

Inspección con ultrasonido de materiales compuestos laminados escalonados y reforzados con de uniones reforzadas con materiales compuestos

Elias Ortiz Eber¹, Fernández Ortiz Leonardo Juan Carlos¹, Alberto Torres Sandra¹, Balvanti García Antonio¹, Ramirez Elias Victor^{1*}

¹Universidad de Guanajuato, Ingeniería mecánica
e.eliasortiz@ugto.mx¹, lj.fernandezortiz@ugto.mx¹, s.albertotorres@ugto.mx¹, va.ramirez@ugto.mx^{1*}

Resumen

En este trabajo se detalla el proceso de manufactura e inspección realizado en probetas escalonadas laminadas de materiales compuestos de fibra de vidrio o fibra de carbono / epóxico, además se propone el uso de técnicas de inspección no destructiva como ultrasonido a través de ondas lamb para determinar el comportamiento en un laminado escalonado de fibra de vidrio, así como analizar los parámetros que influyen durante las pruebas. Los resultados nos muestran la relación que existe entre la secuencia de apilamiento de los laminados y la orientación al inspeccionarles.

Palabras clave: materiales compuestos; ultrasonido, ondas lamb, escalonamiento, manufactura.

Introducción

El uso de los materiales compuestos se ha incrementado, especialmente en el sector industrial, debido a sus cualidades sobresalientes. Los materiales compuestos elaborados usando fibras de carbono y fibras de vidrio encabezan dicha demanda. El empleo este tipo de materiales resulta en una mejora en las propiedades mecánicas en comparación de los metales comúnmente usados como aluminio o acero [1,2]. Actualmente, la industria aeroespacial, militar, biomédica y deportiva son alguno de los principales campos donde se implementa e impulsa el desarrollo de los materiales compuestos [1-2].

En dichas aplicaciones los materiales compuestos están sujetos a cargas estáticas, de fatiga e impacto, temperaturas extremas, humedad, entre otras condiciones que pueden degradar su rendimiento, así como la presencia de diferentes tipos de cargas puede provocar efectos distintos, como agrietamiento de la matriz, delaminaciones, desprendimiento y rotura de fibras. Así bien, para garantizar la seguridad e integridad estructural de las estructuras deben ser inspeccionadas regularmente durante su vida útil [1-2, 4-9].

Con frecuencia, las discontinuidades no muestran evidencia de su existencia, tamaño o forma, ya que en su mayoría son internas, por lo que representa un alto riesgo este daño suele ser complejo de evaluar, ya que, al no presentarse una evidencia significativa incrementa el riesgo del daño [2, 9-12] Bajo estas circunstancias, la necesidad de detectar estos daños es indispensable, principalmente a través de metodologías de evaluación no destructiva (NDT), tales como inspección visual, radiografía, termografía y ultrasonido, esta última suele ser una de las más utilizadas debido a los pocos requerimientos de equipo, así como su tamaño, la precisión ante la detección de defectos y principalmente su bajo costo en comparación con la radiografía y termografía [1-3, 8, 11].

Se ha encontrado que las ondas lamb, dentro de la técnica de ultrasonido, han demostrado ser una herramienta confiable para la inspección de estos materiales [1-2, 4-6], así como también lo asegura Bin Yang *et al.* [9] cuyo trabajo presenta un análisis sobre la ubicación de daños en laminados compuestos WGF/epoxi, dichos resultados presentan una correlación satisfactoria entre la simulación y el desarrollo experimental. Mientras que, Jun Wu [10], propone un método de localización de daños para delaminación de capas usando una red neuronal para el procesamiento, obteniendo resultados concluyentes positivos.

Las secciones escalonadas son encontradas en casi cualquier estructura ya que pueden formarse desde un proceso de maquinado o mediante juntas de elementos de bajo espesor, debido a su extensa presencia, se origina la necesidad de identificar su comportamiento, ya que la caracterización de este tipo de discontinuidades ayudaría descartarles cuando se realice una inspección en búsqueda de fracturas o delaminaciones [8-12]. Por ello, mediante este proyecto de investigación se analizará y comparará el comportamiento de 2 placas escalonadas con secuencia de apilamiento infusionadas en una matriz epoxica, a través de ondas lamb.

Materiales y métodos

Manufactura de materiales compuestos

Fueron elaboradas dos probetas laminadas de fibra de vidrio y resina epoxica. Ambas probetas poseen dimensiones de 12x15 cm, pero una de ellas cuenta con un escalonamiento a la mitad de la longitud, ambas cuentan con una secuencia de apilamiento [0,45,-45,90] con 4 y 8 pliegues respectivamente. Por lo que, fue usada fibra de vidrio.



Figura 1. Cortes de fibras de vidrio.

Primeramente, fueron cortados las telas de fibra de vidrio de acuerdo con las dimensiones especificadas y se apilaron según la configuración dispuesta, como se observa en la figura 1. Además de un pliegue de peel-ply junto a malla de flujo que facilita el flujo de resina y disminuye la formación de burbujas, tal como se observa en la figura 2 a). Mientras que la resina se mezcló en proporción con endurecedor (29% w/w en resina) de acuerdo a los espesores de la placa, para su posterior desgasificación en presión de vacío, ver figura 2 b), para eliminar las burbujas presentes.



a)



b)

Figura 2. a) Tratamiento de la resina con endurecedor. b) Desgasificación a presión de vacío.

Posteriormente, mediante la técnica de transferencia de resina asistida por vacío (VARTM), los laminados de fibras de vidrio fueron envueltos con un material plástico junto a un retén compuesto por goma en la periferia de la pieza, para minimizar las posibilidades de fugas a través de las aristas debidos a la acción de la bolsa de vacío.

Mediante una bomba de vacío se infundiona la resina con una presión de -25 inHg, continuando con un curado en horno a 80°C durante 5 horas, tal como se muestra en la figura 3. Finalizando con el desmoldeo de las probetas.

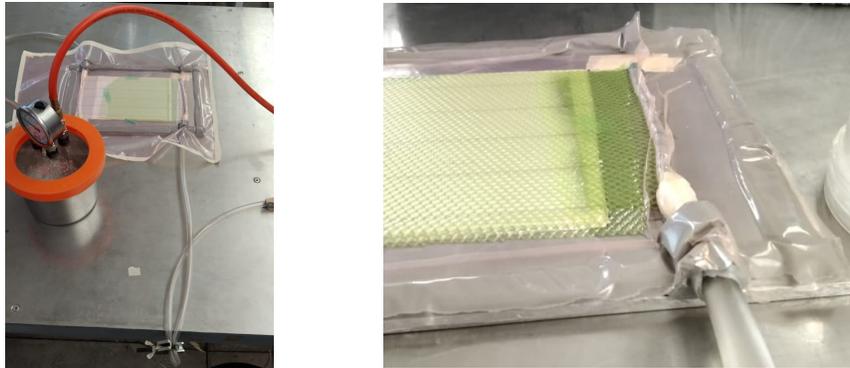


Figura 3. a) Aplicación de presión de vacío a la lámina. b) Infusión de la resina epoxi.

Inspección por ultrasonido

Para la inspección de los especímenes, fue usado un pulsador/receptor de onda cuadrada Olympus® modelo 5077PR, junto a un Osciloscopio Keysight® modelo DSO1004A de cuatro canales, utilizado como pulsador con una configuración de 200 volts y +3 de ganancia. Además 2 transductores Olympus® de 1MHz V103-RM, usados como emisor y receptor respectivamente.

Se presenta un esquema de conexión utilizado para la inspección. Las lecturas fueron tomadas a una distancia de 3 cm de distancia de manera horizontal respecto al centro del plano superior de cada laminado, se uso una fijación impresa en 3D de PLA y un par de pesos de 100 g con la finalidad de mantener los mismos parámetros de lecturas para todas las posiciones analizadas, como se observa en la figura 4.

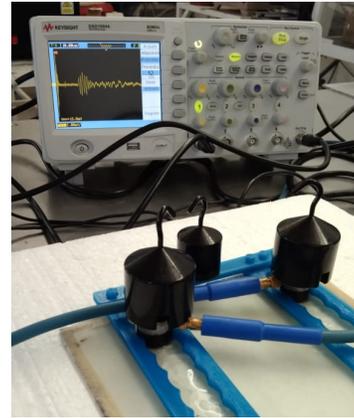
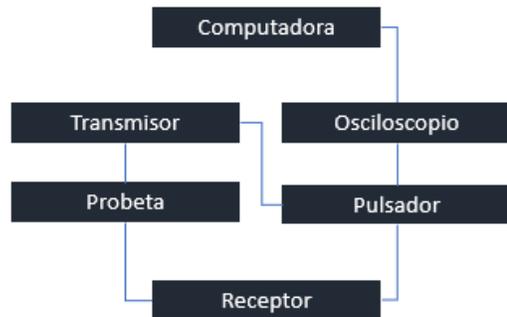


Figura 4. a) Diagrama de conexión. b) Inspección de probeta laminada usando ondas lamb.

Resultados y discusión

En los materiales compuestos las ondas de ultrasonido tienen buena respuesta cuando se trata de ondas lamb, ya que, son formadas por la agrupación de las ondas lineales y transversales tras cruzarse. Las ondas lamb son capaces de propagarse a través de áreas con discontinuidades, como es el caso del elemento escalonado. Las señales obtenidas durante la inspección se muestran en la figura 5.

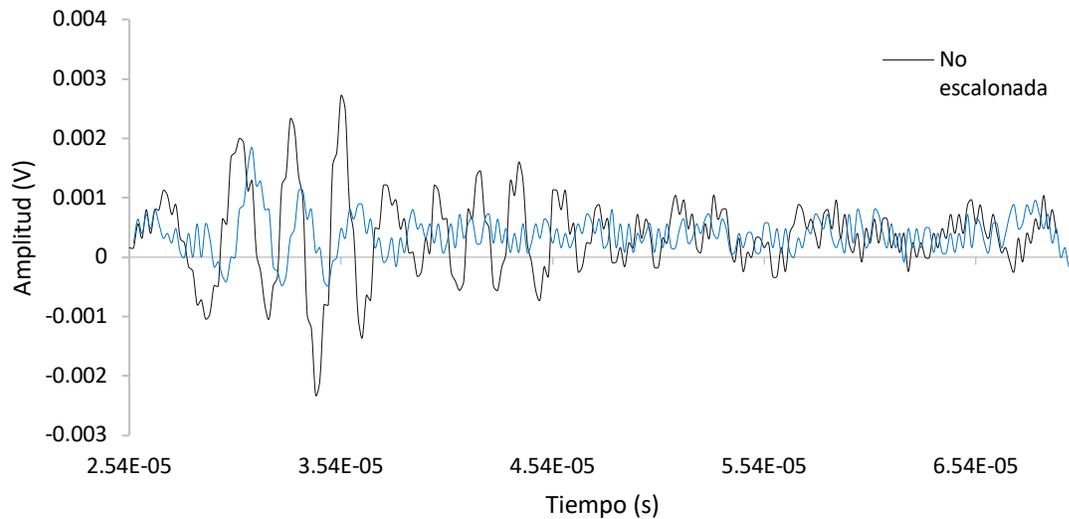


Figura 5. Placas laminadas de fibra de vidrio con y sin escalonamiento.

De la figura anterior se puede identificar una serie de picos en amplitud que indican la llegada de los paquetes de onda, a partir de los 3 μ s se pueden observar otros picos con comportamiento similar, pero con menor amplitud, y del mismo modo a los 4.54 μ s se observan con una amplitud mínima, lo que permite validar las lecturas, ya que, esto es característico de las ondas lamb.

Con la configuración descrita en el apartado anterior, las ondas lamb son capaces de propagarse a través de la discontinuidad que representa el escalón. En comparativa se puede observar claras alteraciones en el tiempo de vuelo del grupo de ondas y la amplitud en la señal con el elemento escalonado respecto a aquella cuyo espesor es constante. Cuando se realizaron lecturas con una orientación semejante a la secuencia de apilamiento se encontró que el tiempo de vuelo es más corto, junto a un incremento en la amplitud, como es el caso de la lectura a 45° en comparación con la evaluada a 60°, véase figura 6.

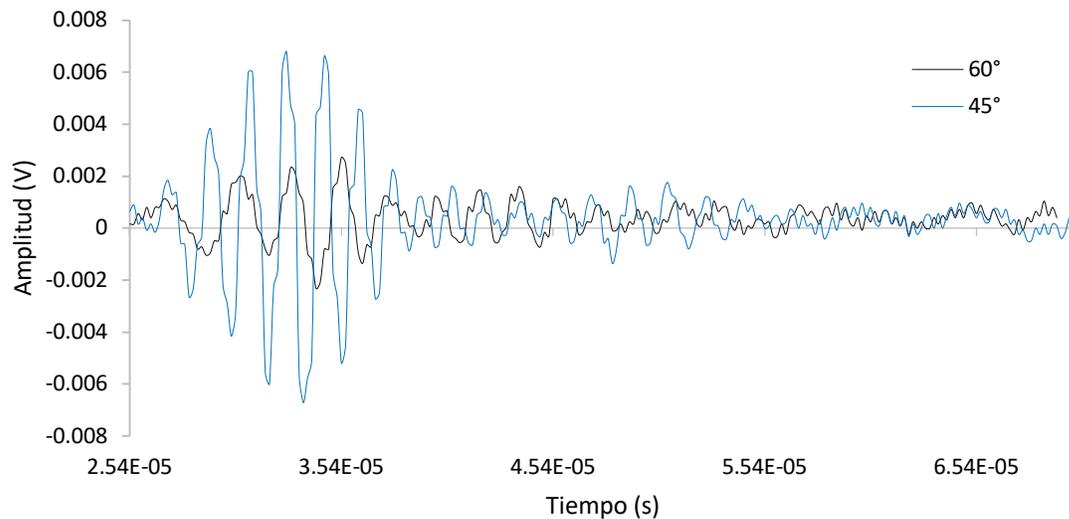


Figura 6. Comportamiento de ondas para distintas orientaciones.

Conclusiones

Los datos analizados muestran que pese a una secuencia de apilamiento y una discontinuidad de forma como lo es un escalonamiento, las ondas lamb son capaces de propagarse sin dificultades en la superficie de los laminados de materiales compuestos. Sin embargo, aún no es posible definir el tipo de discontinuidad del que se trata, pero logra ser perceptible el daño a través de la disminución en la amplitud y la prolongación en el tiempo de vuelo originada por el cambio de espesor en el escalonamiento.

También es importante señalar que la secuencia de apilamiento es un factor clave, ya que, tal como se presentó en los resultados, si la orientación de las lecturas coincide con la orientación de apilamiento la propagación de las ondas lamb es mejor contando con velocidades de vuelo más cortas, mientras que en aquellas que no lo sean tienden a saturarse de ruido.

Del mismo modo, la manufactura es un elemento esencial, puesto que al asegurar un proceso de fabricación adecuado garantiremos una inspección de mayor calidad.

Referencias

- Taheri F. Advanced Fibre-Reinforced Polymer (FRP) composites for structural applications. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2013.
- Yu, X., Ratssepp, M., Rajagopal, P., & Fan, Z. (2016). Anisotropic effects on ultrasonic guided waves propagation in composite bends. *Ultrasonics*, 72, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2016.07.016>
- Papa, I., Lopresto, V., & Langella, A. (2021). Ultrasonic inspection of composites materials: Application to detect impact damage. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.04.002>

- Yang, B., Xuan, F. Z., Chen, S., Zhou, S., Gao, Y., & Xiao, B. (2017). Damage localization and identification in WGF/epoxy composite laminates by using Lamb waves: Experiment and simulation. *Composite Structures*, 165, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.01.015>
- Maria, Mrazova. (2013). Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *INCAS BULLETIN*. 5. 139-150. 10.13111/2066-8201.2013.5.3.14.
- Glover BM. History of development of commercial aircraft and 7E7 dreamliner. *Aviat Eng* 2004;592:16-21
- W. J. W. Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, *What is Materials Science and Engineering ?*.
- ASTM, "ASTM E2981 Standard Guide for Nondestructive Testing of the Composite Overwraps in Filament wound pressure vessels used in aerospace applications," *Astm*, pp. 1–36, 2015.
- R. Yang, Y. He, and H. Zhang, "Progress and trends in nondestructive testing and evaluation for wind turbine composite blade," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 1225–1250, 2016.
- Jun Wu, Xuebing Xu, Cheng Liu, Chao Deng, Xinyu Shao, "Lamb wave-based damage detection of composite structures using deep convolutional neural network and continuous wavelet transform", *Composite Structures*, Volume 276, 2021, 114590, ISSN 0263-8223, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114590>
- Ilaria Papa, Valentina Lopresto, Antonio Langella, "Ultrasonic inspection of composites materials: Application to detect impact damage, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*," Volume 4, Issue 1, 2021, Pages 37-42, ISSN 2588-8404, <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.04.002>.
- O. Putkis, R.P. Dalton, A.J. Croxford, "The anisotropic propagation of ultrasonic guided waves in composite materials and implications for practical applications," *Ultrasonics*, Volume 65, 2016, Pages 390-399, ISSN 0041-624X, <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2014.11.013>.