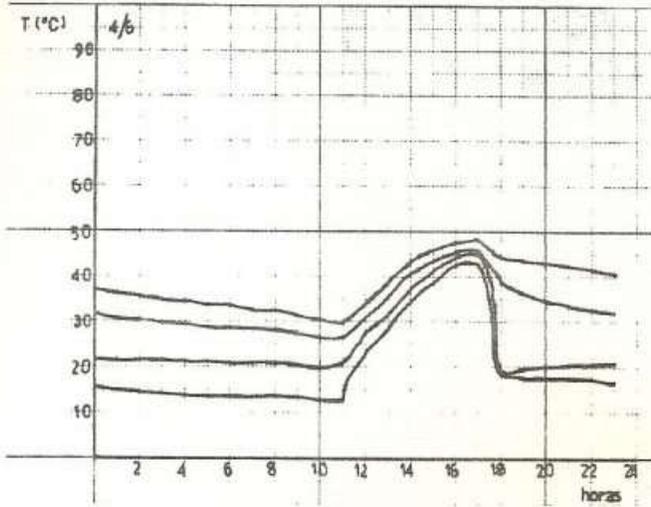
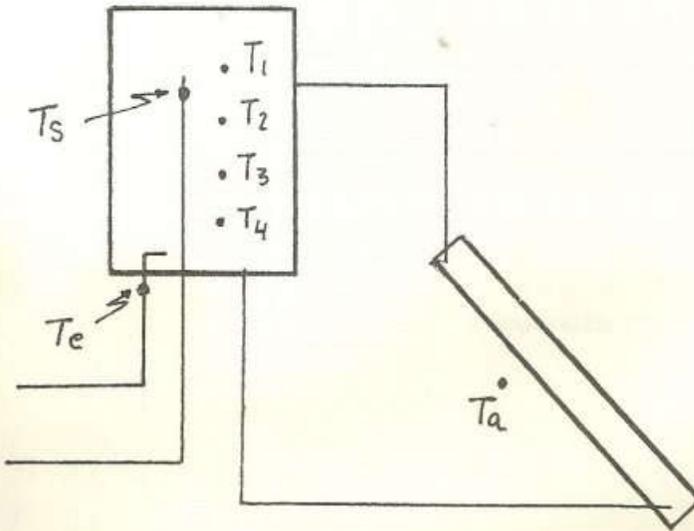


Figura 13

HELIOFANIA RELATIVA= 74 % η diario= 0,36
 TEMP. MEDIA AMBIENTE= 5,2°C η diurno= 0,42
 VELOCIDAD DEL VIENTO= 7 km/h $\alpha = 1,43$



Ubicación de los sensores de temperatura en el calefón solar

Figura 14