

## PRIMEROS ENSAYOS DE COLECTORES SOLARES PLANOS EN UN BANCO DE PRUEBAS

Redolfo Fernández, Juan Carlos Ducard, Carlos Alberto Montaña, Marcelo Michalki, Gabriel Klosewicz.

SMAR S.A.I.C. Av. Mitre 5354- 1678 Caseros - Buenos Aires.

### Resumen

El banco de pruebas de colectores solares planos para agua, que se presenta fué construido durante 1977, finalizando su puesta a punto en mayo de 1978. El sistema trabaja en condiciones naturales, permitiendo la prueba de colectores planos de diversas medidas, con un área máxima de 2 m<sup>2</sup>.

Se describen las partes componentes, las ecuaciones con sus constantes adaptadas a este banco, y las dificultades halladas en su utilización.

En las primeras mediciones, fué probado un colector comercial cuya curva de eficiencia era conocida, obteniéndose valores similares a los encontrados por la Administración Nacional del Espacio ( NASA ) en los Estados Unidos de Norteamérica.

### Abstract

A testing facility for solar water collector is presented; it was made during 1977. The calibration periods ending on may 1978. The system works under natural conditions, allowing to test flat plate collectors of different sizes with a maximum collection area of two square meters.

The assembly components are described, together with the mathematical equations adapted to this configuration and the difficulties found on its practical use. The first measurements were done on a comercial type solar water collector with known efficiency and similar values to those found by the National Space Administration ( NASA ) in the U.S.A. were obtained.

## 1.- Introducción:

El banco de prueba de colectores solares planos que se describe, ha sido plnificado y construido para dar una respuesta confiable a la prueba y desarrollo de colectores solares planos y como control de calidad de la fabricación seriada.

La planificación y proyecto del banco se realizó durante el año 1976 y el 1º semestre del año 1977. La construcción y puesta en marcha abarca el período desde junio de 1977 hasta junio de 1978.

En la actualidad, el sistema se considera operativo, habiéndose comenzado ya con la prueba de los colectores solares que se manufacturan en SMAR S.A.I.C.

Es de resaltar, que como instrumento de medición, el banco es una herramienta de valor inestimable para el diseñador de sistemas solares de gran capacidad, pues nos permite contar con los datos de eficiencia en diferentes condiciones climáticas y de velocidad de flujo.

## 2.- Configuración del sistema:

El banco de pruebas seleccionado entre diferentes métodos disponibles, está basado en las normas dictadas por el National Bureau of Standards (NBSIR 74-635, 1974) para la prueba de colectores solares planos de agua.

En la figura 1, puede verse un plano en planta del banco hidrónico, y otro en perfil del mismo, fig 2.

La planta industrial de SMAR S.A.I.C. se encuentra en Caseros, partido de 3 de Febrero, Pcia. de Buenos Aires, a uno 20 Km. de la capital Federal; en su terraza está instalado el banco, al aire libre, para trabajar en condiciones naturales, con las desventajas que ello supone, pues es imposible efectuar las mediciones en días con alta variabilidad de la radiación solar, como son los días nublados. Como ventaja, tenemos la posibilidad de obtener un gran rango de variación en los parámetros intervinientes: radiación solar, temperatura de bulbo seco del aire y viento incidente.

Los colectores solares, son montados en una estructura de soporte de hierro, sobre una plataforma del mismo material de 4 mts. de largo por 2 mts. de ancho con una altura de 1,50 mts. sobre el nivel de la terraza.

El instrumental de control y accesorios de impulsión fueron instalados bajo

la plataforma, para protegerlos de la intemperie.

Adosado al banco, se construyó un techo de protección para los observadores.

El sistema fué orientado al norte, por medición del punto cardinal en días sucesivos a horas del mediodía en tiempo verdadero.

El colector solar, se conecta mediante un sistema de cañerías fácilmente a coplable al circuito hidrónico por uniones dobles; este último, se continúa desde el colector, hacia una bomba impulsora que actúa a engranaje.

El caudal a través del colector es variable mediante una válvula exclusiva, que actúa por simple cierre de circuito.

A fin de extender el rango de temperaturas de trabajo, se instaló un sistema calefactor eléctrico por resistencia óhmica, que posee varias etapas de calentamiento, permitiendo aumentar la temperatura de entrada al colector desde el valor de la línea de alimentación, hasta 95 °C.; por otro lado, se intercaló en el circuito un intercambiador de calor de doble paso a contraflujo, alimentado por agua de línea, como elemento enfriador; este intertercambiador, permite disminuir la temperatura del agua de salida del colector solar, a los valores de entrada, posibilitando una constancia en este parámetro.

El intercambiador, posee un By-Pass que ayuda en la afinación de la temperatura de entrada y permite, como subproducto, la simulación de una carga térmica variable para el diseño de un sistema solar con especificaciones fuera de lo normal.

### 3.- Instrumental de control

Los parámetros a medir son los incluidos en la ecuación de balance energético del colector solar.

La entrada y salida de agua del colector se hallan monitoreadas en temperatura mediante termocuplas de hierro-constantan, cuyo punto frío se encuentra a 0°C por inmersión en baño de hielo.

La salida en tensión de las termocuplas, es amplificada mediante un amplificador operacional de estado sólido lineal al 0,1 %, con punto cero calibrable; desde allí y con un milivoltímetro digital se efectúan las lecturas de salida del amplificador, cuyo factor de amplificación es 100. Esto posibilita una precisión en temperaturas de  $\pm 0,1$  °C.

El punto caliente de las termocuplas, se encuentra inmerso dentro de dos pequeños depósitos con baño de aceite, en los caños de entrada y salida del colector para medición de las temperaturas respectivas. Entre esos mismos dos puntos, se ha conectado un medidor de presión diferencial que entrega la caída de presión a través del colector a diferentes velocidades del flujo, con una precisión del 2 %; este manómetro diferencial posee una cólum-

na vertical mediante la cual podemos medir hasta 160 mm. de agua de caída de presión entre extremos del colector, mediante un líquido coloreado de densidad normalizada e invariable para un amplio rango de temperaturas.

El flujo a través del colector se controla con un flotómetro de capacidad 16 a 160 litros/hora, con una temperatura máxima de trabajo de 90 °C, instalado verticalmente, con flotante de acero inoxidable. El tubo de medición es de pyrex y posee una precisión del 1,5 % a plena escala.

La radiación solar, se mide con un solarímetro de estado sólido, con elemento sensor de efecto fotovoltaico. El instrumento está compensado en temperaturas y se estima un error relativo de medición del 4 %. Su salida es integrada electrónicamente, mediante un conversor analógico-digital que entrega pulsos en número proporcional a los valores instantáneos de radiación solar, sumandolos sobre el período de tiempo de la medición.

El integrador posee puesta a cero y fuente interna de calibración.

La temperatura ambiente de bulbo seco y húmedo son medidas a través de un par de termómetros colocados a tal efecto en una casilla meteorológica de tipo A .

La velocidad del viento y su dirección son medidas desde un anemómetro a cazoletas montado en las cercanías del banco de pruebas.

#### 4.- Procedimiento de medición

El colector solar, montado sobre un banco de pruebas, recibe una cierta cantidad de radiación solar ( $I$ ) por unidad de área y tiempo, sobre la superficie inclinada. A través del colector fluye una cantidad de agua por unidad de tiempo ( $G$ ) entrando al colector a una temperatura  $T_i$  .

Considerando las pérdidas del colector ( $U_1$ ), el factor de transferencia de calor al agua del colector ( $F_R$ ) y la temperatura ambiente ( $T_a$ ) podemos obtener la eficiencia ( $\eta$ ) del colector en función de estas variables y de la transparencia del vidrio ( $\tau$ ) y absortividad ( $\alpha$ ) de la placa absorbora ( Duffie & Beckmann, 1974)

$$\eta = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha) - \frac{U_1 \cdot F_R}{I} \cdot (T_i - T_a) \quad (1)$$

La ecuación (1) , graficada en función de  $\Delta T/I$  representa una recta, cuyas pendiente y ordenada al origen nos darán una descripción física del colector solar, a través de los productos  $F_R (\tau \alpha)$  y  $(U_1 \cdot F_R)$ .

El procedimiento de medición utilizado, consiste en tomar una serie de puntos de la ecuación (1) a fin de obtener los parámetros  $U_1$ ,  $F_R$  y  $(\tau \alpha)$  mediante cuadrados mínimos aplicados a la recta. Para ello se requieren al menos 16 puntos ( J. Hill, 1974).

Cada punto, a su vez, estará dado por la medición de la eficiencia, sobre un intervalo de 15 minutos, en el cual la radiación solar se encuentre estable. En ese caso, la eficiencia será:

$$\eta = \frac{G \cdot C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_o - T_i) dt}{A_c \int_{t_1}^{t_2} I dt} \quad (2)$$

Donde  $T_o$  es la temperatura del agua a la salida del colector,  $A_c$  el área de colección y  $t_1-t_2$  los tiempos inicial y final de medición.

La integral del denominador en (2) estará dada por el integrador digital, el cual entrega una lectura en número de pulsos que es necesario convertir a valores de radiación.

$$\int_{t_1}^{t_2} I dt = 0,1229 \times N^\circ \text{ de pulsos} \cdot \left[ \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2} \right] \quad (3)$$

Esta fórmula es válida para nuestros instrumentos, midiendo sobre 15 minutos con calibración interna del integrador.

La integral en el numerador de (2) se halla por medición continua de las temperaturas respectivas ó sobre intervalos equiespaciados de tiempo.

##### 5.- Primeros resultados obtenidos

Luego de las dificultades inherentes a toda nueva construcción, como ser compras de materiales e instrumentos que sufrieron fuertes demoras, falencias en materiales, etc., se comenzó midiendo un colector fabricado por SMAR S.A. obteniéndose una serie de valores incomprensibles y erráticos. Ante esto, se efectuó la revisión total del sistema y del método de medición, encontrándose defectuoso al amplificador operacional, con lo cual las calibraciones de las termocuplas eran erróneas.

El proceso de arreglo del amplificador requirió un lapso prolongado y muchas pruebas, pues se hicieron una sucesión de cambios en el mismo, hasta llegar a un comportamiento óptimo. Algo similar ocurrió con el intercambiador y las resistencias de calefacción.

Asimismo, el proceso de medición, requiere un entrenamiento, debido a la multiplicidad de variables a medir y su simultaneidad en el tiempo.

A fin de poder contar con valores conocidos, se montó en el banco un colector solar de la Miromit, Israel, del cual se conocía la curva de calibración

obtenida por la NASA y laboratorios privados.

Los primeros resultados obtenidos, se resumen en la tabla 1, junto con su comparación con los valores de la NASA .

Las diferencias halladas, se pueden atribuir a efectos del viento sobre el colector, a diferencias en la temperatura ambiente y errores propios de la medición.

Tabla 1

DIA	CAUDAL [lts/h]	Ti [°C]	Ta [°C]	K↓ [Kcal/m <sup>2</sup> h]	Tbh [°C]	Viento [m/seg.]	η Exp. [%]	η Miromit [%]
5.6.78	101,8	26,47	10	520	9	0	65	58
7.6.78	101,8	25,46	12,7	598	11,7	1	61	62
21.6.78	101,8	19,20	10	636	8	3	75	65
21.6.78	101,8	22,00	11	688	7,7	2	70	64

Los errores de medición del banco hidrónico descrito, se calcularon con el procedimiento habitual de propagación y suma de los errores relativos obteniéndose un error relativo del 6,2 % en la medición de eficiencias.

### Conclusión

Luego de un año de trabajo con este banco de pruebas, se concluye que es una formidable herramienta para el control de calidad de un producto, pero su construcción y funcionamiento requieren una gran experiencia en sistemas hidrónicos, de intercambio de calor y medición de temperaturas y radiación solar.

Los resultados que se obtienen en un banco de este tipo, son susceptibles de una multiplicidad de interpretaciones, por lo cual es necesario definir a priori el marco de referencia, o sea los intervalos de validez de las variables a medir.

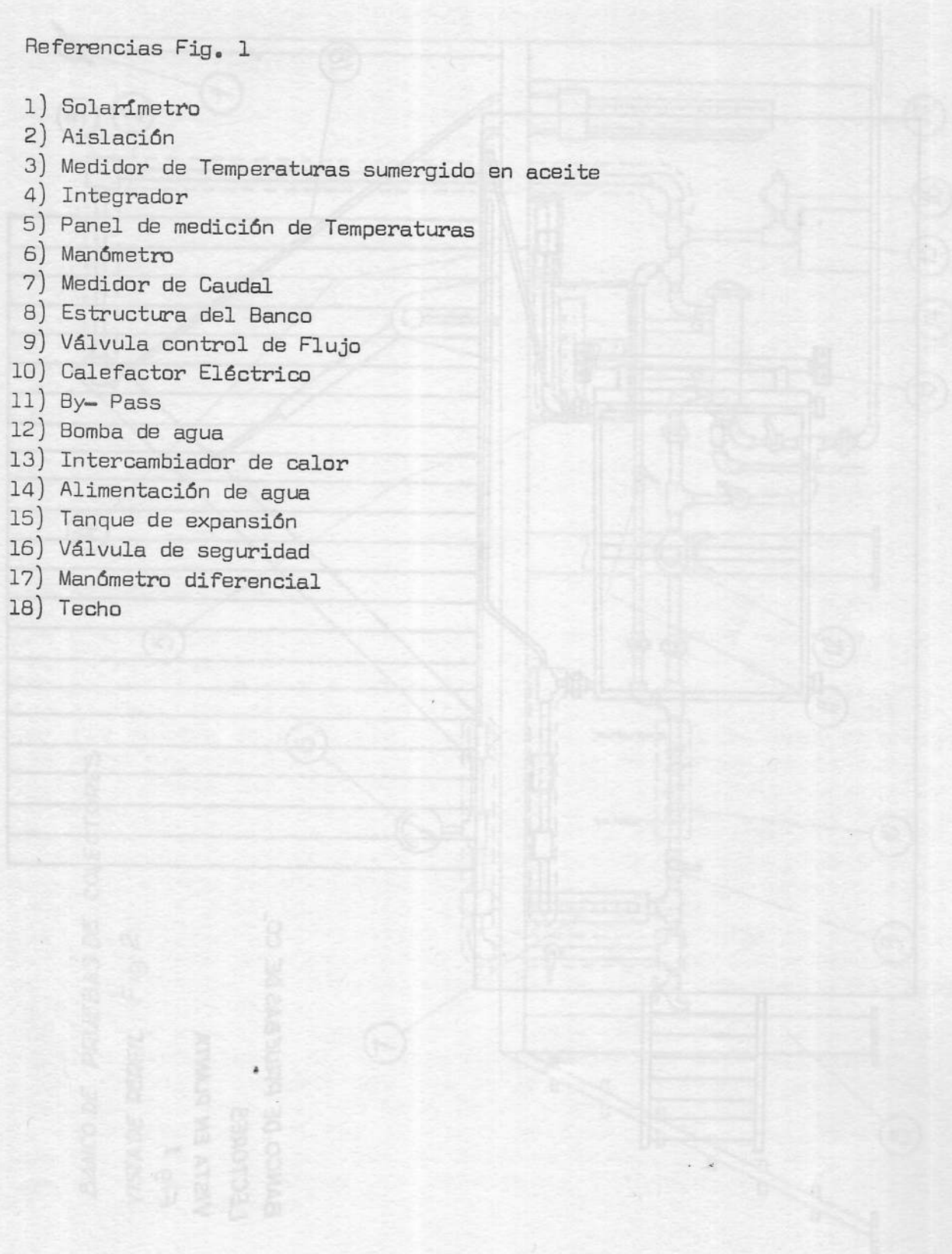
Tal tarea, en vista de la escasa experiencia existente en el país debería efectuarse por medio de la elaboración de normas de medición con una metodología como la utilizada para las normas IRAM.

### Bibliografía:

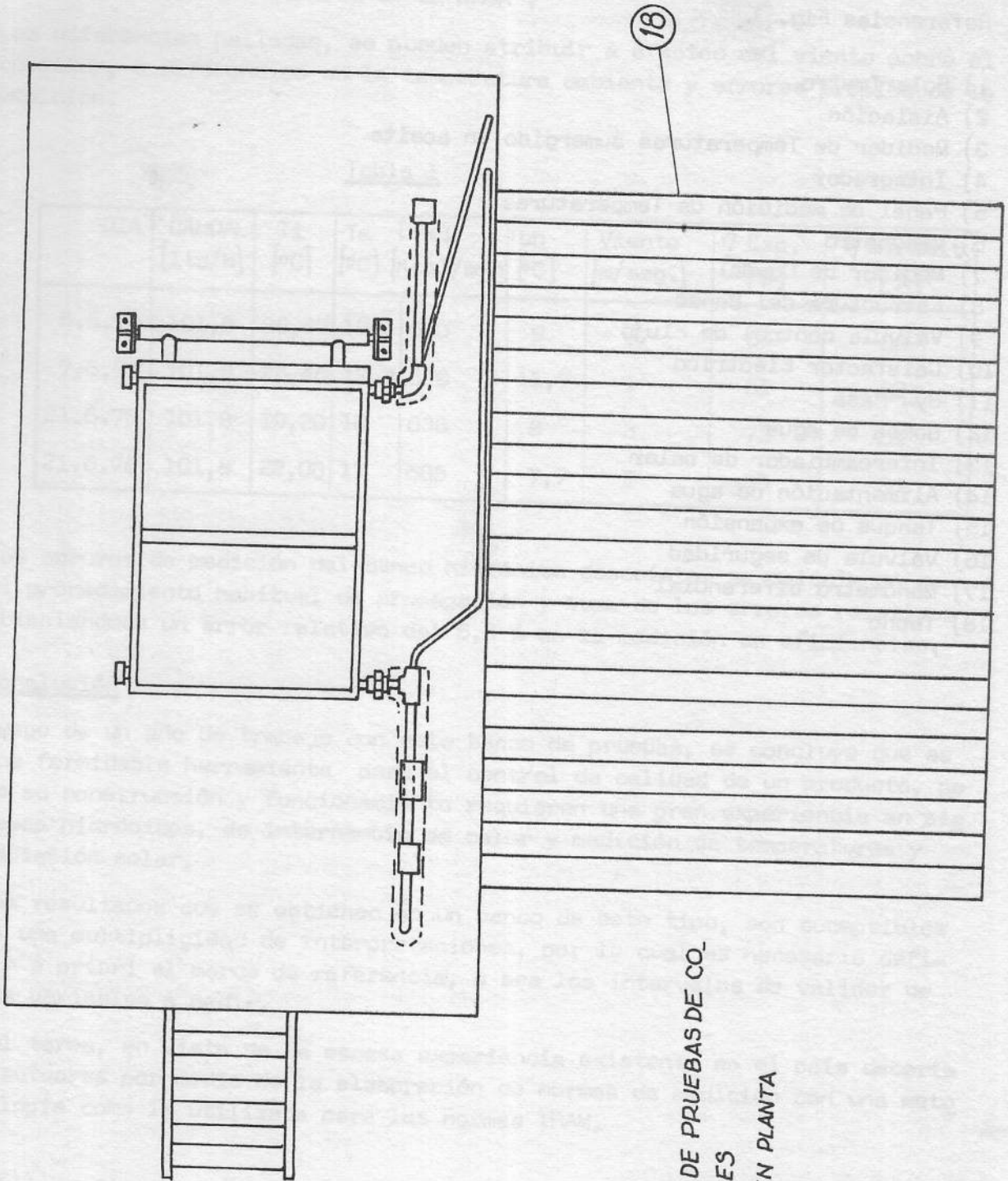
- J. Duffie y W. Beckmann; "Solar Energy Thermal Processes", Wiley Interscience, New York, 1974.
- James E. Hill y Tamami Kusuda: "Method of testing for Rating Solar Collectors Based on Thermal Performance". National Bureau of Standards, Washington, 1974.

Referencias Fig. 1

- 1) Solarímetro
- 2) Aislación
- 3) Medidor de Temperaturas sumergido en aceite
- 4) Integrador
- 5) Panel de medición de Temperaturas
- 6) Manómetro
- 7) Medidor de Caudal
- 8) Estructura del Banco
- 9) Válvula control de Flujo
- 10) Calefactor Eléctrico
- 11) By- Pass
- 12) Bomba de agua
- 13) Intercambiador de calor
- 14) Alimentación de agua
- 15) Tanque de expansión
- 16) Válvula de seguridad
- 17) Manómetro diferencial
- 18) Techo



BANCO DE PLACAS DE COLECCIÓN  
TUBO DE BOMBA, Fig. 2  
Fig. 1  
AISLA EN STYROL  
TECLONER  
BANCO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR



BANCO DE PRUEBAS DE CO.  
 LECTORES  
 VISTA EN PLANTA  
 FIG 1



BANCO DE PRUEBAS DE COLECTORES  
VISTA DE PERFIL Fig 2

