

# *Comportamiento radiométrico en materiales compuestos Fibra de vidrio+Resina de poliéster*

## */Radiometric behavior of composite materials Fiberglass + Polyester resin*

Andrés Felipe Pérez<sup>1</sup>, Jairo Enrique Vargas Pineda<sup>2</sup>, Mary Luz Jiménez Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD. en Ingeniería, Dirección de Investigación, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá-Colombia. [afperez@libertadores.edu.co](mailto:afperez@libertadores.edu.co)

<sup>2</sup>Msc. Lic. Profesor Universidad La Gran Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá-Colombia. [jairo.vargas@ugc.edu.co](mailto:jairo.vargas@ugc.edu.co)

<sup>3</sup>Lic. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Sede Macarena A., Facultad de Educación, Bogotá-Colombia. [mjimezt@correo.udistrital.edu.co](mailto:mjimezt@correo.udistrital.edu.co)

Fecha de recepción: 07/10/2014 Fecha de aceptación: 23/10/2014

Página  
55

ESING

### Resumen

El presente trabajo de investigación estudia el efecto de la solar sobre los materiales compuestos de resina de poliéster y fibra de vidrio, para posibles aplicaciones en la industria militar. Se quiere determinar el porcentaje óptimo de irradiación para los materiales compuestos. En la metodología experimental se diseña una resina de poliéster y fibra de vidrio laminado por el método de Wet Lay-Up. Los compuestos se prepararon en solución con resina de poliéster comercial, usando estireno como disolvente. Los especímenes fueron curados al aire libre durante 24 horas. Se caracterizaron usando porcentaje definido para cada componente, seleccionando finalmente un compuesto con una concentración de 4,5% (fibra) y 95,5% (resina) como combinación óptima. Para esto se somete a prueba de radiación transmitida e incidente.

Este material muestra un comportamiento óptico favorable para aplicaciones arquitectónicas militares debido a su alto coeficiente de transmisión óptica. De acuerdo a los resulta-

dos, es posible reemplazar el vidrio por este material debido a una radiación interna de 80% de la radiación total incidente que se puede tener en este. Otra ventaja de este material para usos militares es que la radiación difusa es baja y se aplica como medida de prevención en la reconstrucción de las imágenes a través de este material.

### Palabras clave

Radiación solar en materiales compuesto, resina de poliéster, fibra de vidrio, comportamiento radiométrico.

### Abstract

The present research studies the radiation effect over composites of polyester resin and fiberglass applied to the military industry. We want to determine the optimal percentage of irradiation for these composites. In the experimental methodology, design a polyester resin and fiberglass laminate by the method of Wet Lay-Up. The compounds were prepared in solution with a commercial polyester resin,

Para citar este artículo / To cite this article

A. Pérez, J. Vargas, M. Jiménez. Comportamiento radiométrico en materiales compuestos Fibra de vidrio + Resina de Poliéster. Revista Ingenieros Militares, No.9, pp. 55-64. 2014.

using styrene as solvent. The specimens were cured in the open air for 24 hours. Characterized using percentage are defined for each component, then selecting a compound with a concentration of 4.5% (fiber) and 95.5% (resin) as an optimum combination. It is tested transmitting and incident radiation.

This material shows a favorable optical performance for military architectural applications because of their high optical transmission coefficient. According to the results, it is possible to replace the glass for this material due to internal radiation 80% of the total radiation that can be had in this. Another advantage of this material for military purposes is that the diffuse radiation is low and which is applied as a preventive measure in the reconstruction of images through this material.

### Keywords

Solar radiation composite materials, polyester resin, fiberglass, radiometric performance.

### Introducción

Este trabajo ofrece una visión general de un estudio destinado a desarrollar, a partir del análisis experimental, un material compuesto de fibra de vidrio (FV) y resina de poliéster (PS) para comprender su comportamiento ante la incidencia de la radiación solar y su aplicación en la industria militar.

¿Qué es un material compuesto? No existe una definición ampliamente aceptada para responder a esta pregunta. Esta dificultad radica en las limitaciones de tamaño que se imponga a los componentes que conforman el material. Algunos autores definen como material compuesto a un sistema material integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química y que son esencialmente insolubles entre sí.

Para los objetivos de este trabajo se deja de lado el punto de vista microscópico y se define que un material compuesto es aquel formado

por una mezcla de dos o más materiales a nivel macroscópico. La importancia, bajo el punto de vista de la ingeniería, que revisten los materiales compuestos es que dos o más materiales distintos se combinan para formar un material con propiedades superiores, o en algún modo más importante que las de sus componentes considerados individualmente.

¿Qué es la radiación solar? La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera, de modo que es necesario diferenciar algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación.

En su paso a través de la atmósfera, parte de la radiación solar es atenuada por dispersión y otra parte por absorción. La radiación que es dispersada por la atmósfera se conoce como radiación difusa. A la radiación que llega a la superficie de la tierra sin haber sufrido cambio en su trayectoria lineal desde el disco solar se llama radiación directa.

Las relaciones entre los diferentes tipos de radiación solar, finalmente, permiten establecer coeficientes característicos usados para la estimación de radiación solar directa incidente sobre un lugar de interés, o como en este caso, sobre un material que hace parte de la piel de una edificación. No existen estudios prolongados de este tipo de radiación que permitan su evaluación mediante el uso de modelos teórico y/o empíricos, por esta razón se realizó un estudio de modelos desarrollados previamente, para establecer su validez y realizar los ajustes que permitan su utilización en la estimación de la radiación solar a la hora de proyectar y/o ejecutar materiales compuestos en un proyecto para la piel de las estructuras militares con características de control solar.

## Metodología

Para expresar la potencia solar y en general, de cualquier radiación, se utiliza el término irradiancia. La irradiancia (con unidades en  $W/m^2$ ), es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie por unidad de área. Generalmente se usa el símbolo  $G$  para la irradiancia, junto con los subíndices adecuados:  $G_0$ ,  $G_b$ ,  $G_d$ , para la irradiancia terrestre, directa y difusa. Se puede afirmar, de igual manera, que la irradiancia tiene la virtud de indicar muy claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo y que además, no es estático [1]. Es energía que incide instantáneamente sobre una superficie.

El cálculo de la irradiancia estará dado por la siguiente expresión:

$$G(\beta, \alpha) = B(\beta, \alpha) + D(\beta, \alpha) + R(\beta, \alpha)$$

Donde  $R(\beta, \alpha)$  representa la irradiancia reflejada y la irradiancia directa y difusa se calculan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$B(\beta, \alpha) = B \max(0, \cos \theta_s)$$

$$D(\beta, \alpha) = D^l(\beta, \alpha) + D^c(\beta, \alpha)$$

Cuando incide la radiación sobre un plano, durante un tiempo determinado, puede hablarse entonces que incidió una cierta cantidad de energía. La cantidad de energía, por unidad de área, que incide durante un período de tiempo dado, recibe el nombre de irradiación, con unidades de  $(J/m^2)$ , y no es otra cosa que la integral de la irradiancia durante el período en cuestión. Generalmente se usa el símbolo  $I$  para la insolación por hora, mientras que  $H$  se usa para la insolación en el período de un día. Se aplican los mismos subíndices que se usan para expresar la irradiancia [2].

De acuerdo con lo anterior, la relación entre la irradiación y la irradiancia está dada por la expresión:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt$$

En donde la irradiación se está calculando desde el tiempo  $t_1$  hasta el tiempo  $t_2$  y la irradiancia se considera función del tiempo.

### Calculo de la irradiancia directa sobre una superficie

El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no sólo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que esté en posición normal a la dirección de propagación de la radiación. Por el contrario, será mínima si el plano es paralelo a la radiación. La intensidad de radiación sobre la superficie dependerá pues, del ángulo que forme la normal de la superficie, respecto de la dirección de propagación de la radiación. Este ángulo se conoce con el nombre de ángulo de incidencia [3], [4].

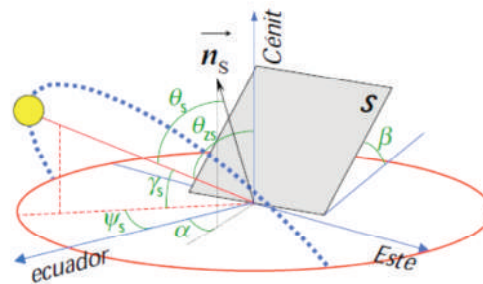


Figura 1. Ángulo de incidencia Fuente [4].

Donde:

$\alpha$  acimut de la superficie de captación  $S$

$\beta$  elevación de la superficie  $S$

Luego, la irradiancia incidente sobre la superficie será:

$$G_t = G_n \cos \theta$$

Donde  $G_t$  se refiere a la irradiancia sobre un plano con cualquier inclinación y  $G_n$  se refiere a la irradiancia medida sobre un plano normal a la dirección de propagación de la radiación.

### Medición de la radiación solar

En la práctica, no es suficiente con calcular la radiación teórica que incide sobre un lugar o sobre un equipo solar determinado. Es necesario hacer las mediciones, para tener los valores efectivos de energía disponible o incidente sobre un colector.

Existen varios métodos para medir la radiación solar, ya sea en forma de irradiancia o de irradiación. El método más aceptado comúnmente, es el uso de un piranómetro, ver figura 2. Un piranómetro, es un instrumento para medir la irradiancia global (directa + difusa), usualmente sobre una superficie horizontal [4].

La información generada por un piranómetro debe ser registrada, ya sea por un método gráfico o electrónico. Esto permite entonces integrar las irradiancias en períodos dados, para obtener la irradiación correspondiente. Además el equipo debe ser calibrado de acuerdo con la norma NTC-ISO/IEC 17025. Para verificar que cumple con los requisitos especificados del laboratorio y con las especificaciones normalizadas. En el proceso de calibración de los piranómetros el laboratorio debe seguir las recomendaciones y exigencias de la ISO 9847 y la comparación con un patrón de referencia para los piranómetro estándar secundarios, proporcionados en la ISO 9060:1990.

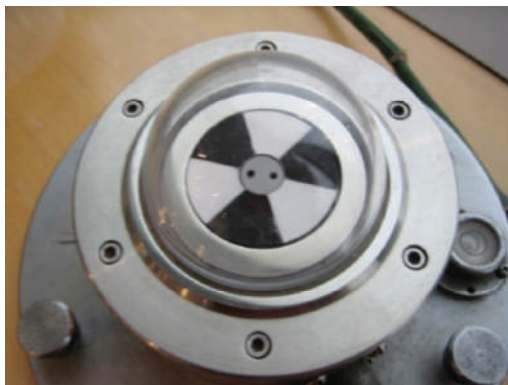


Figura 2. Piranómetro Eppley de termopila. Fuente Fundación Universitaria Los Libertadores

### Métodos de Ensayo

Para el experimento planteado, la calibración se realizó al aire libre, en condiciones de cie-

lo despejado y durante 2 días. Para cada día se obtenían 24 series de 15 minutos al día centradas en las 12 horas.

El análisis del compuesto y la evaluación de los resultados están determinados a partir de los siguientes parámetros: Micromecánica de una lámina, es decir, su comportamiento mecánico en función de las propiedades de la matriz y del refuerzo. Incidencia de la orientación de las fibras sobre el comportamiento óptico de un material compuesto.

Los materiales utilizados para las pruebas se describen a continuación.

**Desmoldante:** colrepx C10, es un desmoldante tipo cera que permite una separación o desmoldado impecable de pieza coladas y fabricadas a base de sistemas epóxicos partiendo de materiales con o sin porosidades, tales como porcelana, yeso, metales, vidrio madera etc.

**Resina:** palatal CO P4, es un poliéster insaturado basado en ácido ftálico y glicoles estándar, disuelto en estireno. Esta resina es de reactividad media y alta viscosidad. Este producto es particularmente apropiado para la producción de laminados prácticamente libres de tensiones internas. No está pre-acelerado, por lo que se debe adicionar acelerante de cobalto o amina para el endurecimiento a temperatura ambiente, algunas de sus propiedades se describen en la tabla 1.

Para el curado de Palatal CO P4 se pueden utilizar los peróxidos comúnmente usados para las resinas de poliéster insaturado tales como peróxido de metiletilcetona (MEKP), ciclohexanona (CHP) y acetilacetona (AAP). Al usar acelerante de cobalto, el tiempo de gel se puede extender adicionando un inhibidor en base a t-butilcatecol.

Para asegurar un curado libre de adherencia en superficies expuestas al aire libre y dependiendo de las condiciones específicas del curado (espesor del laminado, acelerantes, peróxidos, temperatura ambiente), se recomienda adicionar un 5% de una solución de parafina (punto de fusión 46 – 48°C) al 5% en estireno, mante-

niendo la temperatura de la resina entre 18°C y 35°C.

La reacción de curado o entrecruzamiento de resinas de poliéster insaturado es muy compleja, considerando que intervienen muchos procesos reactivos simultáneamente [5]. El proceso sigue un mecanismo de tipo radicalario. Los radicales libres para el inicio del proceso son suministrados, normalmente, por un iniciador, habitualmente un peróxido, que puede descomponer, por rotura homolítica del enlace O-O, mediante la acción del calor o de un promotor.

Los promotores o acelerantes se utilizan habitualmente para provocar la descomposición química del iniciador a bajas temperaturas. Los más utilizados son las sales orgánicas de cobalto y las aminas terciarias.

Catalizador: peroxicol 110 es un catalizador para resinas de poliéster insaturado y es generalmente usado para aplicaciones que emplean curado a temperatura ambiente, sus especificaciones técnicas se presentan en la tabla 2. Es necesario que la resina contenga un promotor o acelerante antes de adicionarle el Peroxicol 110.

Tabla 1. Propiedades en estado de suministro (valores típicos). resina palatal CO P4. Fuente proveedor, L. A. Tejada.

Aspecto	Claro	-	-
Color Pt- Co	<60	-	DIN ISO 6271
Contenido de Sólidos	71	%	DIN 53 216
Viscosidad Brookfield RVT 20 rpm 23°C	2900	mPa.s	ISO 2555
Reactividad a 25°C			DIN 16945,6.2.2.2
1.1 ml MEKP-HA			
0.6 ml CoB1			
adicionados a 100g de resina			
Tiempo de 25°C -35°C	22	min	
Tiempo de 25°C -T <sup>º</sup> máx	40	min	
T <sup>º</sup> máx	100	°C	

Las concentraciones indicadas están en el rango de 0.25% al 2.5% con respecto a la resina, dependiendo de las condiciones requeridas.

*Endurecedor:* epoxi 1956B, la mezcla de la resina y el endurecedor produce una reacción exotérmica (produce calor). Los tiempos de fraguado, y otras características, dependen principalmente del endurecedor, no de la resina.

Pequeñas cantidades de resina y endurecedor se pueden mezclar por peso o por volumen, siempre que se mantenga la proporción correcta. La selección de una combinación de resina/endurecedor está basada en el período del tiempo de curado o vida útil de la mezcla. Esta se utiliza para comparar la velocidad relativa de reacción de varias combinaciones de resina/endurecedor y representa el período de tiempo que una masa definida de la mezcla de resina y endurecedor se mantiene en el estado líquido a una temperatura específica.

Tabla 2. Especificaciones técnicas MEK Peróxido, catalizador. Fuente proveedor, L. A. Tejada

PROPIEDADES	ESPECIFICACIONES
Aspecto físico	Líquido semiviscoso transparente blanco a levemente amarillo
% Oxígeno Activo	10.0 – 11.0
% Metil Etil Cetona Peróxido	55.0 – 60.0
Gravedad Específica (20 / 20°C)	1.050 - 1.100
Compatible con Resina Poliéster	Compatible
Solubilidad en agua	Insoluble

*Solvente:* estireno monómero, se trata de un líquido incoloro que se utiliza para rebajar la viscosidad de las resinas y gelcoats de poliéster y viniléster.

*Acelerante:* sal de cobalto, principalmente son derivados de ácidos grasos como el ácido -2-etil hexanoico, ácido -5,5-trimetil hexanoico y también de ácido nafténico. La parte ácida sólo juega un papel en la solubilidad de la resina. La actividad del acelerador depende de la concen-

tración de cobalto divalente. Los aceleradores de cobalto se pueden obtener comercialmente con varias cantidades de cobalto. Los productos son 1%, 6%, 10%, 12% de contenido de cobalto son los más comunes.

Los aceleradores de cobalto se agregan en cantidades que van del 0.002% a 0.05% calculado como contenido metálico en la resina. En la industria de los recubrimientos de superficies, ciertas resinas poliéster que secan al aire requieren de incrementar a 0.06% de cobalto para obtener propiedades finales óptimas.

Los aceleradores de cobalto son compuestos de color púrpura, los cuales, imparten una coloración rosada al producto terminado. Esta coloración se puede reducir por disminución de la cantidad de cobalto o por el uso de mezclas de aceleradores metálicos.

Formulación: para curado en frío se recomienda la siguiente composición:

Materiales	Partes por peso
Palatal CO P4	100
Estireno	50
Cobalto	0.5
MEK peróxido (9% ox. activo)	2.5

*Curado:* la temperatura ambiente y la cantidad de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina. El curado nunca se debe realizar a temperaturas inferiores a 15°C porque no se alcanzan buenas propiedades mecánicas en el laminado.

*Fibra:* fibra de vidrio Tela MAT 600 300 gr/m<sup>2</sup> (multidireccional), posee un gramaje de 300 gr/m<sup>2</sup>. Es un material de refuerzo obtenido de fibras de vidrio Advantex cortadas y aglutinadas con un ligante especial compatible con resinas de poliéster, viniléster, poliuretano y epóxicas, ver tabla 3. El vidrio Advantex combina las excelentes propiedades mecánicas y eléctricas de la fibra de vidrio tipo E con la resistencia a la corrosión de ácidos de la fibra de vidrio tipo E-CR [6], atendiendo a los requerimientos establecidos en las normas ISO 2078 y en la ASTM D578-98.

### Propiedades Ópticas - Ensayos Ópticos

Desde el punto de vista de su uso, las propiedades ópticas más interesantes de los materiales poliméricos son las relacionadas con su capacidad de transmitir la luz. Un material es transparente cuando resulta posible la percepción de los objetos a través de él. Para que un material presente una alta transparencia es necesario que el índice de refracción del material sea constante en el recorrido de la luz, por ello la máxima transparencia se encuentra en polímeros amorfos, libres de cargas y otras impurezas [7].

Los polímeros cristalinos no son transparentes, salvo cuando las esferulitas son más pequeñas que la longitud de onda de la luz incidente, por lo que no se producen las interferencias que originan la turbidez del material [8].

Ensayos de índice de refracción (DIN 53491, ASTM D 542)

Es una medida de la capacidad del polímero para desviar la luz cuando pasa a través de este. Mediante el índice de refracción, pueden identificarse diferentes plásticos así como comprobar la polimerización de los mismos de igual manera, representa un ensayo importante en el control de la producción de los cristales orgánicos de uso en óptica [7].

El ensayo se ejecuta mediante un refractómetro con prismas y con sistema de calentamiento-enfriamiento, aunque para mayores exigencias pueden utilizarse refractómetros de inmersión con acondicionamiento térmico. Como fuente de luz puede utilizarse la luz diurna o una lámpara incandescente, para luz monocromática lámparas de sodio.

Ensayos de Transmisión de Luz (ASTMD 1003)

Representa la reducción de intensidad de un rayo luminoso al atravesar una probeta o pieza de plástico como consecuencia de la absorción y reflexión. Depende del espesor de la pieza, del grado de cristalinidad, de la pureza, .etc.

La transmisión de luz se expresa en %, utilizando en comparaciones simples los términos: muy transparente, transparente, translúcido y opaco. El coeficiente de transmisión se define como la relación entre la irradiancia transmitida y la incidente.

$$L = \frac{I_d}{I_c}$$

Donde:

Ic= intensidad incidente.

Id= intensidad transmitida a través la probeta

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas Fibra de vidrio Tela MAT. Fuente proveedor, L. A. Tejada.

©	Area Weight (%)	Moisture Content (%)	Size Content (%)	Breakage Strength (N)
Methods	ISO 3374	ISO 3344	ISO 1887	ISO 3242
EMC325	±7,5	≤0,20	4,5±1,5	≥60
EMC300	±7,5	≤0,20	3,5±1,1	≥90
EMC375	±7,5	≤0,20	2,8±0,9	≥100
EMC450	±7,5	≤0,20	2,5±0,8	≥120
EMC600	±7,5	≤0,20	2,4±0,8	≥150
EMC900	±7,5	≤0,20	2,1±0,6	≥200

#### Diseño del material

Manufactura de las muestras: Las cantidades del material empleadas en el desarrollo de las muestras se calcularon a partir de los pesos especificaos de cada uno de los componentes, dando como resultado: un 4,5% de fibra de vidrio, y un 95,5% de resina de poliéster. Las fibras de vidrio se alinearon por medio de tensión mecánica y las probetas se realizaron sobre un sustrato metálico preparado previamente [9].

Los pasos que se siguen para la elaboración de las probetas son los siguientes:

- 1) Preparación del sustrato.
- 2) Alineación y tensión de las fibras de vidrio.
- 3) Preparación de la resina de poliéster.
- 4) Impregnar las fibras con la resina sobre el sustrato.

- 5) Curado.
- 6) Remoción de la probeta del sustrato y limpieza de la probeta

Las probetas usadas tenían una dimensión de 40cm x 40cm con un espesor de 3mm, alineando las fibras de vidrio en los dos sentidos del sustrato [10].

#### Diseño y descripción general del experimento

Con las láminas obtenidas de material compuesto de fibra de vidrio y resina de poliéster se construyó una cubierta de 20 cm de largo por 20 cm de ancho por 10 cm de alto, con la que se cubrió uno de los piranómetros seleccionados para la evaluación del material. Esto se realizó para medir la radiación que atraviesa la cubierta, a esta radiación se le denomina radiación transmitida.

El otro piranómetro seleccionado no se cubre midiendo así, la irradiancia incidente global este, se coloca a una distancia de menos de 50 cm para garantizar que la radiación en ambos casos sea aproximadamente la misma.

Se midió la radiación transmitida e incidente por un periodo de 10 días en intervalos de 5 segundos. Los datos fueron censados por medio de piranómetros Eppley calibrados a la referencia mundial de radiación (WRR por sus siglas en inglés) en la 1ª Jornada de Calibración de instrumentos radiométricos realizada en Colombia en la última semana de julio del 2012. Así se garantiza la idoneidad de las muestras obtenidas.

El piranómetro blanco y negro empleado para el presente experimento utiliza termopilas con uniones calientes y frías con negro de Parsons y sulfato de bario respectivamente y tiene mayor respuesta angular. Tiene una cubierta de vidrio óptico y una compensación por temperatura para mantener la calibración dentro de ± 1.5% sobre un rango de temperatura de -20° C a 40°C.

Los datos fueron recolectados por dos sistemas, el primero de ellos, es un Datalogger Campbell Scientific CR1000 que permite censar con una frecuencia de 0.25 Hz. El segundo sistema utili-

zado fue desarrollado en la Fundación Universitaria Los Libertadores, y se basa en conversor análogo – digital de 10 bits con una frecuencia de 0.5 Hz y cuya diferencia más relevante es la opción de monitorear en tiempo real la adquisición de los datos (ver <http://labrad.libertadores.edu.co:5432/~libertadores/full/>).

Para hacer el análisis de los datos se reconstruyeron las curvas por medio del paquete de análisis de datos ROOT debido a la gran cantidad de datos obtenida en la ventana de observación. La irradiancia se obtuvo en ventanas de 15 minutos realizando la integral en este intervalo de tiempo.

### Resultados

La Figura 3, corresponde a la irradiancia global instantánea tomada los días 6 y 7 de noviembre de 2012 en las instalaciones del Laboratorio de Radiometría de la Fundación Universitaria Los Libertadores. En esta gráfica se muestra la irradiancia global del piranómetro, en rojo cuando estaba cubierto por el material compuesto y azul sin cubrir. Como se puede observar en la gráfica, con la cubierta del material instalada el 7 de Noviembre, la irradianción global disminuye (línea roja) comparada con lo observado en el piranómetro de referencia (línea azul).

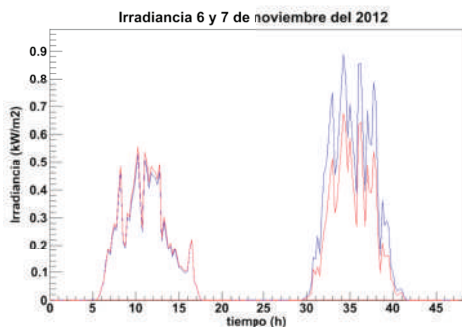


Figura 3. Comportamiento de la irradiancia con cubierta de material compuesto (línea roja) y sin cubierta de material de material compuesto (línea azul), para los días 6 y 7 de noviembre de 2012

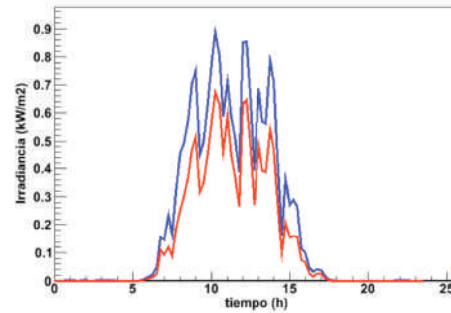


Figura 4. Gráfica de Irradiancia vs. Tiempo para el día 7 de noviembre, línea azul sin cubierta de material compuesto y roja con cubierta del material compuesto.

La Figura 4, muestra el comportamiento de la irradiancia como función del tiempo para el día 7 de noviembre, se presenta un decremento de la irradianción global instantánea detectada por causa de la cubierta de material. Para determinar la cantidad de radiación electromagnética total que atraviesa el material compuesto, se determina el coeficiente de transmisión del material.

En la Figura 5, se plasma el comportamiento de la irradiancia acumulada en función del tiempo para el día 7 de noviembre del 2012. De esta, se puede deducir que L no presenta una dependencia temporal, lo que implica que es una propiedad del material compuesto y este es invariante con la hora del día.

De esta manera L se pueda calcular con la irradiancia acumulada en un  $\Delta t$  desde las 0 horas del 7 de noviembre hasta las 14 horas del 10 de Noviembre. La irradiancia acumulada de transmisión para este periodo de tiempo fue de 290  $\text{kJ/m}^2$ , mientras que la incidente acumula 360  $\text{kJ/m}^2$ , así el coeficiente de transmisión es:

$$L=0.803 \quad (3)$$

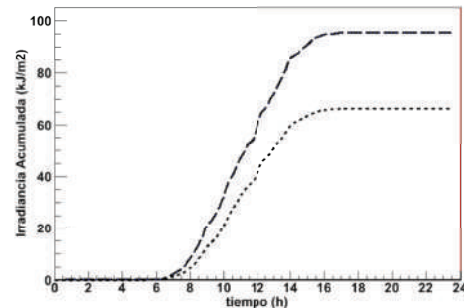


Figura 5. Análisis comparativo de Irradiancia acumulada vs. Tiempo para radiación incidente (línea) y transmitida (puntos).

Este material muestra un comportamiento óptico favorable para aplicaciones en estructuras militares debido a su alto coeficiente de transmisión óptica. Se puede remplazar el vidrio por este material debido a que se puede tener una radiación interna del 80% de la radiación total incidente sobre este. Otra ventaja de este material para usos militares es que la radiación es difusa impidiendo la reconstrucción de las imágenes a través de este material.

## Aplicaciones

El comportamiento de este material frente a la configuración del mismo y el resultado que se obtuvo en este primer estudio, se puede considerar como una oportunidad de mejora para dar respuesta a los requerimientos legales (ley 1562 de salud ocupacional), que en la actualidad a nivel industrial se solicita en la industria civil y militar. Estos requerimientos están relacionados con el cuidado del personal en los diferentes ambientes en los este interactúa, que pueden ser campamentos, instalaciones que requieren del uso de materiales transparentes, para la iluminación. Teniendo en cuenta que para la transmisión de radiación electromagnética se observó un decrecimiento de la irradiación global instantánea detectada por causa de la cubierta de material. Esto sugiere que a nivel clínico también se podrían prevenir enfermedades de la piel asociadas a la irradiación solar.

De otro lado, se puede manifestar como una alternativa sismo resistente, para disminuir los factores de riesgo en las estructuras de las instalaciones militares. Si se considera que los vidrios de seguridad contribuyen considerablemente a la generación de siniestros en caso de terremotos y la alternativa de utilizar estructuras transparentes compuestas, como las descritas en este trabajo, que se caracterizan por su resistencia y flexibilidad, podría disminuir los factores de riesgo para el personal militar, además de reducir costos estructurales.

## Conclusiones

Se hicieron muestras de material compuesto de fibra de vidrio y resina de poliéster en una

concentración de 4.5% y 95.5% respectivamente. Se determinó el coeficiente de transmisión óptico dando como resultado  $L = 0.802(3)$ .

Cabe aclarar que este coeficiente puede depender de la altura, temperatura, humedad entre otras variables geográficas, esto implica que estos resultados deben ser contrastados con datos obtenidos bajo condiciones de instalación del material.

La creciente necesidad de datos horarios de radiación solar para diferentes áreas de la ciudad de Bogotá, la falta de disponibilidad de datos medidos que cubran regiones y periodos climatológicos lo suficientemente grandes, y el avanzado nivel de desarrollo que se ha logrado con los procedimientos para estimar la radiación solar con resultados muy alentadores, hace deseable profundizar el estudio de diversas configuraciones en materiales compuestos para calcular la irradiación solar horaria para elementos empleados en la piel de la edificación.

La información generada por el piranómetro, debe ser registrada, ya sea por un método gráfico o electrónico. Esto permitirá entonces, integrar las irradiancias en períodos dados para obtener la irradiación correspondiente al lugar definido en la investigación.

Este documento es el resultado de una primera etapa, de un trabajo que se seguirá realizando en colaboración con las diversas instituciones que han participado hasta la fecha. Seguramente pasará a formar parte de una serie de documentos que irán apareciendo en la medida que se vayan teniendo nuevos resultados de esta investigación, que tiene como propósito caracterizar la radiación solar incidente en la ciudad de Bogotá sobre materiales compuestos aplicados a piel de edificaciones.

## Referencias

- [1] W. F. Smith. *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, McGraw-Hill, Inc. 1993

- [2] E. Doebeli. *Engineering Experimentation*. McGraw Hill International Editions. 1995.
- [3] S. R. Solaimurugan. Velmurugan. Influence of in-plane fibre orientation on mode I interlaminar fracture toughness of stitched glass/polyester composites. Composites Technology Centre. Indian Institute of Technology Madras. Tamilnadu. India. February 2008.
- [4] G. E. Gómez. "Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría", ESI Universidad de Sevilla, 2006.
- [5] R. M. Jones. *Mechanics of Composite Materials*, McGraw-Hill, Inc. 1975.
- [6] V. Uffele. *Pure Plastic. New materials for Today's Architecture*. Braun Ed. 2008.
- [7] S. T Peter, W. D. Humphrey and R. F. Foral, *Filament Winding Composite Structure Fabrication*, SAMPE. 1991.
- [8] T. Osswald, G. Menges, J. Flórez, L. Flórez. *Materials Science of Polymers for Engineers*. Editorial Guaduales. Cúcuta, Colombia. 2010.
- [9] Douglas A., Holler, J., Crouch S. *Principios de análisis instrumental*. Cengage learning Editores. Mexico D.F. 2008.
- [10] L. Daniel, J. Hogg and P. T. Curtis. *The relative effects of through-thickness properties and fiber orientation on energy absorption by continuous fibre composites*. Queen Mary and Westfield College, University of London. March 1999.