

INSTRUMENTO PARA MEDICION DE ABSORBANCIAS Y EMITANCIAS DE PLACAS COLECTORAS SOLARES PLANAS

Ricardo O. Fernández - Ruben Wainschenker - Juan C. Ducard
SMAR S.A.I.C. Bmé. Mitre 5354
1078 - CASEROS - ARGENTINA

Resumen:

Los calefones solares TERMOSOL de la firma SMAR S.A.I.C. están siendo producidos en serie. Debido a ello, es necesario contar con un instrumento que sea rápido y fácil, otorgue una medida de la absorbancia y emitancia de los negros selectivos utilizados en las placas.

Se diseñó un aparato, del cual se han calculado las condiciones de trabajo en atmósfera natural solar, encontrándose que es conveniente desdoblar las mediciones de absorbancia y emitancia en dos instrumentos separados. Se plantean las ecuaciones y se hallan las condiciones de trabajo, materiales y temperatura necesaria.

Se resuelve el sistema de ecuaciones del balance energético y se halla la viabilidad de realización.

1.- Introducción

Debido a la fabricación en serie de equipos colectores solares encarada por la empresa Smar S.A.I.C., y para poder asegurar el rendimiento de colección a sus equipos, se hace necesaria la construcción de un instrumento de medición para controlar la selectividad de la placa colectoras.

El aparato debe satisfacer ciertas características de practicidad, facilidad de manejo, bajo presupuesto de construcción y obtener un índice que permita aceptar o rechazar el baño electrolítico selectivo. Por esto se ha estimado que la precisión del instrumento no debe ser menor del 1 %.

2.- Descripción del instrumento

El instrumento diseñado, consta básicamente de una caja que contiene dos recintos cúbicos (30 cm x 30 cm x 30 cm). En una cara tiene dos aberturas pequeñas que permiten la entrada de la radiación solar. La Fig. 1 muestra un esquema del aparato

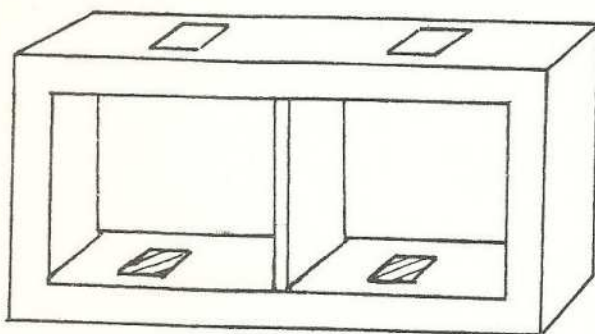


Fig. 1 Vista interior del aparato

Toda la caja va montada en una mesa que permite apuntarla hacia el sol mediante un sistema heliostático manual.

3.- Ecuaciones del balance térmico

Se enfrenta el aparato hacia el sol, y se abren las ventanas, haciendo incidir la luz solar en ambas placas, las que se dejan calentar hasta que se estabiliza la temperatura. En estas condiciones se cumplirá, para ambas muestras la siguiente ecuación de balance térmico:

$$\alpha_{01} H + \alpha_1 F_{rw} \sigma T_w^4 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 + q_{1c} \quad (1)$$

INSTRUMENTO PARA MEDICION DE ABSORBANCIAS Y EMITANCIAS DE PLACAS COLECTORAS SOLARES PLANAS

Rafael O. Fernández - Ruben Wainschenker - Juan C. Ducard
SMAR S.A.I.C. Bmé. Mitre 5354
1078 - CASEROS - ARGENTINA

Resumen:

Los calefones solares TERMOSOL de la firma SMAR S.A.I.C. están siendo producidos en serie. Debido a ello, es necesario contar con un instrumento que en forma rápida y fácil, otorgue una medida de la absorbancia y emitancia de los negros selectivos utilizados en las placas.

Se diseñó un aparato, del cual se han calculado las condiciones de trabajo en atmósfera natural solar, encontrándose que es conveniente desdoblar las mediciones de absorbancia y emitancia en dos instrumentos separados. Se plantean las ecuaciones y se hallan las condiciones de trabajo, materiales y temperatura necesaria.

Se resuelve el sistema de ecuaciones del balance energético y se halla la viabilidad de realización.

1.- Introducción

Debido a la fabricación en serie de equipos colectores solares encarada por la empresa Smar S.A.I.C., y para poder asegurar el rendimiento de colección a sus equipos, se hace necesaria la construcción de un instrumento de medición para controlar la selectividad de la placa colectora.

El aparato debe satisfacer ciertas características de practicidad, facilidad de manejo, bajo presupuesto de construcción y obtener un índice que permita aceptar o rechazar el baño electrolítico selectivo. Por esto se ha estimado que la precisión del instrumento no debe ser menor del 1 %.

2.- Descripción del instrumento

El instrumento diseñado, consta básicamente de una caja que contiene dos recintos cúbicos (30 cm x 30 cm x 30 cm). En una cara tiene dos aberturas pequeñas que permiten la entrada de la radiación solar. La Fig. 1 muestra un esquema del aparato

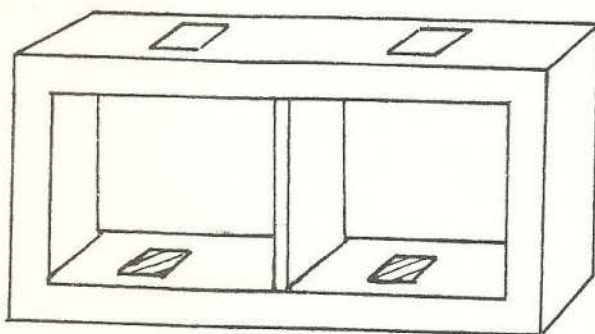


Fig. 1 Vista interior del aparato

Toda la caja va montada en una mesa que permite apuntarla hacia el sol mediante un sistema heliostático manual.

3.- Ecuaciones del balance térmico

Se enfrenta el aparato hacia el sol, y se abren las ventanas, haciendo incidir la luz solar en ambas placas, las que se dejan calentar hasta que se estabiliza la temperatura. En estas condiciones se cumplirá, para ambas muestras la siguiente ecuación de balance térmico:

$$\alpha_{01} H + \alpha_1 F_{rw} \sigma T_w^4 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 + q_{1c} \quad (1)$$

Es de notar que el segundo término a la izquierda de la igualdad, contiene la información sobre la energía que habiendo sido emitida por las paredes, es absorbida por la muestra. Como éste término es difícil de calcular, se buscarán las condiciones convenientes para hacerlo despreciable respecto a las demás .

Si se cierran las ventanas y se calientan las muestras, haciéndoles circular una corriente eléctrica conocida, hasta que su temperatura sea la misma que alcanzaron durante la exposición al sol, se cumplirá:

$$P + \alpha_1 \sigma T_w^4 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 + q_{1c} \quad (2)$$

En la cual F_{1w} se ha hecho unitario porque se ha cerrado el recinto. De (1) y (2) se obtiene que la radiación incidente sobre ambas muestras es:

$$H = \frac{P + (1 - F_{1w}) \alpha_1 \sigma T_w^4}{\alpha_{01}} \quad (3)$$

De la que se obtiene la siguiente relación entre las temperaturas y potencias disipadas en ambas placas:

$$\frac{P_p + (1 - F_{1w})^p \alpha_1 \sigma T_w^4}{P \alpha_{01}} = \frac{{}^m P + (1 - F_{1w})^m \alpha_1 \sigma T_w^4}{{}^m \alpha_{01}} \quad (4)$$

Despejando α_{01}^m se obtiene:

$$\alpha_{01}^m = \alpha_{01}^p \frac{P^m + (1 - F_{1w}) \alpha_1 \sigma T_w^4}{P + (1 - F_{1w}) \alpha_1 \sigma T_w^4} \quad (5)$$

Si se pudiera lograr con un diseño apropiado que F_{1w} valga 1, se obtendrá la relación:

$$\alpha_{01}^m = \alpha_{01}^p \frac{P^m}{P} \quad (6)$$

Con la cual, conociendo únicamente las potencias disipadas y la absorbancia del patrón se obtiene la de la muestra.

Tal como se ha definido, el término F_{1w} no incluye al vidrio, pues éste no tiene el mismo comportamiento térmico que las paredes y no se lo puede tratar en forma conjunta.

Como para un recinto cerrado la suma de los factores de forma vale 1, para la caja será:

$$\sum_{L=1}^8 F_{jL} = 1 \quad (7)$$

Se define

$$F_{1w} = \sum_{L=3}^8 F_{1L} \quad (8)$$

Será

$$1 = F_{1,2} + F_{1,w} \quad (9)$$

F_{11} es nulo.

En la bibliografía sobre transferencia de calor figuran curvas de factores de forma correspondientes a distintas geometrías [1] (Roshenow, 1975).

Dos superficies cuadradas iguales de lados a , separadas por una distancia d y con una relación $\frac{a}{d} = 0,1$ tienen un factor de forma $F_{1,2} = 0,004$, luego,

de (9) se obtiene que:

$$(1 - F_{1w}) = 0,004 \quad (10)$$

Por lo cual para que se cumpla (6) deberá ser:

$$P \gg 0,004 \alpha_1 \sigma T_w^4 \quad (11)$$

Si se calientan las muestras a 373°K la potencia que disiparán por radiación será

$$P > \epsilon_1 \sigma (373 \text{ °K})^4 \quad (12)$$

Entonces (11) se transformará en

$$\epsilon_1 \sigma (373 \text{ °K})^4 \gg 0,0004 \alpha_1 \sigma T_w^4 \quad (13)$$

Por la ley de Kirchoff $\epsilon_1 = \alpha_1$ (esto es aproximadamente válido, en el rango térmico) con lo que se obtiene que:

$$T_w \ll 1483 \text{ °K} \quad (14)$$

De donde se ve que a temperatura ambiente, (6) es válida.

4.- Medición de emisividades

Si en el mismo equipo se hace circular por la muestra una corriente I aplicándole una diferencia de potencial V, la potencia disipada por la misma será:

$$P = V \cdot I \quad (15)$$

En condiciones de equilibrio térmico (dentro de la caja con la ventana cerrada) el balance de energía será:

$$P + \alpha_1 \sigma T_w^4 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 + q_{1c} \quad (16)$$

Si se logrará eliminar de esta ecuación los términos difíciles de medir como son $\alpha_1 \sigma T_w^4$ y q_{1c} , esta ecuación sería

$$P = \epsilon_1 \sigma T_1^4 \quad (17)$$

con la que la emisividad de la muestra se obtiene con

$$\epsilon_1 = \frac{P}{\sigma T_1^4} \quad (18)$$

Veamos ahora en que situaciones pueden ser despreciados los valores antes dichos:

a) la disminución de pérdidas por convección se logra con un vacío de 10^{-2} mm de Hg y las pérdidas por conducción con un vacío de 10^{-4} mm de Hg. (Valores extraídos de las ref. 2,3,4, y 5.)

b) Para poder despreciar el aporte térmico de las paredes es necesario plantear en detalle el balance energético de la placa con las paredes.

El flujo de calor saliente de cada pared (B_j) será la suma de dos componentes a saber:

- 1) La correspondencia a la emisión térmica de la misma ($\epsilon_j \sigma T_j^4$).
 - 2) La reflexión de la energía que recibe de las demás paredes. $\rho_j \sum_{i=1}^8 B_i F_{ji}$
- como $\alpha_j + \rho_j = 1$ y por Kirchoff $\alpha_j = \epsilon_j$ será entonces:

$$B_j = \epsilon_j \sigma T_j^4 + (1 - \epsilon_j) \left(\sum_{i=1}^8 B_i F_{ji} \right) \quad (19)$$

Si pedimos como condición que la energía emitida por la placa sea mucho mayor de la que absorbe proveniente de las paredes, ó sea

$$\epsilon_1 \sigma T_1^4 \gg \alpha_1 \sigma T_w^4 \quad (20)$$

donde el término $\alpha_1 \sigma T_w^4$ corresponde a la absorción por la muestra de la radiación térmica saliente de las paredes; utilizando la (19) sería:

$$\alpha_1 \sigma T_w^4 = \epsilon_1 \sum_{i=1}^8 B_i F_{1i} = \frac{\epsilon_1}{1-\epsilon_1} (B_1 - \epsilon_1 \sigma T_1^4) \quad (21)$$

lo que la (20) se transformará en

$$\epsilon_1 \sigma T_1^4 \gg \frac{\epsilon_1}{1-\epsilon_1} (B_1 - \epsilon_1 \sigma T_1^4) \quad (22)$$

lo que es lo mismo

$$\sigma T_1^4 \gg B_1 \quad (23)$$

Para obtener el valor de B_1 , en la caja ya descrita, se plantean 8 ecuaciones del tipo de (19). Para resolver la matriz resultante por triangulación conviene agrupar de un mismo lado de la igualdad todos los B_j quedando en términos (19) de la forma

$$\frac{-\epsilon_j}{1-\epsilon_j} \sigma T_j^4 = \frac{-B_j}{1-\epsilon_j} + \sum_{i=1}^8 B_i F_{ji} \quad (24)$$

Definiendo

$$L_j = \frac{-\epsilon_j}{1-\epsilon_j} \sigma T_j^4 \quad \text{y} \quad K_j = \frac{-1}{1-\epsilon_j} \quad (25)$$

se tiene así:

$$L_1 = B_1(F_{11} + K_1) + B_2 F_{12} + B_3 F_{13} + B_4 F_{14} + B_5 F_{15} + B_6 F_{16} + B_7 F_{17} + B_8 F_{18} \quad (26 - a)$$

$$L_2 = B_1 F_{21} + B_2(F_{22} + K_2) + B_3 F_{23} + B_4 F_{24} + B_5 F_{25} + B_6 F_{26} + B_7 F_{27} + B_8 F_{28} \quad (26 - b)$$

$$L_3 = B_1 F_{31} + B_2 F_{32} + B_3(F_{33} + K_3) + B_4 F_{34} + B_5 F_{35} + B_6 F_{36} + B_7 F_{37} + B_8 F_{38} \quad (26 - c)$$

$$L_4 = B_1 F_{41} + B_2 F_{42} + B_3 F_{43} + B_4(F_{44} + K_4) + B_5 F_{45} + B_6 F_{46} + B_7 F_{47} + B_8 F_{48} \quad (26 - d)$$

$$L_5 = B_1 F_{51} + B_2 F_{52} + B_3 F_{53} + B_4 F_{54} + B_5(F_{55} + K_5) + B_6 F_{56} + B_7 F_{57} + B_8 F_{58} \quad (26 - e)$$

$$L_6 = B_1 F_{61} + B_2 F_{62} + B_3 F_{63} + B_4 F_{64} + B_5 F_{65} + B_6(F_{66} + K_6) + B_7 F_{67} + B_8 F_{68} \quad (26 - f)$$

$$L_7 = B_1 F_{71} + B_2 F_{72} + B_3 F_{73} + B_4 F_{74} + B_5 F_{75} + B_6 F_{76} + B_7 (F_{77} + K_7) + B_8 F_{78} \quad (26 - g)$$

$$L_8 = B_1 F_{81} + B_2 F_{82} + B_3 F_{83} + B_4 F_{84} + B_5 F_{85} + B_6 F_{86} + B_7 F_{87} + B_8 (F_{88} + K_8) \quad (26 - h)$$

Si se hace rotar la caja 90° alrededor del eje que pasa por el centro de la ventana y de la muestra, (superficies 1 y 2) por simetría se concluye que:

$$B_5 = B_6 = B_7 = B_8 \quad (27)$$

y

$$B_5 F_{i5} = B_6 F_{i6} = B_7 F_{i7} = B_8 F_{i8} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (28)$$

Además considerando la ley de reciprocidad

$$A_{jji}^F = A_{ij}^F$$

con lo que, si

$$A_{i i5}^F = A_{i i6}^F = A_{i i7}^F = A_{i i8}^F \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (30)$$

será

$$A_{5 5i}^F = A_{6 6i}^F = A_{7 7i}^F = A_{8 8i}^F \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (31)$$

Como por construcción $A_5 = A_6 = A_7 = A_8$, se tiene que

$$F_{5i} = F_{6i} = F_{7i} = F_{8i} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (32)$$

Controlando que la temperatura de las paredes 5, 6, 7, 8 sea la misma y considerando la igualdad de emisividades de las mismas, se podrá reducir el sistema (26) utilizando las relaciones (27), (28) y (32) a uno de 5 ecuaciones.

$$L_1 = B_1 (F_{11} + K_1) + B_2 F_{12} + B_3 F_{13} + B_4 F_{14} + 4B_5 F_{15} \quad (33 - 1)$$

$$L_2 = B_1 F_{21} + B_2 (F_{22} + K_2) + B_3 F_{23} + B_4 F_{24} + 4B_5 F_{25} \quad (33 - 2)$$

$$L_3 = B_1 F_{31} + B_2 F_{32} + B_3 (F_{33} + K_3) + B_4 F_{34} + 4B_5 F_{35} \quad (33 - 3)$$

$$L_4 = B_1 F_{41} + B_2 F_{42} + B_3 F_{43} + B_4 (F_{44} + K_4) + 4B_5 F_{45} \quad (33 - 4)$$

$$4L_5 = 4B_1 F_{51} + 4B_2 F_{52} + 4B_3 F_{53} + 4B_4 F_{54} + 4B_5 (F_{55} + h) \quad (33 - 5)$$

$$\text{con } h = K_5 + 2F_{56} + 2F_{57} + 2F_{58} + 2F_{67} + 2F_{68} + 2F_{78} \quad (34)$$

Para obtener los distintos factores de forma existen tablas [1] (Roshenhow para distintas configuraciones, utilizando éstas y la ley de reciprocidad se llega a que:

$$\begin{aligned}
 F_{11} &= 0 \forall i & F_{31} &= F_{13} = F_{42} = F_{24} = 0 \\
 F_{21} &= a = 0,004; & F_{14} &= F_{23} = b = 0,25; & F_{15} &= F_{25} = c = 0,17; \\
 F_{31} &= F_{43} = d = 0,2; & F_{35} &= F_{45} = e = 0,2; & F_{56} &= F_{58} = F_{67} = F_{78} = f = 0,2; \\
 F_{57} &= F_{58} = g = 0,2;
 \end{aligned}$$

Por la relación entre áreas se ve que:

$$F_{51} \sim 0, F_{52} \sim 0, F_{53} = F_{54} = 0,99 = e = e'$$

Por lo que el sistema (33) se transforma en:

$$\begin{aligned}
 -B_1 K_1 + B_2 a + B_3 0 + B_4 b + B_5 4c & & (35-1) \\
 -B_1 a + B_2 K_2 + B_3 b + B_4 0 + B_5 4c & & (35-2) \\
 -B_1 0 + B_2 0 + B_3 K_3 + B_4 d + B_5 4e & & (35-3) \\
 -B_1 0 + B_2 0 + B_3 d + B_4 K_4 + B_5 4e & & (35-4) \\
 4B_1 0 + 4B_2 0 + 4B_3 e' + 4B_4 e' + B_5 4h & & (35-5)
 \end{aligned}$$

Para resolver este sistema de ecuaciones se ha empleado un método de triangulación de la matriz de coeficientes que es equivalente a combinar linealmente las ecuaciones, de tal manera de ir eliminando una incógnita en cada paso.

Se llega entonces a que

$$\left\{ \frac{\delta}{\rho} \gamma - \frac{\gamma}{\beta} \frac{d-k_4}{d} \frac{e \cdot a}{c} \right\} = \frac{\delta}{\rho} \left(\frac{\beta \lambda}{\alpha} - \mu \right) - \left(\frac{\gamma}{\beta} \right) \mu + \nu \quad (36)$$

$$\alpha = -d + \frac{be}{c} - k_3 \quad (37-1)$$

$$\beta = \frac{d-k_4}{d} \left(\frac{be}{c} - k_3 \right) + k_3 - d \quad (37-2)$$

$$\gamma = \left(\frac{h k_4}{e} - 4e' \right) \frac{k_3-d}{d-k_4} - \frac{hd}{e} + 4e' \quad (37-3)$$

$$\delta = \frac{\gamma}{\beta} \frac{d-k_4}{d} \frac{e k_2}{c} \quad (37-4)$$

$$\rho = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{d}{b} (a - k_2) + \frac{e k_2}{c} \right] - \frac{d-k_4}{d} \cdot \frac{e k_2}{c} \quad (37-5)$$

$$\mathcal{H} = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{d}{b} (k_1 - a) + \frac{e a}{c} \right] - \frac{d-k_4}{d} \frac{e a}{c} \quad (37-6)$$

Si se mantienen las paredes superior e inferior de la caja a igual temperatura que las laterales y si tienen la misma emisividad, se cumplirá que:

$$L_3 = L_4 = L_5$$

y colocando la (32) en función de L_1, L_2, L_3 se obtiene que

$$B_1 \left\{ \frac{\delta}{\rho} \mathcal{H} - \frac{\gamma}{\beta} \frac{d-k_3}{d} \frac{e a}{c} \right\} = L_1 \frac{\delta}{\rho} \frac{\beta}{\alpha} \frac{d}{b} + L_2 \left\{ \frac{\delta}{\rho} \frac{e}{c} \left(\frac{\beta}{\alpha} - \frac{d-k_3}{d} \right) - \frac{\delta}{\rho} \frac{\beta}{\alpha} \frac{d}{b} - \frac{(d-k_3)}{d} - \frac{e}{c} \frac{\gamma}{\beta} \right\} + L_3 \left\{ \frac{\delta}{\rho} \left(\frac{d-k_3}{d} - \frac{\beta}{\alpha} \right) + \frac{d-k_3}{d} \frac{\gamma}{\beta} + 4 - \frac{h}{e} \right\} \quad (38)$$

Con la cual se obtienen los valores de la tabla 1:

T_1 °K	T_w °K	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	B_1 (W.m ⁻²)	σT_1^4 (W.m ⁻²)
373	228	0,5	0,88	0,5	620	1097
373	203	0,5	0,88	0,5	593	1097
373	93	0,5	0,88	0,5	551	1097

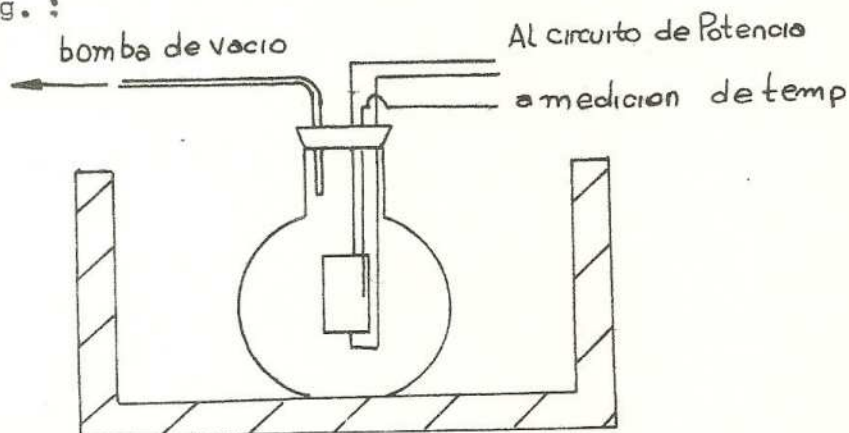
Los valores de T_w corresponden a los alcanzables con diferentes métodos de enfriamiento, a saber: Hielo seco (CO₂ Sólido), mezcla de hielo seco con alcohol etílico y nitrógeno líquido.

ϵ_1 se ha supuesto de valor 0,5 ó sea poco selectivo.

Se ve que B_1 , ó sea el flujo saliente de la placa, no cumple la condición de ser mucho menor que la energía emitida por ella. En consecuencia no

existe un sumidero de energía suficientemente poderoso como para despreciar el término correspondiente en (23). Es por esto que se ha diseñado otro recinto para poder medir la emisividad de la muestra.

En un balón (w) de boca ancha se introduce la muestra (1) a la cual se le unen los bornes de una fuente de tensión y la juntura de una termocupla como se ve en la Fig. :



Se tapa la boca con un tapón que permite hacerle el vacío deseado. El balance térmico indica ahora que

$$P + \alpha_1 \sigma T_w^4 F_{1w} = 2 \epsilon_1 \sigma T_1^4 \quad (39)$$

donde α_1 es el coeficiente de absorción de energía térmica de la placa y ϵ_1 el correspondiente a la emisión.

Dado que se trata de un recipiente totalmente cerrado se cumple que $F_{1w} = 1$ con lo que

$$P + \alpha \sigma T_w^4 = 2 \epsilon_1 \sigma T_1^4 \quad (40)$$

Para poder despreciar el segundo término a la izquierda de la igualdad, se deberá cumplir

$$2 \epsilon_1 \sigma T_1^4 \gg \alpha \sigma T_w^4 \quad (41)$$

o, lo que es lo mismo, teniendo en cuenta la ley de Kirchoff

$$2 T_1^4 \gg T_w^4 \quad (42)$$

Situación que se cumple en una relación 24 a 1 para el caso en que se calien

ta la placa a 373 μ K y se sumerge el balón en un baño a 200 μ K.

(+) En Hodgman, Ch.D.; Handbook of chemistry and physics - 36^o Edición, figuran tablas de mezclas frigoríficas, algunas que pueden ser utilizadas fácilmente:

- a) Alcohol + CO₂ sólido - 72°C
- b) Cloroformo + CO₂ sólido - 77°C
- c) Eter + CO₂ sólido - 77°C
- d) SO₂ líquido + CO₂ sólido - 82°C

BIBLIOGRAFIA:

- 1 Roshenow, "Handbook of Heat Transfer"
- 2 Dushman, S. "Scientific Foundations of vacuum"
- 3 Frish, S. Timoreva, A. "Curso de física general" Tomo I Editorial MIR 1972.
- 4 Strong, J.et.al, "Técnicas de Física Experimental" Tomo I, Eudeba, 1965.
- 5 Yavorski, B.M., Detlaf, A.A., "Manual de Física", Editorial MIR, 1972.

Terminología utilizada:

- 1) Coeficiente de absorción para longitudes de onda correspondientes al espectro solar
 - 2) Coeficiente de absorción para longitudes de onda correspondientes a la emisión térmica de la superficie j
 - 3) Radiación solar global incidente ($W m^{-2}$)
 - 4) Factor de forma de superficie j respecto de la i - ésima
 - 5) Constante de Boltzman ($W m^{-2} \text{ } ^\circ K^4$)
 - 6) Temperatura de la superficie i ($^\circ K$)
 - 7) Emisividad térmica de la superficie i
 - 8) Pérdida de calor por conducción - convección ($W m^{-2}$)
 - 9) Potencia eléctrica disipada en la muestra ($W m^{-2}$)
- El supraíndice p corresponde a la muestra patrón. El m a la muestra de prueba. El subíndice i (1 i 8) corresponde a la posición de las superficies en la caja según se ve en la figura 2. Cuando en vez de un número figura la letra w se refiere a todas las paredes del recinto en conjunto y sin distinción entre ellas, sin tener en cuenta las placas ni las ventanas.

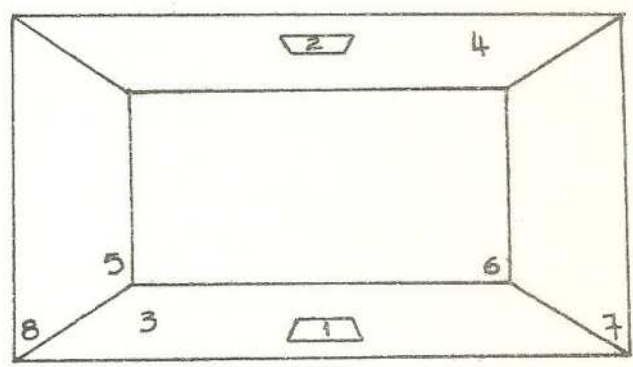


Fig. 2

1) placa a medir, 2) ventana, 3,4,5,6,7,8) paredes de la caja