

“FABRICACIÓN DE ÁLABES DE UN ROTOR DE EJE VERTICAL PARA UN GENERADOR”

Jorge Esteban Guerra Bravo (1), Dr. Elías Rigoberto Ledesma Orozco (2)

1 [Licenciatura en ingeniería mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [je.guerrabravo@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de ingenierías, Campus Irapuato - Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [elias@ugto.mx]

Resumen

En este proyecto se muestra el proceso de fabricación de uno de los cuatro álabes de un metro de altura que se adaptarán a un rotor de eje vertical para un generador eólico, se utilizó un composite fibroso el cual se conforma por un refuerzo y una matriz para el refuerzo se optó por utilizar fibra de vidrio por su precio y sus propiedades adecuadas para el proceso, como matriz se utilizó resina epoxica. El proceso de fabricación utilizado VARTM (*Vacuum assisted resin transfer molding*) o proceso de moldeo por transferencia de resina asistido de vacío, se utilizó por ser un método efectivo y preciso ya que el álabe requiere de un acabado uniforme tanto como superficies lisas y este proceso es ideal para la fabricación del álabe. Los resultados fueron próximos a los que se esperaron, la superficie del álabe uniforme y con rugosidad mínima y la forma estructural propuesta, el proceso fue eficiente y puede mejorarse para los álabes que se fabricarán posteriormente.

Abstract

In this project is shown the manufacturing process of one of the four blades of a meter in height to adapt to a vertical axis rotor for a wind generator, was used a fiber composite which is formed by a reinforcement and a matrix was used as strengthening and chose to used fiberglass for its price and suitable for the process, the epoxy resin matrix was used by its properties. The manufacturing process used VARTM (*Vacuum assisted resin transfer molding*) was used by be an effective and accurate method since the blade requires an even finish and this process is ideal for blade manufacture. The results were close to those expected, the blade surface with uniform roughness was minimal, and the way structural was the proposal, the process is efficient and can be improved for the blades which is subsequently manufactured.

Palabras Clave

Composite; Resina; Vacío; VARTM

INTRODUCCIÓN

Proceso de fabricación de materiales compuestos

Material compuesto

- *Concepto de material compuesto*

Se les llama materiales compuestos a materiales que están conformados por dos o más tipos de materiales de naturaleza y propiedades distintas, donde cada uno contribuye para las propiedades finales, generalmente con una interfaz o unión visible entre los dos o más materiales, las propiedades del material compuesto pueden variar de un punto a otro dentro del material compuesto por lo que se consideran heterogéneos, este tipo de materiales se desarrollaron por la necesidad de materiales con propiedades para una aplicación determinada que un material individualmente no satisface. Al mezclar distintos materiales sin que ocurran reacciones químicas entre ellos, las propiedades del compuesto son una combinación de cada uno de los componentes. Los materiales compuestos son generados tanto por la naturaleza como es el caso de los huesos y por el humano como ejemplo el adobe. [1-3]

- *Partes que conforman un material compuesto*

Los materiales compuestos están formados por dos componentes principales que son el refuerzo y la matriz, en la figura 1 se muestran las configuraciones de estos dos componentes, las orientaciones que pueden tomar las fibras del refuerzo y su distribución dentro de la matriz. [1, 2, 4]

La matriz en este caso la resina es el componente el cual dentro de él se encuentra el refuerzo, tiene una fase continua y su función es dar soporte al refuerzo manteniéndolo en su lugar, protege del uso y condiciones exteriores, da un acabado superficial, transmite los esfuerzos a las fibras que del refuerzo y soporta los esfuerzos de compresión. Las resinas más usadas son las termoestables como la epoxica que se adhiere mejor a las superficies, es costosa pero con

propiedades superiores a otras como las fenólicas. [1, 2]

El refuerzo es el que se encuentra dentro de la matriz le da al compuesto propiedades que la matriz por sí sola no tiene, por ejemplo aumenta la rigidez y aporta mayor resistencia mecánica a esfuerzos de tensión. Se trata de una fase no continua, el refuerzo se forma generalmente de fibras pero también en partículas dispersas como muestra la figura 1, para un aprovechamiento mayor del refuerzo se debe colocar lo más homogéneo posible dentro de la matriz y las partículas lo más pequeñas posibles. Las propiedades más importantes del refuerzo son la resistencia y el módulo específicos, el material más utilizado como refuerzo es la fibra de vidrio debido a su bajo costo. [1, 2, 4]

Proceso VARTM

El proceso VARTM de moldeo por transferencia de resina asistido de vacío, es un proceso que se realiza con un molde abierto y seco. Para este tipo de proceso se requiere que la resina utilizada como matriz tenga una viscosidad baja, la infusión forzada con vacío permite que la resina se impregne a las fibras del refuerzo de una forma más eficiente y con este proceso se pueden cubrir grandes fracciones volumétricas y con excelentes acabados en la superficie que se encuentra en contacto con el molde. Al utilizar sólo un molde el proceso es menos costoso que el moldeo de transferencia de resina sin ayuda de vacío. Es un proceso limpio donde la emanación de gases queda contenida en la trampa de resina, al ser un proceso completamente sellado, es ideal para crear formas o superficies complejas, en la figura 2 se muestra un esquema del proceso VARTM y sus componentes principales. [1, 5]

Generadores eólicos

Un generador eólico es un mecanismo el cual transforma la energía cinética de un fluido que en este caso es el aire en energía mecánica de rotación y posteriormente en energía eléctrica ya sea de corriente alterna generalmente y corriente directa. La parte de este mecanismo que recibe directamente la energía cinética del viento y se encarga de convertirlo en energía mecánica de rotación es el álabes, por lo general los generadores cuentan con un conjunto de éstos colocados en una posición donde aprovechen

mejor la corriente de aire, un factor importante es la forma de cada álabe y el acabado superficial que debe tener para aumentar la eficiencia del generador como también los materiales involucrados deben soportar condiciones extremas ambientales. [6]

Debido a los requerimientos para fabricar un álabe para este tipo es conveniente usar materiales compuestos de bajo peso y gran resistencia así como bajo costo. El acabado superficial y la uniformidad del álabe se obtendrá con el proceso VARTM se optó por realizar los álabes de fibra de vidrio por su bajo costo y propiedades adecuadas para esta aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material	Cantidad por álabe
Bomba de vacío	1
Trampa de resina	1
Malla verde	1.5 m ²
Fibra de vidrio en petatillo	2 m ²
Bolsa de vacío	2 m ²
Tijeras	1
Piza de presión	2
Resina y catalizador	1.5 l, 100 ml
Cinta para sellar	4 m
Manguera en espiral	3.5 m
Tela filtrante (peel ply)	2 m ²
Conectores T y L	2 c/u
Molde	1
Báscula de precisión	1
Manguera de polietileno 1/2"	7.5 m
Mesa de trabajo	1
Cinta masking	1 rollo
Marcador negro, lápiz	2 c/u
Flexómetro	1
Juego de escuadras	1
Cera desmoldante 500gr	1
Estopa	1 paquete
Juego de guantes y lentes	2

Método VARTM

El proceso inicia con un diseño previo del álabe en este caso es el que se muestra en la figura 3 la pieza a fabricar se compone de la forma determinada del álabe y una ceja a un costado del álabe. Las dimensiones en mm se muestran en la figura 3 y son 1 m de altura, 0.262 m de radio y la ceja de 0.06 m de espesor, el álabe constara de

dos capas de fibra de vidrio para una mejor sustentabilidad.

Se realizó el molde de lámina de acero rolada para generar el diámetro del álabe y se le agregó la ceja, posteriormente se lijó y se dio un acabado superficial con pulidora, posteriormente, se le agregó cera para evitar la oxidación, el molde se muestra en la figura 4, después se le aplicaron 4 capas de cera para desmoldar esto evita que la pieza al terminar el proceso se adhiera al molde, después se le colocó la cinta para sellar con la forma aproximada del álabe como se muestra en la figura 5. Sobre la mesa de trabajo se trazaron las dimensiones del álabe utilizando el flexómetro y el juego de escuadras sobre cuatro hojas de cartulina para crear una guía del contorno del álabe. Se marcó sobre la fibra de vidrio y se recortó, se colocó la pieza de fibra sobre el molde y se fijó en la posición correcta como se muestra en la figura 6, después se recortó la malla verde la cual se requiere para que distribuya la resina uniformemente durante la infusión después se recortó la tela filtrante ésta se encarga de que la pieza terminada se pueda retirar con facilidad del resto de los materiales y no se adhiera a ellos. Se colocaron sobre la pieza de fibra de vidrio primero la tela filtrante y sobre ésta la malla verde como se muestra en la figura 7, evitando pliegues en cualquiera de las dos, se colocaron los conectores dos de entrada de resina y uno de salida en posiciones donde la resina fluye con mayor facilidad y cubre toda la superficie.

Para un distribución uniforme de la resina, se utilizaron mangueras de espiral y de polietileno, para ello, se colocaron dos trozos de manguera en espiral sobre la malla verde conectadas a los conectores en L de entrada de resina como se muestra en la figura 8, de igual forma, se cortaron 3 trozos de la manguera de polietileno cada uno de un metro aproximadamente, uno se conectó a la salida de resina en el conector en T y a la trampa de resina, ésta a su vez se conectó a la bomba de vacío, por otra parte, los otros dos trozos de manguera se unieron a los conectores en L y al recipiente que contendrá la resina.

Se hicieron ampliaciones o pliegues extras en la bolsa de vacío con cinta para sellar sobre la cinta ya aplicada con el fin de dejar contraer a la bolsa de vacío al accionar la bomba y que ésta no se rompa, en la figura 9 se muestra una de las ampliaciones.

Se colocó la bolsa de vacío y se comprobó que estuviera completamente sellada accionando la bomba por aproximadamente *20 min*, la bomba se encargó de sacar todo el aire dentro de la bolsa de vacío y llegó a una presión *-23 inHg* al mantenerse en esa presión se comprobó que no había filtraciones de aire y que estaba completamente sellado, la figura 10 muestra los materiales ya acoplados.

Se procedió a preparar la resina activándola con el catalizador, para ello se utilizó *1.5 l* de resina para cubrir completamente el álabe, el catalizador que se debe agregar es el *15%* de la cantidad de resina en este caso a *1.5 l* de resina se le agregó *225 ml* de catalizar en total la mezcla contenía *1725 ml*, se agitó hasta que la mezcla fuera uniforme. Ocurre una reacción exotérmica en el contenedor de la resina y éste debe soportar la temperatura, el catalizador disminuye el tiempo de endurecimiento de la resina por lo tanto terminando de mezclar se inicia con el proceso de infusión, se enciende la bomba nuevamente y las mangueras de entrada de resina son introducidas en el contenedor de resina y el vacío ya dentro de la bolsa succiona la resina y ésta se distribuye por el álabe.

El tiempo que le tomó a la resina cubrir toda la superficie fue de aproximadamente *30 min* después de este tiempo se apaga la bomba se bloquean las mangueras con las pinzas de presión. La resina se dejó estabilizar por *20 min*, el resultado se muestra en la figura 11, para asegurar el endurecimiento total de la resina, se deja todo el sistema en ese estado al vacío durante 24 horas y posteriormente se retira el álabe de los demás materiales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al retirar el álabe se observa como resultado los acabados superficiales con rugosidad mínima, los límites del álabe bien definidos, rígida y con la forma preestablecida a una escala real 1:1, en la figura 12 se muestra el álabe en su forma final. Se comprobó la eficacia del proceso VARTM y sus resultados fueron los esperados. Se logró construir satisfactoriamente el álabe.

CONCLUSIONES

Este proceso permitió crear formas complejas y con buenos acabados a una escala real como se obtuvieron con el álabe, se necesitó un espacio de trabajo reducido, los riesgos fueron mínimos y emisión de gases mínima. La complicación más relevante fue generar el vacío ya que en el sello se generaron pequeñas filtraciones de aire, a pesar de esto los resultados fueron los esperados.

REFERENCIAS

- [1] Moreno Guzmán, C.A. (2013). Manufactura de componentes de materiales compuestos reforzados con fibra. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guanajuato. (pp. 2-37)
- [2] Budynas, R.G. & Keith Nisbett, J. (2008). Materiales, Materiales compuestos. (8ed) DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY (pp. 28-56). México, D.F.: McGraw-Hill.
- [3] Stupenengo, F. (2011). Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. República Argentina. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>. Visto 11 de julio de 2015.
- [4] Educational Technology Research and Development. aid-n.com. Disponible en: <http://www.aid-n.com/wp-content/uploads/2012/09/Composite-Materials-Development.jpg>. Visto 11 de julio de 2015.
- [5] © Copyright Precisioneering DKG Corp. Disponible en: http://www.precisioneering.com/glossary_laminating_methods.htm. Visto 11 de julio de 2015.
- [6] Antezana Nuñez, J. C. Santiago de Chile (2004). Diseño Y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical. Disponible en: http://www.centroenergia.cl/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf. Visto 12 de julio de 2015.

IMÁGENES

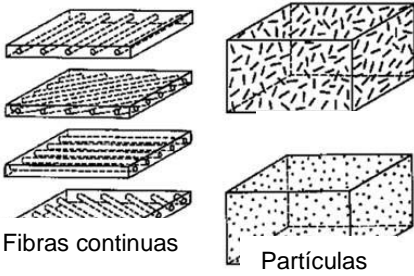


figura 6: Fijación de la pieza de fibra de vidrio sobre el molde.

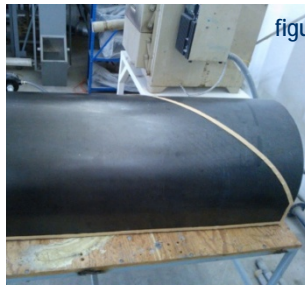
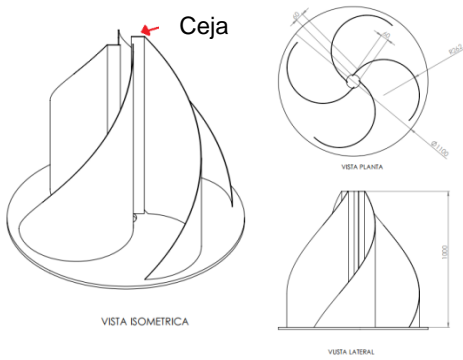
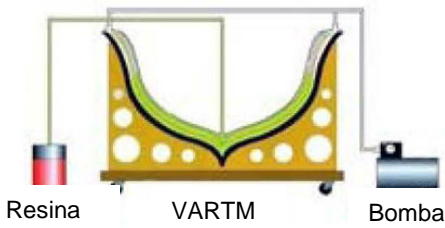


figura 8: Manguera en espiral.



figura 7: Colocación de la tela filtrante y la malla verde.



Ampliación en el sello
figura 5: Colocación de cinta para sellar.

figura 9: Ampliaciones para la bolsa de vacío.



figura 10:
a) Equipo preparado para el inicio de la infusión, b) Comprobación de vacío.

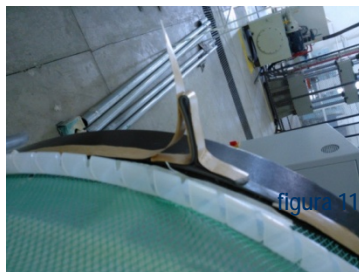


figura 3: Diseño de los álabes con ceja en una pieza y Dimensiones [mm].

figura 11: Proceso de infusión finalizado. figura 12: Forma final del álabe.