



## CALCULO APROXIMADO DE LA TRANSMITANCIA DE “n” CUBIERTAS DE CARAS PARALELAS

D. Perelló, y J. Follari  
Laboratorio de Energía Solar y Medio Ambiente  
Universidad Nacional de San Luis  
Chacabuco y Pedernera - 5700 San Luis

**RESUMEN:** En un colector solar es necesario conocer la energía que le llega al receptor. Para ello es fundamental conocer la transmitancia de la cubierta que lo protege. Disponer de una forma sencilla y rápida para conocer esa transmitancia es muy conveniente.

Se hace necesario disponer de una ecuación que nos permita su cálculo de la transmitancia y este es el objetivo del presente trabajo. Por supuesto deberá tener buena correlación con los datos experimentales disponibles o a obtener.

Se presenta una propuesta de cálculo y su comparación con datos experimentales y con la ecuación aproximada obtenida por Duffie y Beckman. Se realiza la comparación con placas de policarbonato alveolar de 8 mm, de interés para colectores solares. La experiencia fue realizada en nuestro laboratorio.

**Palabras clave:** colectores solares, transmitancia, energía solar.

### INTRODUCCION

Los colectores solares térmicos son una parte fundamental en el aprovechamiento de la energía solar.

Las mejoras que se han producido en los materiales hacen que su estudio no pierda vigencia.

Sus despreciables efectos contaminantes, hacen de su uso una forma efectiva de proteger el medio ambiente. Además de ser una forma simple y efectiva de ahorrar energías no renovables.

Una parte fundamental de un colector es su cubierta traslúcida y poder conocer o estimar fácilmente su transmitancia en el visible e infrarrojo es importante.

En la bibliografía existen formas de calcularla en forma aproximada aunque tiene limitaciones cuando se incrementa el número de cubiertas presentes.

Se presenta una aproximación con la que se puede calcular la transmitancia de cubiertas traslúcidas y para cualquier número de cubiertas de caras paralelas con buena correlación con los datos experimentales.

La radiación incidente sobre la cubierta del colector, es absorbida, reflejada y transmitida.

Esto lo podemos escribir como:

$$1 = a + r + t \quad (1)$$

r = es la fracción de radiación incidente que es reflejada, esta fracción de energía es perdida.

a = es la fracción de energía absorbida, la cual es transformada en energía térmica y por simetría en promedio el 50% se pierde hacia arriba y el 50% restante va hacia el colector

t = es la fracción de energía transmitida. En nuestro caso se quiere que sea la mayor posible en el rango  $0.3 < \lambda < 2.5 \mu\text{m}$ .

Para determinar la conveniencia o no de usar un material como cubierta de colectores solares, es fundamental conocer su transmitancia, reflectancia y absorbancia.

La transmitancia, reflectancia y absorbancia son funciones: del espesor de la lámina, del ángulo de incidencia de la radiación, del índice de refracción “n” y del coeficiente de extinción del material “K”.

En general el coeficiente de extinción y el índice de refracción son funciones de la longitud de onda de la radiación incidente. A pesar de esto, nosotros en el presente trabajo, los tomaremos como constantes para todo el espectro de radiación incidente, esto es, según DUFFIE and BECKMAN, una buena aproximación para el vidrio y supondremos que, por ejemplo, para el policarbonato tiene también una buena correlación. Al ser los espesores usados mucho mayores que las longitudes de onda intervinientes los efectos de interferencia son despreciables.

Cuando tenemos radiación incidente sobre una superficie que separa dos medios transparentes los cuales tienen distinto índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ , donde  $n_1$  es el índice de refracción del medio 1 y  $n_2$  es el índice de refracción del medio 2, podemos usar las expresiones para los coeficientes de reflexión para los cuales hay abundante bibliografía (MARION, 1968), (DUFFIE and BECKMAN, 1991), (JACKSON, 1980).

Cuando llega, una onda no polarizada a una superficie de separación de dos medios, la porción que es reflejada, es además polarizada en dos planos, uno perpendicular y otro paralelo al plano de incidencia. Las ecuaciones que describen esto son:

$$R_{\perp} = \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{2}$$

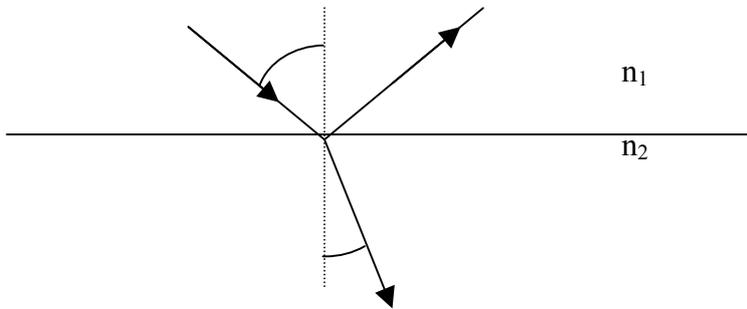
$$R_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{3}$$

El coeficiente de reflexión total lo pondremos como el promedio de ambos, es decir:

$$R = \frac{1}{2}(R_{\perp} + R_{\parallel}) \tag{4}$$

Para el caso de una simple superficie de separación de dos medio, tendremos:

medio 1



medio 2

Fig 1

Ángulo incidente, refractado y reflejado para un rayo que incide sobre una superficie que separa dos medios de índices de refracción distintos

Si  $n_1$ , es el aire el valor de  $n$  en ese caso será igual a la unidad.

Para el caso de tener una placa de material de caras paralelas, es decir, por ejemplo una lámina de vidrio, lo que tendremos será:

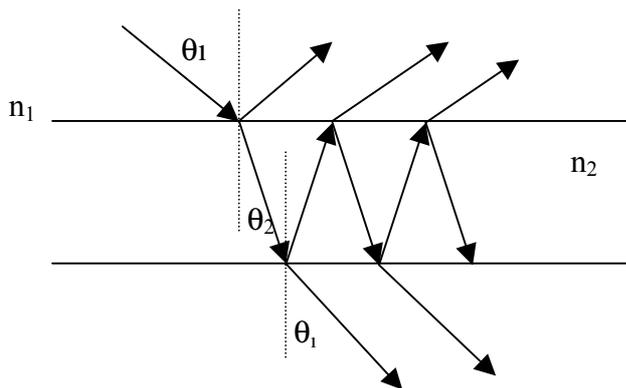


Fig 2

Esquema de rayos en una cubierta de vidrio

Como vemos en la Fig 2, un rayo que incide sobre la primera superficie  $S_1$  de ambos medios, es parcialmente reflejado (esta porción de energía se pierde) y es parcialmente refractado y transmitido a través de medio 2. Esta porción transmitida, cuando incida sobre la segunda superficie, sufrirá el mismo fenómeno que le ocurrió en la

primera. La porción transmitida llegará al receptor, pero la porción reflejada volverá a la primera superficie y le ocurrirá lo mismo. Estos fenómenos irán atenuando la cantidad de energía hasta ser prácticamente extinguida. Una expresión que da una aproximación de la transmitancia para el caso de una lámina de caras paralelas (DUFFIE and BECKMAN 1980), por ejemplo una placa de vidrio, es:

$$T = \frac{1}{2} \left( \frac{1 - R_{\parallel}}{1 + R_{\parallel}} + \frac{1 - R_{\perp}}{1 + R_{\perp}} \right) \quad (5)$$

En el caso de que sean N el número de cubiertas propone la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - R_{\parallel}}{1 + (2N - 1) * R_{\parallel}} + \frac{1 - R_{\perp}}{1 + (2N - 1) * R_{\perp}} \right] \quad (6)$$

También se tiene en cuenta la absorción producida.

Proponemos para realizar el cálculo de la transmitancia de láminas de caras paralelas la siguiente expresión.

$$T = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - R_{\parallel}}{1 + R_{\parallel}} + \frac{1 - R_{\perp}}{1 + R_{\perp}} \right]^N \quad (7)$$

Los resultados obtenidos de los cálculos teóricos, contrastados con los valores experimentales para una muestra de policarbonato muestran una buena concordancia, cuando las nervaduras de refuerzo están colocadas en la dirección NORTE – SUR. Aunque como vemos la aproximación que, de ahora en adelante llamaremos San Luis Fig 3, es mucho mejor para cualquier número de cubiertas. La discrepancia se hace mayor cuando mayor sea el número de estas cubiertas. Tanto es así que la aproximación de DUFFIE & BECKMAN presenta un incremento en la transmitancia para ángulos mayores de 40°, a partir de tres cubiertas, Fig 4-2, claro está que esta aproximación no pareciera haber sido pensada para tantas cubiertas, tengamos en cuenta que cada placa de policarbonato tiene dos cubiertas de las consideradas por los autores nombrados, esto lleva a que en el caso de tres cubiertas de policarbonato tengamos seis cubiertas simples de las consideradas por DUFFIE & BECKMAN. Los programas de cálculo, para ambos casos consideran a cada cubierta de policarbonato como dos cubiertas simples.

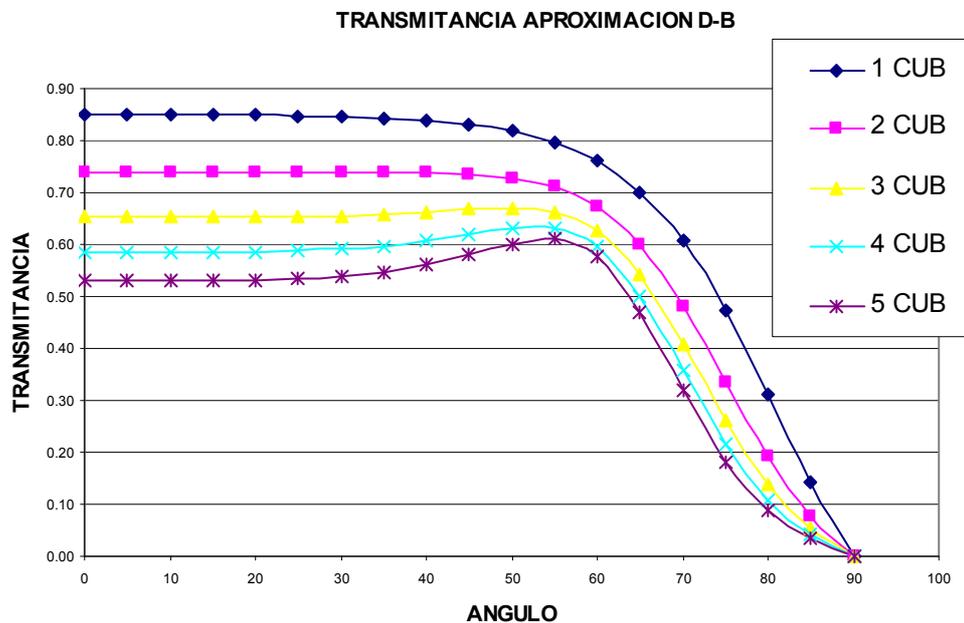


Fig 3  
Aproximación D-B sin atenuación para 1, 2, 3, 4 y 5 placas de policarbonato

La fig 3 muestra los resultados obtenidos con el cálculo de la transmitancia siguiendo la expresión de Duffie y Beckman, vemos que a medida que se incrementan el número de cubiertas se incrementa la transmitancia para ángulos mayores de 30°. En la Fig. 4 vemos los resultados del cálculo siguiendo lo que llamaremos aproximación San Luis.

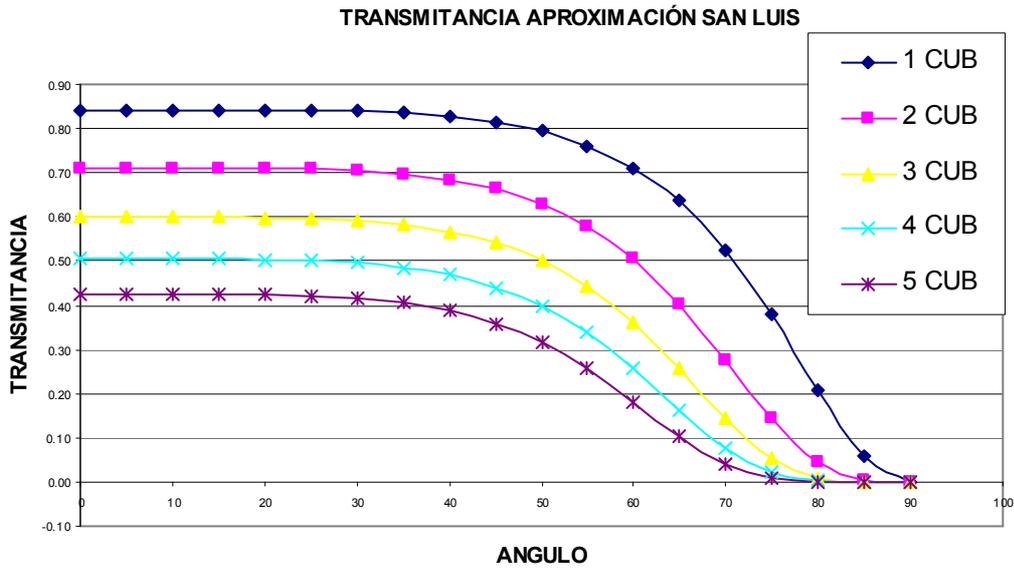


Fig 4  
Aproximación San Luis sin atenuación para 1, 2, 3, 4 y 5 placas de policarbonato

A priori parecería ser que la aproximación San Luis cumpliría mejor con lo que uno podría esperar. Veamos como se comporta frente a los valores experimentales, esto se muestra en la fig 5.

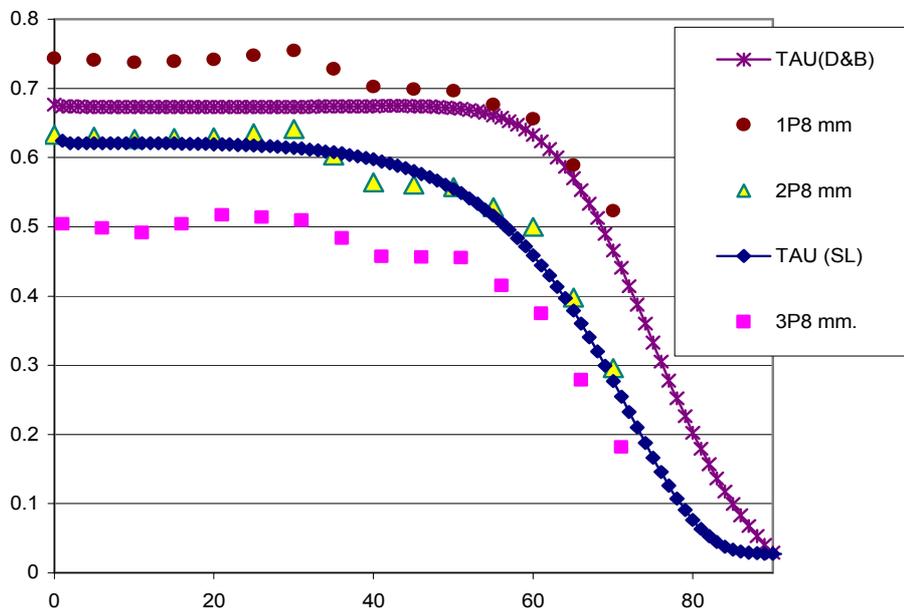


Fig. 5

Comparación entre datos experimentales de transmitancia global para dos cubiertas de policarbonato con nervaduras N-S y las aproximaciones teóricas dadas por D-B y San Luis considerando atenuación para dos cubiertas de policarbonato alveolar de 8mm

En la fig. se presentan los datos experimentales para 1, 2 y 3 cubiertas.

## CONCLUSIONES

La ecuación (7) provee una buena aproximación para calcular la transmitancia de una cubierta traslúcida de un colector en función del ángulo de incidencia de la radiación.

Esta ecuación es fácil de evaluar con una planilla de cálculo, conociendo algunos parámetros de la cubierta.

La ecuación aproximada obtenida guarda un mejor acuerdo con los datos experimentales que la aproximación de Duffie y Beckman sobre todo para muchas cubiertas y ángulos mayores de 30° grados.

## BIBLIOGRAFÍA

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley Interscience, New York.

Perelló D. y Fasulo A. (2001) "Comparación de las transmitancias de policarbonato y vidrio", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 5, pp 08.143-08.148.

Flores Larsen S. y Lesino G. (2003) "Estudio Energético de Cubiertas Traslúcidas", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 7, N° 2 pp 08.67-08.72.

**ABSTRACT:** In a solar collector it is necessary to know the energy arriving at the receptor. To achieve this it is of fundamental importance to know the transmittance of the covering that protects it. To dispose of a simple and fast way to find out this transmittance is quite convenient. It becomes necessary to dispose of an equation that would allow us to calculate the transmittance, and this is the aim of the essay presented. Certainly it will need a good correlation with experimental data available or to be obtained. A calculus proposition is presented and compared with experimental data and approximated equation found by Duffie and Beckman. Comparison with the effect of alveolar polycarbonate sheets of 8 mm, of interest for solar collectors. The experiment was performed in our laboratory.

**Keywords:** Solar collectors, transmittance, solar energy.