

INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN LUMÍNICA SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE RESINAS DE POLIÉSTER ISOFTÁLICO REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO

Influence of light radiation on the tensile strength of isophthalic polyester resins reinforced with fiberglass

Cajal Barros, Juan Vicente¹

Yacub Bermúdez, Bashir²

Girón Palacio, Mitchel³

Recibido: 01/08/2019

Aceptado: 09/11/2019

Resumen

Los materiales compuestos ocupan un lugar especial entre los materiales utilizados para construir embarcaciones menores de uso naval, deportivo y de recreación, así como en aplicaciones industriales y en construcciones civiles. Muchos de los botes y yates son elaborados con estos materiales así como también vehículos empelados en competencias de automovilismo. Ligado al extenso uso de los materiales compuestos aparece su degradación debido al medio ambiente en que trabajan. La degradación de estos materiales está influenciada por diferentes factores entre los cuales vale la pena mencionar la humedad, los rayos solares, los medios acuosos bien sean de naturaleza salina o alcalina. El presente artículo aborda la influencia de la radiación lumínica (UV) sobre la resistencia a la tracción de un material compuesto unidireccional de resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio. Para ello se comparó la resistencia a la

tracción de probetas elaboradas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio sin ser sometidas a radiación lumínica (UV) con la resistencia a la tracción de probetas del mismo material que ha recibido radiación lumínica (UV) en una cámara de envejecimiento. Se observó que la resistencia a la tracción de las resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E disminuyó cuando fueron sometidas a radiación UV

Palabras claves: degradación, materiales compuestos, fotodegradación, resina de poliéster isoftálico, fibra de vidrio, radiación lumínica, resistencia a la tensión, norma ASTM D3039/3039 M, ensayos de tensión.

Abstract

Composite materials occupy a special place among the materials used to build smaller vessels for naval, sports and recreational use, as well as in industrial applications and civil constructions. Many of the boats and yachts are made

¹ Ingeniero Mecánico. Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo. Magister en Ingeniería Naval. jvcajalb@gmail.com, Docente Enap

² Ingeniero Electrónico. Especialista en Administración de Empresas. Magister en Educación. bashiryacub@gmail.com, Docente Enap

³ Ingeniero Físico. Magister en Ingeniería. mitchelgpa@gmail.com. Docente Enap

up of composite materials. Many motor racing competitions use vehicles built with composite materials. Linked to the extensive use of composite materials appears a deterioration due to the environment in which they work. The deterioration of composite materials is influenced by different factors, among these it is worth mentioning moisture, sunrays, aqueous media, saline or alkaline. This article addresses the influence of light radiation (UV) on the tensile strength of a unidirectional composite material of glass fiber reinforced with polyester resins. Therefore, the tensile strength of specimens made of isophthalic polyester resins reinforced with glass fiber without

undergoing light radiation (UV) was compared with the tensile strength of specimens of the same material that has received light radiation (UV) in an aging chamber. The tensile strength of isophthalic polyester resins reinforced with fiberglass type E decreases when subjected to UV radiation

Research line: Structures and Materials

Keywords: degradation, composites, photodegradation, isophthalic polyester resin, fiberglass, light radiation, tensile strength, ASTM D3039 / 3039 M, tensile tests.

Introducción

Los materiales en general presentan variación en sus propiedades mecánicas de acuerdo a la dirección en que sea aplicada la carga. Si los materiales de Ingeniería presentan las mismas propiedades en todas las direcciones se denominan isotrópicos. Si los materiales presentan propiedades dependientes de la dirección considerada se clasifican como anisotrópicos. Los materiales compuestos son materiales anisotrópicos. (Beer, 2009)

Los cascos de las embarcaciones fabricadas con materiales compuestos sufren degradación con el paso del tiempo, lo cual también ocurre en muchos otros artefactos construidos con dichos materiales. Una consecuencia de la degradación de los materiales compuestos de matriz polimérica debido a la radiación lumínica es su cambio de color y la modificación de sus propiedades mecánicas. Con base en estas observaciones se abordó el estudio sobre la forma en que se afecta la resistencia a la tensión de las resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio.

La importancia que tiene para la Ingeniería un material compuesto es que dos o más materiales diferentes se combinan para formar otro cuyas propiedades son superiores a las de sus componentes individuales o tienen importancia en algún otro aspecto. (Sapuan, 2010).

En cuanto a la morfología del refuerzo utilizado, podemos diferenciar los refuerzos en forma de partículas y de fibras (cortas o continuas) y estructurales (Miravete, 2000). En el caso de las fibras podrán estar orientadas en una única dirección o conformando tejidos con diferentes disposiciones según la orientación de los mazos de fibras. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas, el uso de fibras continuas en la dirección del esfuerzo aplicado permite obtener una gran mejora; mientras que con fibras cortas y partículas, el incremento en resistencia es menos significativo (Suherman, 2007), obteniendo en cambio una gran anisotropía en el material.

Bajo diferentes condiciones ambientales los materiales compuestos pueden sufrir variaciones en su comportamiento lo cual se enmarca en la degradación causada por dichas condiciones. La degradación causada por el medio ambiente puede ser térmica, mecánica, fotooxidación o fotodegradación. En los materiales compuestos los rayos ultravioletas son la principal causa de fotodegradación. La radiación lumínica afecta a los materiales compuestos reforzados con fibras sintéticas (Miravete A. y., 2003) así como a los reforzados con fibras naturales (Ramirez, 2013). En muchos materiales compuestos de matriz polimérica se ha notado un deterioro a causa de su exposición al medio ambiente y se han observado cambios de color y de sus propiedades mecánicas (Altez, 2013); (Stark,2008); (Fuentes &-Talavera, 2015).

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio dependen de las propiedades de los materiales constituyentes (tipo, cantidad, distribución de fibra y orientación). Las propiedades mecánicas del material compuesto obtenido son diferentes a las propiedades de la resina y del refuerzo utilizados en su fabricación. La resistencia a la tensión de un material compuesto unidireccional tiene un valor intermedio entre la fibra y la matriz (García de la Figal, 2011).

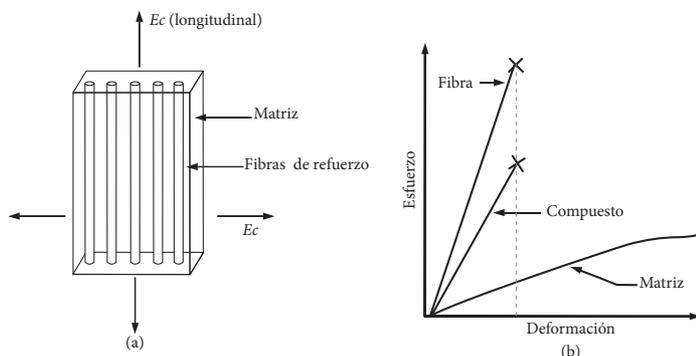


Figura 1 Material compuesto unidireccional a) dirección de la fibra b) resistencia a la tracción de la matriz, de la fibra y del material compuesto

Fuente: García de la Figal (2011)

Una de las propiedades mecánicas que se toma en cuenta para la caracterización de los materiales compuestos es la resistencia a la tensión. La finalidad de este artículo es la comparación de la resistencia a la tensión de probetas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E sin degradación debido a radiación lumínica con la resistencia a la tracción de probetas del mismo material sometidas a radiación lumínica en una cámara de envejecimiento. De acuerdo con los resultados de los ensayos de tensión se obtuvieron conclusiones sobre la influencia de la radiación lumínica sobre la resistencia a la tensión de materiales compuestos de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E.

En muchas ocasiones es importante obtener un valor estimado para la resistencia a la tensión de un material que se someterá a ensayo de tensión. Para esto, se recurre a la regla de las mezclas (Askeland, 1998).

El objetivo del presente trabajo era de establecer la influencia de la radiación lumínica o radiación UV sobre la resistencia a la tensión de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E, para lograrlo se utilizaron probetas de resinas de poliéster isoftálico reforzadas con fibra de vidrio tipo E. Inicialmente se optó por establecer la proporción en peso de la resina isoftálica y de la fibra de vidrio utilizada como refuerzo. Como paso siguiente se procedió al diseño experimental de un solo factor. La mitad de las probetas fueron expuestas a radiación lumínica

en una cámara de envejecimiento acelerado por luz ultravioleta por 500 horas y a todas se les sometió a ensayos de tensión.

Método

Para alcanzar la finalidad de este trabajo ejecutaron las siguientes actividades:

(Determinación de los componentes del material compuesto)

El material compuesto utilizado está conformado por una matriz de resina de poliéster ortoftálica y un refuerzo unidireccional de fibra de vidrio tipo E. con una proporción en peso de 70% resina y 30 % de refuerzo. Se utiliza esta proporción por ser una de las más empleadas en materiales compuestos de este tipo

La resina de poliéster ortoftálica utilizada se denomina comercialmente Palatal 53-46 B y es producida por la empresa BASF Chile S.A. Dicha resina es un poliéster insaturado obtenido a partir de ácido ftálico y glicoles estándar. Se encuentra disuelto en estireno. Dicha resina es de reactividad media, viene preacelerada y contiene un agente tixotrópico.

Entre los valores típicos de las propiedades de la resina de poliéster ortoftálica empleada se tienen:

Densidad (20°C): 1.21 g/cm³ (DIN 53 479)

Resistencia a la tensión: 70 MPa (DIN 53 455)

Módulo de elasticidad en tensión: 4.3 GPa (DIN 53 457)

La fibra de vidrio utilizada es del tipo E, que es un material inorgánico, dieléctrico y de muy buen comportamiento cuando es expuesta al fuego. En el caso del presente trabajo se utilizó fibra de vidrio unidireccional y fue colocada en esa dirección en la resina de poliéster ortoftálica utilizada. La composición de la fibra de vidrio tipo E es:

53 – 54 % de SiO₂

14 – 15.5 % de Al₂O₃

20 – 24 % de CaO, MgO

6.5 – 9 % de B₂O₃ y,

escaso contenido en álcalis (Matthews, 1999)

Algunos valores típicos de las propiedades de la fibra de vidrio E empleada son:

Peso específico (25°C): 2.54 g/cm³

Resistencia a la tracción: 3450 MPa

Módulo de elasticidad en tracción: 72.4 GPa

Elongación hasta rotura: 4.8 %

Coefficiente de expansión térmica 2.9×10^{-6} /°C (Mallick, 1997)

Diseño experimental de un factor y determinación del orden en que deben realizarse los ensayos.

Para analizar la influencia de la radiación lumínica en la resistencia a la tensión de un material compuesto fabricado con resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio tipo E se diseñó un experimento con un solo factor (Montgomery, 2006); (Gutiérrez, 2012). El factor considerado es la radiación UV, dicho factor tiene dos niveles: la mitad de las probetas no fueron sometidas a radiación lumínica mientras que la otra mitad de las probetas se expusieron a 500 horas de radiación lumínica en una cámara de envejecimiento acelerado. El experimento tuvo seis réplicas.

La variable de entrada es la radiación UV con sus dos niveles o tratamientos. Esta es una variable de tipo categórica. La variable de salida es la resistencia a la tensión de cada una de las probetas y su unidad de medición es en MPa. Para determinar el orden en que se realizó el ensayo de tracción fue utilizado el software Design Expert versión 7.0. Dicho orden aparece en la siguiente tabla.

Tabla 1
Orden de los ensayos de tensión

PROBETA	CORRIDA	FACTOR 1 - RESINA	FACTOR 2 - RADIACIÓN	RESPUESTA - SU
9	1	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	
7	2	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	
6	3	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
2	4	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
12	5	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
3	6	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
5	7	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
4	8	ORTOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
10	9	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
1	10	ISOFTALICA	SIN RADIACIÓN	
11	11	ORTOFTALICA	CON RADIACIÓN	
9	12	ISOFTALICA	CON RADIACIÓN	

Fuente: García de la Figal (2011)

Elaboración del material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Para la obtención del material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio se empleó el método de laminación manual de molde abierto en el cual se impregna la fibra de vidrio E con la resina de poliéster (Parrilla, 1998). La tabla de trabajo fue recubierta con desmoldante, luego se colocó la malla de fibra de vidrio E unidireccional. La malla de fibra de vidrio fue impregnada con brocha con la resina de poliéster isoftálica. Finalmente se pasó un rodillo de acero para distribuir mejor la resina, compactar el material y eliminar las burbujas de aire que pudiesen haber quedado. Se elaboró una lámina de 300 x 130 x 1 mm.

El tiempo de curado fue de 24 horas tras las cuales se procedió al desmoldeo para posteriormente cortar las seis probetas que se utilizaron en los ensayos de tensión.

Elaboración de las probetas

De la lámina 300 x 130 x 1 mm se obtuvieron las probetas mediante corte con disco diamantado, de acuerdo con las dimensiones contempladas en la norma ASTM D3039/3039M



Lámina poliéster fv tesis correlación
norma astm D3039/3030M
Espesor 1mm

Figura 2 Plano para laminación manual de probetas

De las seis probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E unidireccional se seleccionaron tres al azar para ser sometidas a 500 horas de radiación UV. El total de las probetas se sometieron a ensayo de tensión para determinar el valor de la resistencia a la tracción. La radiación con UV fue realizada en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales (CIDEMAT) de la Universidad de Antioquia en la ciudad de Medellín (Antioquia, Colombia). El ensayo se hizo en la cámara de envejecimiento acelerado Q-UV/SE # serial 09-3052-09-Se con lámparas UV-A de 340 nm siguiendo el método ASTM G 154.

En la Figura 3 se observan las seis probetas ensayadas: tres marcadas ORTO las cuales no fueron sometidas a radiación UV y tres marcadas ORTO R que recibieron 500 horas de radiación UV.

Figura 3 Probetas con y sin radiación UV



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Estado final de las probetas luego del ensayo de tracción.



Fuente: Elaboración propia

Realización y resultados de los ensayos de tensión.

Los ensayos de tensión fueron realizados en una máquina universal de ensayos marca Shimadzu, con una celda de carga de 50 kN, de acuerdo a lo que dice la norma ASTM D3039/3039M con una velocidad de aplicación de 2 mm/min. Dichos ensayos fueron efectuados en el Laboratorio de Polímeros de la Universidad de Antioquia, en la ciudad de Medellín, Colombia.

En el ensayo de tensión las probetas no se rompieron en dos pedazos como en las probetas de material metálico. Luego de alcanzado el esfuerzo último cada probeta seguía como una sola unidad. El estado final de las doce probetas al finalizar el ensayo de tracción se puede observar en la Figura 4. Las probetas presentan una falla de la forma de laminación de borde en la zona media calibrada tipo DGM, la cual está incluida en los modos de falla contemplados en la norma. (ASTM, 2008).

Los resultados obtenidos en los ensayos de tensión aparecen en la Tabla 2. Dichos resultados forman parte del informe de análisis de material compuesto (Ensayos de tensión) emitido por el Grupo de Materiales Poliméricos de la Universidad de Antioquia el 21 de diciembre de 2018.

Realización de microscopía óptica a las probetas antes y después de los ensayos de tensión con su análisis respectivo.

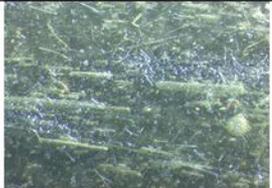
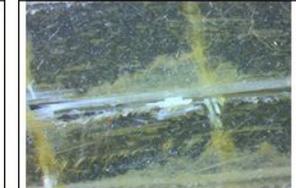
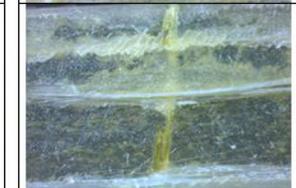
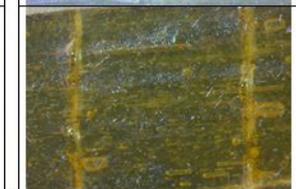
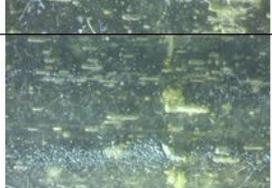
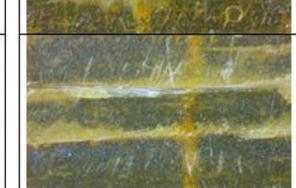
Para la microscopía fue utilizado un microscopio SteREo Discovery V.12 marca ZEISS con zoom motorizado 12x.

Tabla 2 Fuerza y esfuerzo máximo a la tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E sin y con radiación UV

Probetas sin radiación UV	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
Orto - 1	5097.85	319.16
Orto - 2	5674.37	345.95
Orto - 3	5148.16	332.62
Promedio	5306.79	332.58
Probetas con radiación UV	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)
Orto - R1	4413.57	266.48
Orto - R2	4646.89	289.96
Orto - R3	4813.25	305.63
Promedio	4624.57	287.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.
Microscopia antes y después del ensayo de tensión

ORTO 1		
ORTO 2		
ORTO 3		
ORTO R1		
ORTO R2		
ORTO R3		

Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes de la primera columna de la tabla 3 se pueden observar que las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzadas con fibra de vidrio antes de ser sometidas a radiación y a ensayo de tensión presentan las fibras de vidrio bien definidas y en posición horizontal con forma recta. Las probetas sometidas a radiación con UV presentan un cambio de color. Ahora se han tornado de color amarillento, lo cual corrobora a nivel microscópico lo que se ve a nivel macroscópico con las probetas que fueron sometidas a radiación.

Después de ser sometidas a la radiación UV las probetas toman un color amarillento lo cual es una consecuencia de la radiación lumínica. Las resinas de poliéster al ser sometidas a la acción de la luz sufren reacciones fotolíticas. (San Andrés, 2010); (Marston, 2005); (Azwa, 2013).

Análisis de resultados del ensayo de tensión

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento del esfuerzo máximo presentado por las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio antes y después de haber sido sometidas a radiación lumínica. Aquí se puede notar que el esfuerzo máximo disminuye cuando la probeta es sometida a 500 horas de radiación UV.

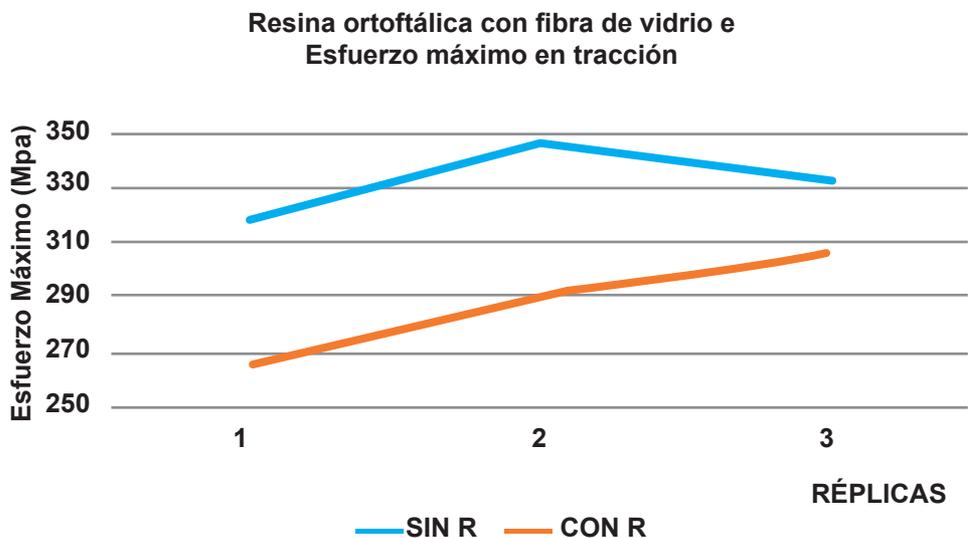


Figura 5. Esfuerzo máximo obtenido por las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E con y sin radiación UV

Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados del ensayo de tensión, que aparecen en la tabla 2, el esfuerzo máximo de tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio que fueron sometidas a radiación lumínica disminuye frente a los valores obtenidos en las probetas de igual composición que no se les expuso a radiación lumínica. El valor promedio del esfuerzo máximo de tensión para las primeras fue de 287.35 MPa mientras que el de las segundas fue de 332.58 MPa. La disminución del esfuerzo máximo de tracción de las probetas sometidas a radiación UV fue del 15.74%. Estos resultados son semejantes a lo expresado por (Shokrieh, 2007) en el artículo: *Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites* y lo anotado por (Mousakis, 2008) en el artículo *Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs)*.

El análisis de varianza (ANOVA) para los datos obtenidos se realizó con el software Excel para experimentos de un factor. El ANOVA para el esfuerzo máximo de tensión de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio con radiación lumínica y sin radiación lumínica se muestra en la figura siguiente:

Análisis de varianza de un factor para resistencia a la tracción de resina ortoftálica reforzada con FV E						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	997,73	332,5766667	179,427433		
Columna 2	3	862,07	287,3566667	388,263633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3067,2726	1	3067,2726	10,8061331	0,030293111	7,708647422
Dentro de los grupos	1135,382133	4	283,8455333			
Total	4202,654733	5				

Figura 6. ANOVA para resistencia a la tracción de las probetas de resina de poliéster ortoftálica con y sin radiación UV

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al resultado del ANOVA, la hipótesis nula se rechazó por cuanto la probabilidad es menor del 0.05. Esto indica que existe un cambio significativo de la resistencia a la tracción cuando el material compuesto es sometido a radiación lumínica.

Una de las principales herramientas que se emplean para verificar lo adecuado de las suposiciones del modelo lineal son los residuales (Kuehl, 2001). Para verificar el supuesto de normalidad se recurre a las gráficas de probabilidad normal de los residuales y a la de los residuales en el orden temporal de la recolección de los datos.

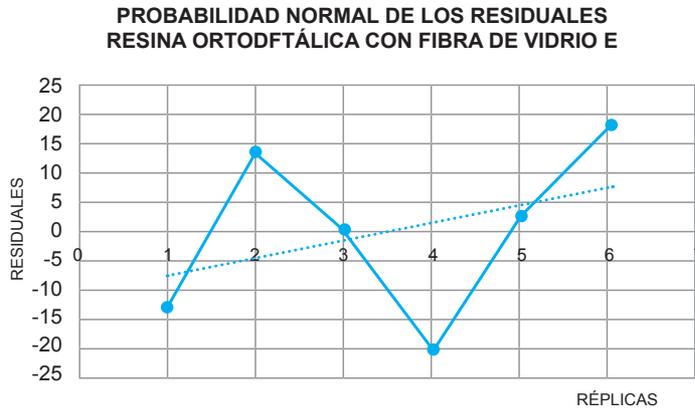


Figura 7 Residuales del esfuerzo máximo de las probetas de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7, que presenta la gráfica de los residuales del esfuerzo máximo de las probetas de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, se puede observar que no existe una tendencia definida en la gráfica hacia ninguno de los dos extremos o sea que no existe una desviación marcada de la distribución normal. Lo mismo puede afirmarse de la Figura 8 que muestra la gráfica de los residuales contra el tiempo.

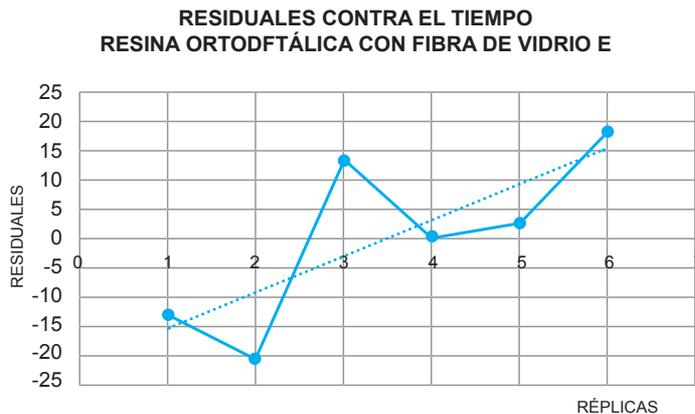


Figura 8 Residuales contra el tiempo del esfuerzo máximo de la resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Los materiales compuestos tienen amplia aplicación en la industria debido a sus propiedades deseables, como son alta resistencia, bajo peso, resistencia a la corrosión y a la degradación, entre otros. Sin embargo, se pudo determinar que el material compuesto de resina de poliéster ortoftálica reforzada con fibra de vidrio E disminuye su resistencia a la tensión (tracción) debido al efecto de la radiación UV; por otra parte, la investigación arroja que dicho material compuesto sufre degradación del color, apareciendo un amarillamiento luego de ser sometidas a 500 horas de radiación UV en la cámara de envejecimiento acelerado.

Se recomienda se estudie la optimización de los porcentajes del contenido y demás parámetros que se combinan en la fabricación para obtener materiales compuestos con propiedades mejoradas y emplearlos de manera más eficientes en las distintas aplicaciones industriales.

Referencias

- Altez, A. G. (2013). *Intemperismo acelerado en compuestos bambú-plástico*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Bogotá, Colombia: International Thomson Editores. doi:968-7529-36-9
- ASTM. (2008). D 3039/D 3039M - 08. *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*.
- Azwa, Z. Y. (2013). *A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres*. *Materials and Design* 47, págs. 424-442. doi:10.1016/j.matdes.2012.11.025
- Beer, F. J. (2009). *Mecánica de materiales*. México: McGraw-Hill.
- Fuentes-Talavera, F., Silva-Guzmán, J., Quintana-Uscamayta, F., Turrado-Saucedo, J., Cárdenas, A., & Rodríguez-Anda, R. y.-O. (2015). *Comportamiento al intemperismo natural de compositos polipropileno-madera*. *Revista mexicana de ciencias forestales*.
- García de la Figal, J. (2011). *Diseño de materiales compuestos*. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría.
- Gutiérrez, H. y. (2012). *Análisis y Diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. México: Thomson Learning.

- Mallick, P. (1997). *Composites engineering handbook*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Marston, N. (2005). *Effects of UV Radiation on Building Materials*. Obtenido de www.niwa.co.nz
- Matthews, F. R. (1999). *Composite materials: Engineering and science*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Miravete, A. y. (2003). *Materiales compuestos*. Barcelona: Reverte. doi:ISBN 84-9213-497-6
- Montgomery, D. C. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa Wiley.
- Mousakis, D. Z. (2008). *Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs)*. Composites Part B: Engineering Volumen 39 Issue 3, 467- 475.
- Otero, E. (2012). *Corrosión y degradación de materiales*. Madrid: Sintesis, S.A.
- Parrilla, F. (1998). *Resinas poliéster, plásticos reforzados*. México: Felipe Parrilla Corzas.
- Ramirez, M. A. (2013). www.uptc.edu.co.
- San Andrés, M. C. (21 de 10 de 2010). [ccfb.mcu.es](http://ccfb.mcu.es/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf). Obtenido de ccfb.mcu.es/patrimonio/docs/MC/POLYEVART/FactrespXIREinaSof.pdf
- Sapuan, S. M. (2010). *Composite Materials Technology. Neural Network Applications*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Shokrieh, M. M. (2007). *Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/ Polyester Composites*. Journal of COMPOSITE MATERIALS, Vol. 41, No. 20/2007 (pág. 2443 a 2455). Los Angeles: Sage Publications.
- Stark, N. y. (2008). *Outdoor durability of wood-polymer composites*. Boca Raton, Florida, USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- Suárez Landeo, E. (2016). *Efecto del intemperismo acelerado en las propiedades físico-mecánicas de compuestos plástico-bambú*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2645> .
- Suherman, H. M. (2007). *Comparative Studies of Tensile Strength on Polyester Resin Matrix Composites with Planar and Randoms Orientation Fibers. The 10th International Conference on Mechanical Behavior of Material, (pág. 6)*. Busan, Korea.



Laboratorios Escuela Naval
