

ATENUACION DE LA TEMPERATURA RADIANTE EN UN TINGLADO

Vicente L. Volantino, Jorge E. Cornejo.
Eduardo N. López, José V. Moruga, Luis O. Rayson

División Habitabilidad Higrotérmica
Depto de Construcciones, INTI
Av. Gral Paz e/ Constituyentes y Albarellos
casilla de correo 157 (1650) San Martín
Tel.: 754-4141 al 45 int. 500, Directo y Fax: 753-5784

RESUMEN

El objeto de este trabajo es el de cuantificar la atenuación de las temperaturas radiantes cuando se coloca aislación térmica y el efecto producido en chapas metálicas de diferentes clases y colores en función de los coeficientes de absorción, mediante mediciones realizadas sobre un tinglado abierto.

INTRODUCCION:

Es por todos conocido que las cubiertas de tipo metálico, cuando están sometidas a la radiación solar, elevan su temperatura respecto de la temperatura ambiente, dependiendo fundamentalmente de su coeficiente de absorción y que puede disminuirse con la utilización de algún aislante térmico. Esto es entendible desde el punto de vista cualitativo, pero es intención de este estudio establecer un método para determinarlo cuantitativamente mediante el empleo de un sistema de mediciones de temperaturas.

Como se dijo precedentemente es importante el coeficiente de absorción, por lo que se trató en este trabajo de utilizar chapas de distintos colores para evaluar la incidencia de los mismos. Se utilizaron dos tipos de materiales como aislante térmico, poliestireno expandido y lana de vidrio, con 1, 2 y 4 pulgadas de espesor cada uno, lo que determina seis variantes distintas de resistencia térmica para la cubierta.

El conocimiento de este salto térmico permitirá, bajo determinadas consideraciones establecer cual es el índice de carga térmica a que puede estar sometido una persona que permanece en un galpón de estas características. La Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo establece valores aceptables de índice de carga térmica contempladas en la Ley 19.587.

DESCRIPCION DEL TRABAJO:

Para la simplificación de algunas variables, en una primera etapa se realizará el estudio sobre un tinglado abierto.

Para satisfacer el objetivo del trabajo se usaron aislantes de distinta resistencia térmica, los que se ubicaron en la mitad inferior de cada faldón del

tinglado. Para cada tipo de aislante utilizado se efectuaron mediciones durante un periodo de 10 días, considerando para este trabajo sólo las horas diurnas.

Con el fin de determinar la atenuación de temperatura que cada tipo de cubierta presenta, se midieron las temperaturas superficiales inferiores, tanto en el aislante como en la chapa desnuda.

Para ello, se emplearon termocuplas de tipo T (cobre-constantan), cuya distribución se puede observar en la figura siguiente.

NORTE Casilla Meteorológica ☐

Chapas	16	15	14	13	12	11	10	9
	Negro	Rojo	Verde	Blanco	Galvan.	Zn-Al	Al	Al
ASLACION	31	29	27	25	23	21	19	17
	32	30	28	26	24	22	20	18
	16	14	12	10	8	6	4	2
ASLACION	15	13	11	9	7	5	3	1
Chapas	8	7	6	5	4	3	2	1

☐ Solarímetro

Se tomaron mediciones de la temperatura y de la humedad relativa ambiente, utilizando una termocupla desnuda y un sensor de efecto capacitivo respectivamente, ubicados en el interior de una casilla meteorológica, próxima a la estructura del tinglado.

También se midió la radiación solar incidente sobre el plano de la cubierta del faldón norte, utilizando un solarímetro que cubre el espectro visible, el infrarrojo cercano y el ultravioleta.

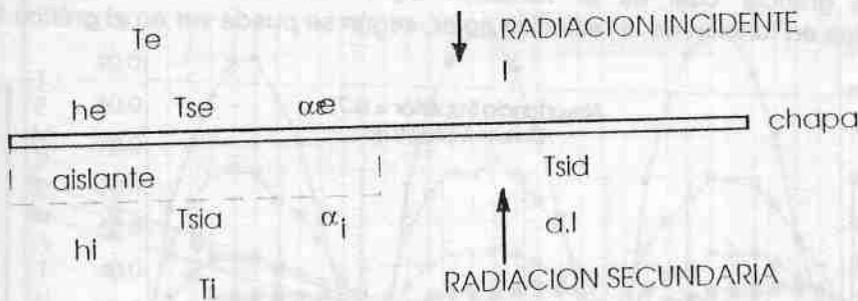
Con el objeto de conocer las distintas resistencias térmicas, se realizaron las determinaciones de conductividad térmica de los materiales aislantes que intervinieron en este trabajo. Los ensayos se realizaron con equipos que cumplen con las especificaciones de las Normas ASTM C177 y ASTM C518 y los resultados fueron.

$$R_1 = 0.57 \text{ m}^2 \text{ C/w}, \quad R_2 = 1.18 \text{ m}^2 \text{ C/w}, \quad R_3 = 2.47 \text{ m}^2 \text{ C/w}$$

MODELO MATEMATICO

Para la resolución del modelo matemático, se parte de las formas de transmisión de calor que se establecen en la cubierta del tinglado, de manera tal que se pueden establecer algunas simplificaciones al tratarse de un sistema abierto (los coeficientes de convección superior e inferior, las temperaturas

exteriores e interiores y además las temperaturas superficiales exteriores e interiores son iguales).



Si planteamos ecuaciones de flujo de calor en este sistema podemos establecer tres ecuaciones, en la parte superior, en el espesor del aislante y en la parte inferior del aislante, entonces:

$$[T_e - T_{se}] \cdot h + \alpha_e \cdot I = Q \quad (1)$$

$$[T_{se} - T_{si}] \cdot \frac{1}{R} = Q \quad (2)$$

$$[T_{si} - T_i] \cdot h - \alpha_i \cdot a \cdot I = Q \quad (3)$$

Se puede considerar que el sistema se encuentra en régimen permanente ya que la inercia térmica puesta en juego es prácticamente nula. Igualando (1) y (2) y despejando T_{se} tendremos:

$$T_{se} = (T_e \cdot h + \frac{T_{si}}{R} + \alpha_e \cdot I) \cdot \frac{R}{1 + h \cdot R} \quad (4)$$

Luego igualando (2) y (3) y despejando T_{si} :

$$T_{se} = [T_{si} \cdot [h + 1/R] - T_i \cdot h - \alpha_i \cdot a \cdot I] \cdot R \quad (5)$$

Igualando (4) y (5) y despejando T_{si} :

$$T_{sia} = T_e + \frac{I}{h} \cdot [\alpha_{ia} \cdot a \cdot [1 + R \cdot h] / [2 + R \cdot h] + \alpha_e / [2 + R \cdot h]] \quad (6)$$

Podemos considerar que en la chapa es $R=0$, entonces:

$$T_{sid} = T_e + [\alpha_{id} \cdot a + \alpha_e] \cdot \frac{I}{2 \cdot h} \quad (7)$$

Restando (7) de (6) tendremos la diferencia de temperatura de las superficies radiantes:

$$\Delta T_{si} = k \cdot I$$

Con los valores de conductividad térmica medidos, los espesores de aislante conocidos, los valores de absorción y los coeficientes de convección de tablas, se puede graficar cual es la variación de la diferencia de temperaturas superficiales en función de la radiación solar, según se puede ver en el gráfico 1.

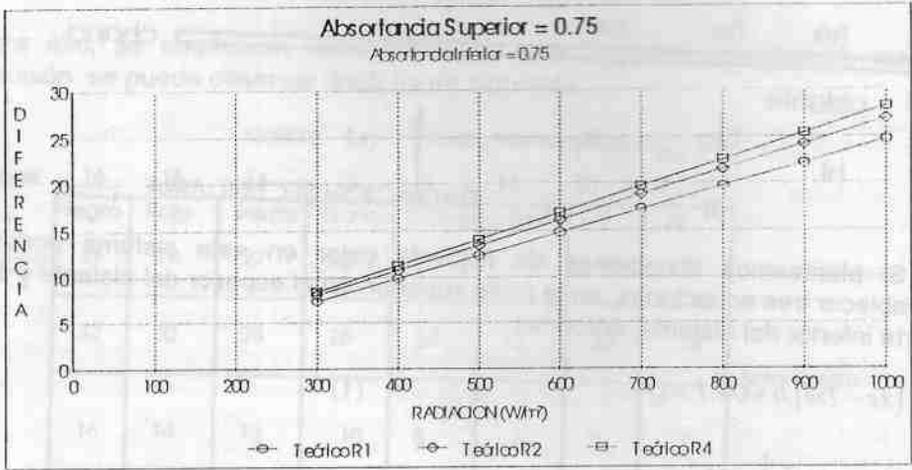


gráfico 1

ANALISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES

Para cada sistema de cubierta, constituido por un determinado tipo de chapa y un aislante térmico definido, se analizaron y seleccionaron los días más representativos, es decir, los que presentaban una distribución normal de la intensidad de radiación solar. De esta manera, se configuraron secuencias de 3 o 4 días según el caso, sobre las que se desarrolló el análisis de las mediciones. Se supone que, con los días diáfanos y calmos como los que se han elegido para este trabajo, se puede adoptar un valor del coeficiente de convección.

En la gráfico 2, se puede observar la distribución horaria diurna de la intensidad de radiación solar, la temperatura ambiente y las temperaturas superficiales inferiores. Cabe aclarar, que se eliminó la representación correspondiente a las horas que no hay radiación, ya que no son necesarias para el análisis.

Se observa que el máximo de la temperatura ambiente tiene un retardo entre 3 y 4 horas respecto del máximo de la intensidad de radiación solar. Este desfase, no se presenta en las distribuciones de las temperaturas superficiales lo que significa que no existe histéresis entre dichas temperaturas y la intensidad de radiación solar. Por consiguiente no se puede efectuar una regresión lineal de la temperatura ambiente con la radiación.

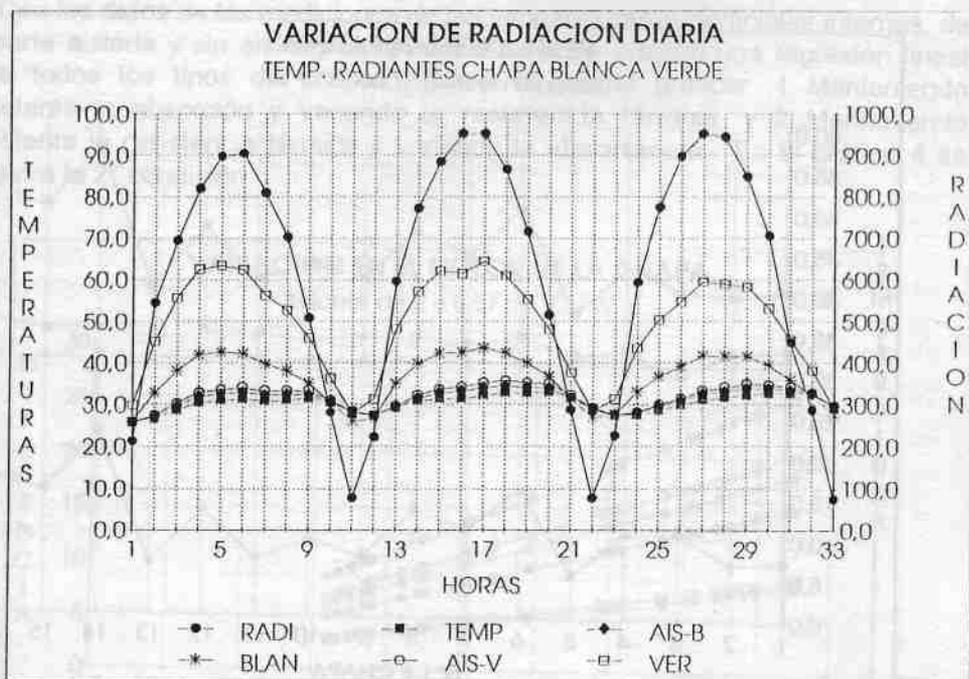


gráfico 2

Otro dato interesante de destacar, es que para radiación nula las diferencias de temperaturas superficiales inferiores presentan un valor distinto de cero, principalmente para los casos de las chapas tratadas con pintura, como se puede observar en el gráfico 2. Esto se debe a que para bajas radiaciones se produce un intercambio con la bóveda celeste que le ocasiona un enfriamiento en la temperatura superficial de la chapa por debajo de la temperatura ambiente. Este fenómeno es más notorio en las chapas de color, debido a que tienen mayor emisividad en el infrarojo lejano que las chapas sin pintura y nuevas.

Con los datos obtenidos también se puede configurar un perfil de temperaturas sobre el tinglado en cada chapa, tanto en la parte aislada como en la parte sin aislar, lo que permite ver una representación global, para un día y una hora determinada, como se muestra en el gráfico 3.

El color exterior de la chapa se ha considerado siempre como determinante de la temperatura interior del recinto. Las mediciones efectuadas han verificado que los colores oscuros generan temperaturas superficiales inferiores mayores que los claros. Sin embargo es destacable observar que no ha sido la chapa de color negro la que desarrolló la temperatura más elevada, como era previsible, por tener un mayor coeficiente de absorción a la radiación solar, sino la de color verde.

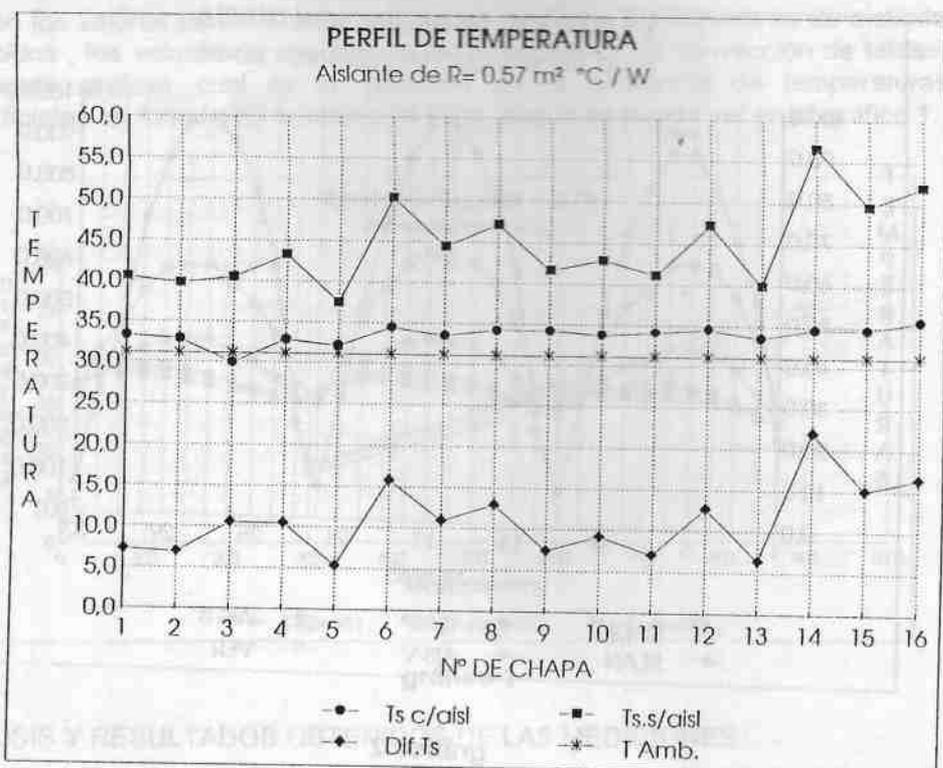


gráfico 3

Esto es debido a que por estar el tinglado abierto, es necesario considerar también el color inferior de la cubierta, para estimar cual es el coeficiente de absorción aparente. En este caso, la chapa de color negro posee una cara inferior de color claro mientras que la chapa de color verde inferiormente posee un color oscuro, dando esta última un coeficiente de absorción aparente mayor.

Observando en el gráfico y tomando como referencia la chapa de color verde se puede establecer una atenuación de la temperatura por color, generando la siguiente tabla.

COLOR	NEGRA	ROJA	VERDE	BLANCO	12	11	10	9
	8.13	12.37	0.00	29.51	16.61	27.39	24.20	26.50

Con respecto a las chapas con aislación térmica, las temperaturas superficiales inferiores presentan una distribución más uniforme, reduciendo de este modo la influencia del color de la chapa.

En cuanto a las chapas con diferentes recubrimientos metálicos no se aprecian diferencias significativas en la temperatura superficial interna, pero es interesante observar que en todos los casos la misma siempre resultó ser mayor que la desarrollada por la chapa de color blanco.

Con los datos de las mediciones de las temperaturas superficiales internas, de la parte aislada y sin aislar y la radiación solar se efectuó una regresión lineal para todos los tipos de chapas, donde se puede graficar :1.-Manteniendo constante la absorción y variando la **resistencia térmica**. y 2.-Manteniendo constante la resistencia térmica y variando la **absortancia**. En el gráfico 4 se muestra la 2° condición.

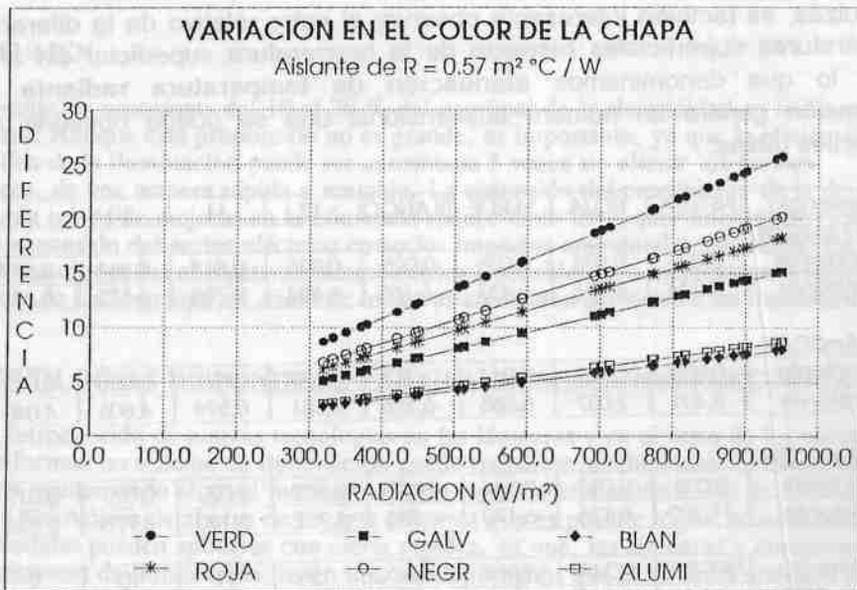


gráfico 4

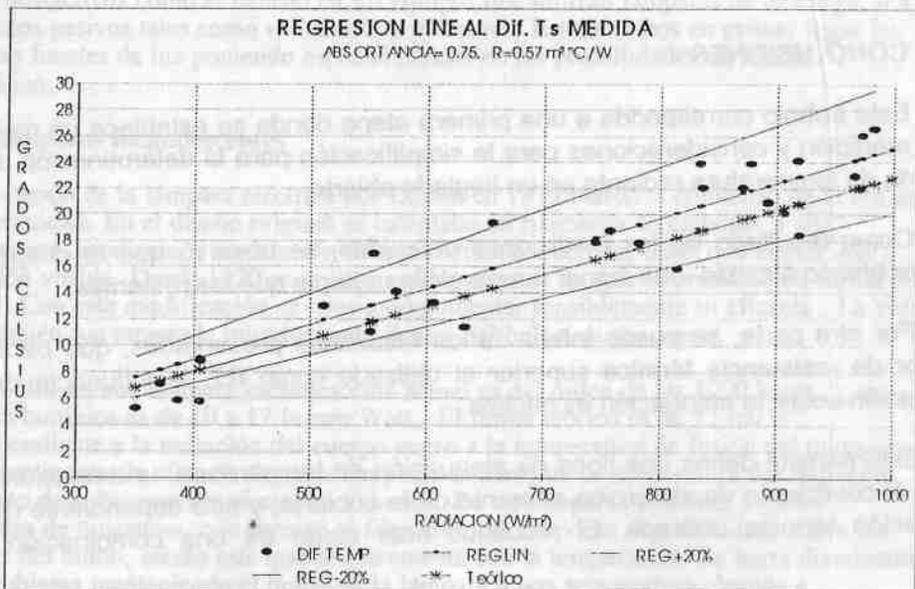


gráfico 5

En el gráfico 5 se puede observar que la nube de mediciones tiene un apartamiento de un 20 % respecto del valor linealizado, pero si lo comparamos respecto del valor teórico el apartamiento no supera el 10 % por exceso, esto quiere decir que la diferencia de temperaturas teórica es menor que la medida, debido a que los valores teóricos fueron calculados con datos de tablas. De aquí, surge como objetivo en la continuación de este trabajo, la tarea de poder medir las otras variables intervinientes para poder correlacionarlas.

Quizás, es también interesante observar el valor relativo de la diferencia de temperaturas superficiales respecto de la temperatura superficial sin aislar, es decir lo que denominamos **atenuación de temperatura radiante**. Dicha atenuación genera un número adimensional que se puede observar en las siguientes tablas:

Resistencia	NEGRA	ROJA	VERDE	BLANCO	12	11	10	9
0.57 m ² C/W								
pendiente	0,026	0,028	0,036	0,025	0,025	0,018	0,018	0,014
constante	9,244	6,151	6,437	-6,165	6,684	2,785	6,625	6,630

Resistencia	NEGRA	ROJA	VERDE	BLANCO	12	11	10	9
1.18m ² C/W								
pendiente	0,038	0,037	0,044	0,032	0,035	0,027	0,025	0,022
constante	8,401	2,037	6,565	-6,185	5,381	0,594	4,806	4,040

Resistencia	NEGRA	ROJA	VERDE	BLANCO	12	11	10	9
2.47 m ² C/W								
pendiente	0,035	0,033	0,044	0,033	0,032	0,023	0,021	0,017
constante	11,202	8,125	6,170	-6,883	8,722	5,140	8,775	8,996

Resistencia	NEGRA	ROJA	VERDE	BLANCO	12	11	10	9
0.57 m ² C/W	35,7	34,1	42,9	18,7	31,4	20,8	25,1	20,7
1.18m ² C/W	46,6	39,3	50,1	25,5	40,4	27,7	29,3	26,1
2.47 m ² C/W	46,6	41,0	50,1	25,6	40,5	27,9	29,3	26,1

CONCLUSIONES:

Este trabajo corresponde a una primera etapa donde se establece un método de medición y consideraciones para la simplificación para la determinación de la caída de temperatura radiante en un tinglado abierto.

Como resultado de las mediciones obtenidas, se observó que la chapa de color blanco alcanza una menor temperatura radiante que las restantes.

Por otra parte, se puede inferir de los resultados presentados, que para un valor de resistencia térmica superior al utilizado como R2, la influencia de la aislación sobre la atenuación es mínima.

Esto permite definir dos tipos de atenuación de temperatura, una relacionada con el coeficiente de absorción aparente de la cubierta, y otra dependiente de la aislación térmica utilizada. El resultado final surge de una combinación de ambas.