

a) Título: Influencia del proceso de manufactura en la propiedades de un compuesto Polímero termoplástico –Fibra de cerámica y su aplicación en soportes para cables de turbinas

b) Autores:

Juan Carlos Aguilar Ortiz ^[1], Omar Aconeltzin Jiménez Arévalo ^[2].

c) Filiación:

Alumno de posgrado ^[1], Area de Investigación y Posgrado, Universidad Aeronáutica en Querétaro ^[2].

d) Correo electrónico:

juan1.aguilar@ge.com ^[1], omar.jimenez@unaq.edu.mx ^[2].

e) Resumen:

El objetivo de este artículo es reportar el proceso de manufactura para fabricar el material compuesto Matriz polimérica UHMWPE (Polietileno de ultra alto peso molecular) usando fibra cerámica (Fibra de vidrio, plain wave 1x1).

La fabricación de las probetas (8) se realizó por moldeo de compresión donde se consideró el peso de fibra, peso de matriz, temperatura, tiempo y presión.

Los resultados obtenidos fue que se logró tener un buen acabado y una adecuada distribución del polímero dentro del tejido de las fibras (microcopias pendientes de realizar)

Para analizar el material se harán pruebas mecánicas:

Ensayo cuasi estático de tensión, ensayo modal, identificación de frecuencias críticas y ensayo de fatiga.

En conclusión preliminar se tiene que se pudo manufacturar el material compuesto UHMWPE y fibra de vidrio obteniendo un buen acabado y buena distribución del polímero dentro de los tejido de la fibra.

a) Palabra clave:

Aplicación, material compuesto, Aviación

b) Introducción:

El estudio de los materiales compuestos para aplicaciones en la industria aeronáutica, automotriz e industrial ha crecido exponencialmente, en la industria aeronáutica la reducción de peso es un importante factor para tener un mejor rendimiento y reducir costos.

Actualmente, los soportes de tubos y cables eléctricos en las turbinas de avión usan material acero e Inconel, Se planea la introducción de soportes de material compuesto UHMWPE (Polietileno de ultra alto peso molecular) y / fibra cerámica (material modelo) para soportes de cables eléctricos a temperatura baja < 250 F para la reducción de peso y obtener un mejor rendimiento en la turbina.

El objetivo general de este artículo se centra en el proceso de manufactura en la fabricación de un material compuesto laminado de Matriz polimérica UHMWPE (Polietileno de ultra alto peso molecular) usando fibra cerámica (Fibra de vidrio, plain wave 1x1) por medio de moldeo por compresión, analizando el efecto de las variables de proceso en el acabado del material compuesto

f) Fundamentos:

El material compuesto puede definirse como la combinación de dos o mas materiales el cual resultan con mejores propiedades que un material individual, cada material de un material compuesto retienen sus propiedades químicas, mecánicas y físicas. Los dos constituyentes normalmente son una fase continua o matriz (polímeros, metales y cerámicos) y una fase dispersa o refuerzo que puede ser una fibra (aramida, fibra de vidrio y carbón) continuas o discontinuas.

Una forma común de materiales compuestos son los laminados, consistentes en el apilamiento consecutivo de capas de fibra y matriz con la finalidad de construir un sólido de mayor espesor. En el caso del uso de fibras continuas, estas son colocadas en capas o laminas a las que se les da una orientación en la dirección que ayudan a reforzar la resistencia y el módulo en la dirección de las cargas presentes. De esta forma, una lámina unidireccional en la dirección de la carga (0) tiene un comportamiento extremadamente fuertes aumentando su rigidez, pero el material será débil en la dirección perpendicular a las mismas (90). De esta forma, para disminuir de manera controlada la anisotropía del material, se colocan las láminas en direcciones específicas. En la figura 1 se muestran las capas de un material puramente

unidireccional, el cual tendrá una alta anisotropía, así como también se muestra un material de tipo cuasi-isotrópico, construido a partir de colocar las capas en direcciones de 0,45, -45, 90, lo que generará que prácticamente el material se comporte de manera similar en todas las direcciones del plano.

Fibras Laminadas

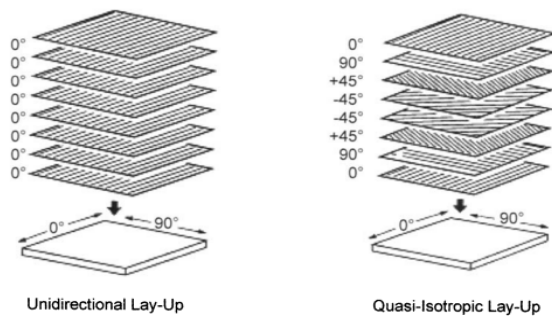


Figura 1. Fibras laminadas.

En este caso particular de los materiales cuasi-isotrópicos, es más común usar fibras en tejidos ortogonales, lo cual permitirá una mayor isotropía del material

Por otro lado, dado que las propiedades del material son producto de las propiedades de los materiales que lo originan, se han desarrollado varios tipos de fibras y matrices. En el caso de las primeras las más comunes son las fibras de carbono, vidrio y aramida, siendo las dos primeras de tipo cerámico y la segunda de tipo polimérico. El tipo de material que constituye la fibra marcará entonces las propiedades que son relevantes para cada caso, ya que por ejemplo las de tipo cerámico serán altamente susceptibles a esfuerzos cortantes en comparación con la tipo polimérico. De esta forma algunos factores que se deberían considerar al seleccionar el la fibra son:

Resistencia a la tensión. La fibra de vidrio es la mejor opción porque es más barata.

Módulo de tensión. Fibra de carbón tiene diferentes ventajas más que fibra de vidrio y aramida.

Resistencia a la compresión. Fibra de carbono es la mejor opción.

Módulo de compresión. Fibra de carbono es la mejor opción.

Densidad. Fibra aramida es la mejor opción.

Resistencia al impacto. Fibra aramida tiene excelente impacto a la resistencia, mientras el carbón es frágil y debería ser evitado.

Resistencia al ambiente. La selección de matriz tiene el impacto más grande en el compuesto resistencia al ambiente

Costo. La fibra de vidrio es la menos costosa, mientras la fibra de carbón la más costosa.

Matriz.

Las matrices sostienen las fibras en sus posiciones correctas, protege las fibras de abrasión, transfiere las cargas entre las fibras y provee resistencia al corte entre las láminas o capas. Una correcta selección de matriz da resistencia al calor, química y humedad.

En este sentido, las matrices son parte importante del compuesto, pero en lo general son la parte más débil del sistema. Al igual que las fibras, las matrices tienen diferentes tipos de acuerdo a los requerimientos del material, marcando en mucho la tenacidad del mismo. Las matrices más comunes son las de tipo polimérico termoestable, debido principalmente a su facilidad de manufactura. Debido al tipo de reacciones que presentan al formarse el sólido, estas resinas generan una red molecular rígida, que al tener predominantemente enlaces de tipo covalente al interior del material, genera una alta rigidez del sólido, pero por lo mismo poca tenacidad. Si bien los módulos elásticos son atractivos, en muchas veces la falta de tenacidad del material lo hace susceptible a la aparición de grietas, y la existencia de la red molecular basada en enlaces covalentes le impiden ser reprocesado por calor como los polímeros termoplásticos. Las resinas más comunes son la epóxica y el poliéster.

Como alternativa a la poca tenacidad y formalidad de los materiales termoestables, se ha incursionado en años recientes en el desarrollo de compuestos con matriz termoplástica, derivado esto de la facilidad de reconformado de estas resinas y de una mayor tenacidad y tolerancia a las grietas al poder desplazar cadenas dentro del material. En este sentido resinas termoplásticas usadas con facilidad en los compuestos son los polipropilenos y poliestirenos, siendo utilizadas principalmente en compuestos de fibra corta procesados por inyección o extrusión.

Moldeo Por Compresión.

El moldeo por compresión es un método de moldeo en el que el material de moldeo, en general precalentado, es colocado en la cavidad del molde abierto. El molde se cierra, se aplica calor y presión para forzar al material a entrar en contacto con todas las áreas del molde, mientras que el calor y la presión se mantiene hasta que el material de moldeo se ha curado. El proceso se emplea en resinas termoestables en un estado parcialmente curado, ya sea en forma de pellets, masilla, o preformas. El moldeo por compresión es un método de alta presión, adecuado para el moldeo de piezas complejas, de alta resistencia con refuerzos de fibra de vidrio. Los compuestos termoplásticos, aunque en menor medida, también pueden ser moldeados por compresión con refuerzos de cintas unidireccionales, tejidos, fibras orientadas al azar o de hilos cortados. La ventaja de moldeo por compresión es su capacidad para moldear piezas grandes, bastante intrincadas o complejas. Además, es uno de los métodos de más bajo costo en comparación con el moldeo por otros métodos tales como moldeo por transferencia y moldeo por inyección, por otra parte se desperdicia poco material, dándole una ventaja cuando se trabaja con compuestos caros. Sin embargo, el moldeo por compresión a menudo proporciona productos de pobre consistencia y dificultad en el acabado, y no es adecuado para algunos tipos de piezas. En este proceso se produce una menor degradación de la longitud de la fibra en comparación con el moldeo por inyección. Materiales que normalmente se fabrican mediante moldeo por compresión incluyen: sistemas de resina poliéster con fibra de vidrio, (SMC / BMC), Torlon (Poliamida: PAI), Vespel (Poliamida: PA), Polifenileno sulfuro (PPS), y muchos grados de PEEK.

De esta forma, se puede definir que el moldeo por compresión es un proceso de conformación en que se coloca un material plástico directamente en un molde de metal se calienta y luego se ablanda por el calor, y obligado a conformarse con la forma del molde en el molde cerrado. El moldeo por compresión tiene un alto desarrollo en la fabricación de piezas de materiales compuestos para aplicaciones de reemplazo de metales.

En el caso del molde por compresión de termoplásticos se puede partir de materiales impregnados en fase previa a la polimerización de la resina, o bien en materiales poliméricos incorporados a partir de láminas de polímero alternadas con capas de fibra o bien sistemas de polímero en polvo adicionados a los arreglos de fibra en frío. En este último caso, se presentan diferentes procesos en la formación de la matriz. El polímero pasa por una fase de coalescencia de partículas, en la que estas se unen sin fundir el material. La presencia de esta fase y su duración permite de inicio la generación de un polímero poroso, para posteriormente

incrementar el grado de unión de las partículas, expulsando en aire hacia el exterior del sólido de manera gradual. Finalmente, el material puede llegar a una etapa de polímero fundido, donde dependiendo de la viscosidad alcanzada este puede ingresar por la presión dentro del arreglo de fibras. Estos dos procesos serán gobernados por la presión, la temperatura y el tiempo de proceso.

El Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) es un polímero termoplástico de la familia de los polietilenos, pero con un alto grado de polimerización, muy superior al del polietileno de alta densidad. Esto hace un material que al poseer cadenas moleculares extremadamente grandes, presente propiedades superiores en cuanto a resistencia, módulo y temperatura de servicio respecto a otros materiales de la misma familia, siendo incluso atractivo para aplicaciones sujetas a impacto y esfuerzos cortantes. Sin embargo esto hace que el material tenga un muy alta viscosidad en fundido, siendo difícil de procesar por otros métodos diferentes a la compresión. Si bien este ha sido un proceso altamente utilizado para los UHMWPE, no hay reporte de que se hayan generado materiales compuestos laminados con esta matriz.

g) Procedimiento:

Para este trabajo se utilizó un arreglo ortogonal de 10 capas de fibra de vidrio E en tejido plano (plain wave 1x1) con una fracción volumétrica $v_f=0.5$, utilizando para la matriz polvo de polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) Celanese GUR 4120, utilizando para su conformado moldeo por compresión en una prensa de platos calientes adaptada. Para la fabricación del material se realizó la fabricación de 8 probetas para el diseño de experimentos, los parámetros a considerar fueron:

Tabla 1. Diseño de probetas.

Probeta	Peso Fibra (gramos)	Peso Matriz (gramos)	Temp (Centígrados)	Tiempo (Horas)	Presión (Ton)
1	0.135	0.07	210	4	5
2	0.13	0.068	230	4	9
3	0.125	0.065	230	2	9
4	0.12	0.062	230	4	5
5	0.125	0.065	230	2	5
6	0.125	0.065	210	2	9
7	0.125	0.065	210	2	5
8	0.12	0.062	210	4	9

A continuación se muestra el análisis para la construcción de probetas:

W= peso

P = Densidad

V = volumen

Y = relación

$$V_{fibra} = \frac{W_{fibra}}{P_{vidrio}}$$

$$V_{Total} = V_{fibra} + V_{matriz}$$

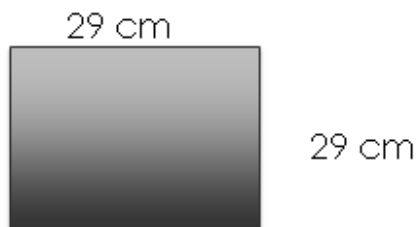
$$Y_{fibra} = V_{fibra}/V_{total} = .5$$

$$V_{matriz} = .5 = V_{matriz}/V_{total}$$

$$V_{matriz} = V_{fibra}$$

$$W_{matriz} = V_{matriz} * P_{matriz}$$

$$W_{matriz} = (1.1/2.1) * W_{fibra}$$



Fibra de vidrio

$$P_{vidrio} = 2.1 \text{ kg/litro}$$

$$P_{matriz} = 1.1 \text{ kg/Litro}$$

Las láminas de fibra de vidrio tienen una geometría de 29 x 29 centímetros, en la figura siguiente se muestra la geometría y el proceso de fabricación.

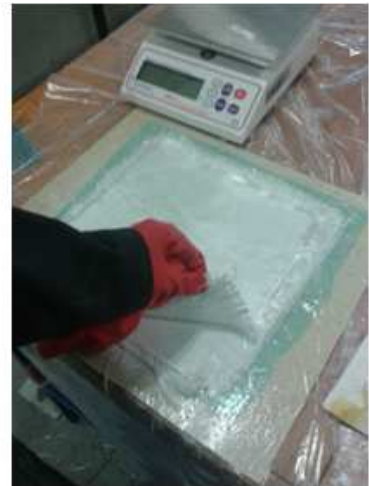
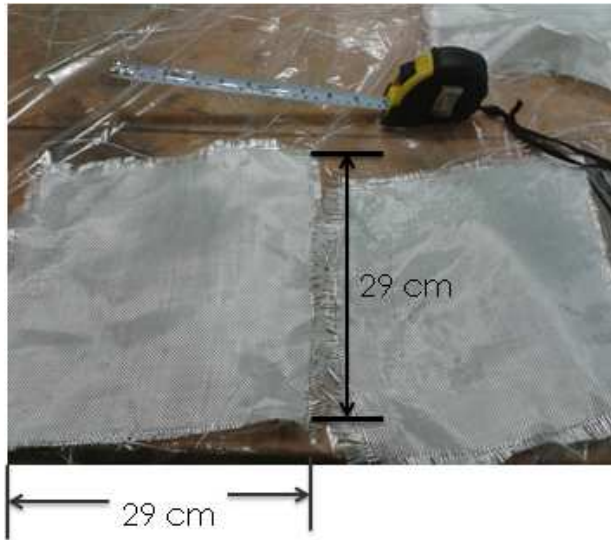


Figura 2. Dimensiones de fibra de vidrio y su combinación con el polímero

Calculando el peso de la fibra de vidrio y calculando el peso de la matriz (polímero) este último se dividió en 10 porciones iguales, cada porción se usó entre cada lamina de fibra de vidrio como se observa en la siguiente figura.

Después de procedió a la fusión de estos dos componentes por medio de una prensa.



Fabricación de probeta



Prensa

Figura 3. Fabricación de probetas y fusión en la prensa

h) Resultados y análisis de resultados:

Como resultado preliminar se puede decir que el material compuesto Matriz polimérica UHMWPE (Polietileno de ultra alto peso molecular) usando fibra cerámica (Fibra de vidrio, plain wave 1x1) se logró manufacturar, obteniendo un buen acabado y una adecuada distribución del polímero dentro del tejido de las fibras (microcopias pendientes de realizar).

En general el acabado de las piezas es bueno y se logró una adecuada distribución de la resina en el sólido.

La placa de la corrida 7 presentaron zonas en la orilla donde hay cierta tendencia a delaminarse, lo cual podría hablar de una falta de integración de la matriz derivado de una baja presión, con poca temperatura y tiempo corto, en comparación de la corrida 8 donde al incrementar el tiempo y la presión se tuvo una completa integración de la matriz, lo cual hablaría de que la combinación tiempo temperatura es un factor relevante para la obtención de un buen material.

La corrida 4 presentó una buena integración de fibra y matriz, pero con algunas zonas con cambio de coloración, lo que podría atribuirse a una ligera degradación del material, lo que indicaría que este está próximo a una degradación. Sin embargo, al igual que la muestra 8 se presentan pocas zonas blancas, lo que indicaría un fundido del UHMWPE y por ende una mejor conformación del compuesto

La muestra 5 generó buen acabado, con muy pocas zonas blancas y sin cambio de coloración, lo que indicaría que el proceso de fundido se llevó casi en su totalidad sin empezar una degradación térmica del polímero.

i) Conclusiones:

El proceso de manufactura propuesto para el material compuesto basado en fibra de vidrio y matriz termoplástica de UHMWPE ha sido capaz de obtener un material adecuado para la experimentación d para permitir la implementación de un soporte de cables eléctricos capaz de cumplir con los requerimientos de uso y por medio del conocimiento del proceso de manufactura y su influencia en las propiedades mecánicas del material, se podrá optimizar las propiedades del componente para la aplicación propuesta.

i) Referencia Bibliográfica:

Bibliografía:

Título: Manufacturing Processes for Advanced Composites. Autor(s): F.C. Campbell ISBN: 978-1-85617-415-2

- Springer; Revista Oficial de Japan Society for Composite Materials.
- Elsevier (revistas y artículos)
- American Society of Civil Engineers (ASCE)
- SAGE en asociación con American Society for Composites
- Página Worldwidescience.org
- Página Science direct.