



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN  
DE INGENIEROS EN LA  
ERA DIGITAL



# CONSTRUCCIÓN DE UN “COWL” EN MATERIAL COMPUESTO PARA UN AEROMODELO DE ACROBACIA DE 2,2 METROS DE ENVERGADURA Y CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 60CC DE DESPLAZAMIENTO EN CALI

Daniel Escandón Varela

Universidad Autónoma de Occidente  
Cali, Colombia

## Resumen

El proyecto consiste en la fabricación de un componente cosmético y estructural en material compuesto, de la sección frontal de un aeromodelo de acrobacia, con el fin de crear el compartimiento para el motor de combustión interna en un material ligero, resistente a la vibración y al contacto con sustancias inflamables y corrosivas (combustible). La metodología empleada en el proyecto fue el proceso de diseño en ingeniería, lo que permitió realizar el diseño CAD, en el programa **Fusion 360**, del componente y a partir de este se construyó un prototipo físico del cual se construye un **molde abierto** en material compuesto, para obtener la pieza final la cual será puesta a prueba en el aeromodelo mencionado. Entre los materiales necesarios para la fabricación de dicho molde se encuentra la matriz (resina poliéster), el refuerzo de la matriz (fibra de vidrio tipo MATT), Gel Coat, PVA (alcohol polivinilo, agente desmoldante). El molde se fabrica a partir de la técnica de laminado por contacto manual, mientras que la técnica empleada para la fabricación de la pieza final es moldeo por laminado manual asistido por vacío, presentando la ventaja de lograr mejor adhesión entre el refuerzo (fibra de vidrio) y la matriz. Entre las pruebas que se llevarán a cabo, está la instalación del componente en el aeromodelo y subsecuente vuelo de acrobacia bajo la categoría “3d”, también conocida como EXFC (European Extreme Flight Championship) o XFC (Extreme Flight Championship). Se concluirán como exitosas las pruebas del componente al finalizar una serie de vuelos, cada uno con intensidad progresivamente mayor a la anterior, con el fin de demostrar las características mecánicas del componente en material compuesto en contraste a otras posibles formas de solucionar el problema.

**Palabras clave:** materiales compuestos; aeromodelo; manufactura

### **Abstract**

*The following project goes through the manufacturing of a cosmetic and structural component in composite material, belonging to the frontal section of an aerobatic model aircraft; in order to create the engine bay in a lightweight, vibration and chemically resistant composite material. The methodology use throughout the proyect was the engineering design process, which allowed then to make a CAD design of the component was made in the program **Fusion 360**, and from it a physical prototype was then made, from which subsequently an **open mold** in composite material would be done to acquire the end product, which would be tested on the model aircraft mentioned before. Some of the materials required for the manufacturing of the mold are the matrix (polyester resin), the matrix reinforcement (Fiberglass), Gel Coat, PVA (Polyvinyl Alcohol, demolding substance). The mold is manually manufactured via hand laying while the end product would be made by hand layup assisted with vacuum, allowing for a better adhesion between layers and the resin matrix. Among the testing to be done is the installation of the end product on the mentioned model aircraft and later flight testing, under the category of "3d" flight style also known as EXFC (European Extreme Flight Championship) or XFC (Extreme Flight Championship). Testing will be determined as successful after going through several in-flight test, each progressively more demanding on the component, in order to demonstrate the mechanical properties of the composite material component in contrast of other ways to solve the problem.*

**Keywords:** composite materials; model airplane; manufacturing

## **1. Introducción**

Los materiales compuestos son aquellos materiales los cuales en su composición combinan dos o más materiales distintos por medio de variados métodos de tal forma que se obtiene un nuevo material, el cual obtiene propiedades de los materiales base con los que se forma, en el compuesto los materiales base son claramente distinguibles, pero no necesariamente visibles al ojo humano, como lo es en el caso de la fibra de vidrio reforzada con resina. Estos compuestos ofrecen ventajas en relación a sus propiedades mecánicas y procesos con los que se manufacturan, si se los compara a otros materiales o incluso a los materiales base con los que se forma el compuesto. Es importante mencionar que en el presente artículo el enfoque de estudio es la fibra de vidrio reforzada con resina poliéster aplicada a la fabricación de un componente integral a la estructura de un aeromodelo de acrobacia.

El problema que se enfrenta en el transcurso del proyecto es la correcta aplicación de los materiales compuestos en la fabricación de un componente para un aeromodelo con técnicas de bajo costo y complejidad, partiendo de que teóricamente la manipulación e implementación de este tipo de material no involucra mayores retos; sin embargo, la realidad muestra que en cuanto a estos aspectos mencionados, se presenta más de un contratiempo, lo cual retrasa el desarrollo del proyecto. Aún más, la información técnica específica a estos materiales en el contexto del

comercio e industria nacional es difícil de acceder o inexistente, por lo que la forma de manipular los materiales, más en el caso de las resinas, se efectúa a partir de generalidades intrínsecas del material (Cantidad de catalizador MEK<sup>1</sup> a utilizar).

En consecuencia se busca lograr un mejor entendimiento sobre la correcta aplicación de los materiales compuestos, en especial de las resinas, dado a que son uno de los aspectos de los materiales compuestos que generan la mayor cantidad de inconvenientes al momento de realizar la aplicación del material. Además de lo mencionado, el objetivo principal del proyecto es lograr la **construcción de un cowl<sup>2</sup> en material compuesto para un aeromodelo de acrobacia**.

## **2. Marco Teórico**

Los materiales compuestos representan un amplio conjunto de materiales los cuales tienen como característica común de ser formado por dos o más componentes, los cuales se resumen en ser la matriz y el refuerzo, de forma que las propiedades del material resultante de la combinación de estos es superior a la de los componentes por separado, es importante decir que al hacer referencia a este tipo de material, se refiere a aquellos fabricados por el hombre. Entonces, los materiales compuestos se originan en el siglo XX, cuando en 1907 se desarrolla la *bakelita* como la primera resina termoestable, a lo largo de tres décadas este tipo de material continúa su desarrollo incorporando las demás resinas utilizadas comúnmente: poliéster, viniléster y epoxi. ((Miravete, A. 2012)

Por otro lado, la fabricación de modelos a escala es una herramienta importante, ya que se debe lograr representar con gran precisión los fenómenos y comportamientos que un objeto a escala real manifestaría, por lo que lograr fabricar un modelo capaz de imitar su contraparte de tamaño 1:1 presenta retos más allá del simple escalado. Los moldes son utilizados para copiar la geometría de un objeto, de modo tal que al realizar un laminado a partir del molde se obtiene otro objeto idéntico forma al original, pero siendo la copia del original un cuerpo hueco. Es importante considerar la geometría del objeto que se utilizará para fabricar el molde, debido a que ciertos tipos geometrías de los objetos impedirán realizar un molde de una sola pieza, por lo que se tendrá que optar por realizar un molde por secciones, que podrá ser desensamblado a fin de liberar el nuevo laminado. (VRANAS, T. 1984)

## **3. Metodología**

La metodología desarrollada en el transcurso del proyecto, es el Proceso de Diseño en Ingeniería (PDI), que se describen a continuación:

---

<sup>1</sup> "MEK" es una sigla "Peróxido de Metil Etil cetona", el cual es el iniciador de la reacción de polimerización que permite "solidificar" la resina. (Miravete, A. 2012)

<sup>2</sup> Cowl o Engine Cowl es una palabra del inglés que hace referencia, generalmente, a la parte de una aeronave que encierra, protege al motor o sistema de propulsión, además que otorga mejores características aerodinámicas debido a la reducción de arrastre aerodinámico.

**Fase 1: Identificación de la problemática:** Se realizó una consulta general respecto al uso y aplicación de materiales compuestos en diferentes campos de aplicación, entre estos el aerodelismo, se encontró que la información referente a este tipo de material y cómo manipularlo para la fabricación de moldes, es adecuada para el tipo de trabajo que se propone el proyecto. Así mismo, en los recursos consultados se describen los diferentes tipos de matrices y refuerzos que se utilizan para fabricar materiales compuestos, junto con los diferentes métodos y prácticas que se deben llevar a cabo para lograr desarrollar el laminado del material. En relación a la aplicación de los materiales compuestos al aerodelismo, se observa una amplia utilización de este tipo de material, gracias a su gran resistencia en relación a su peso y buena estabilidad dimensional.

**Fase 2: Generación y evaluación de alternativas de solución:** A fin de seleccionar el método por el cual se construye el prototipo, se exploraron varias opciones. La primera opción consistía en imprimir en 3d el prototipo en un termoplástico resistente al impacto: ABS; no obstante, debido a que en el momento no se tenía fácil acceso a esta tecnología y altos costos debido al tamaño del objeto. La segunda opción consistía en tallar el prototipo en espuma de alta densidad por medio de corte CNC; sin embargo, al igual que la primera alternativa, los altos costos y el difícil acceso a esta tecnología, en el momento, permiten descartar esta opción. La tercera opción, y la escogida, fue una combinación de dos procesos de manufactura: el corte láser de secciones transversales 2d en madera y el acabado manual, permitiendo un bajo costo para construir el prototipo y también en un periodo de tiempo razonable, alrededor de un mes.

**Fase 3: Desarrollo de la solución:** Para desarrollar la solución se realizaron tres actividades que se describen detalladamente a continuación:

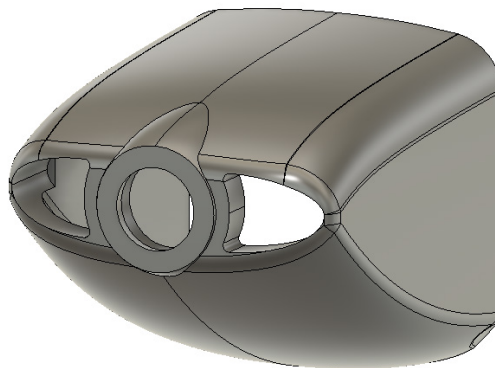
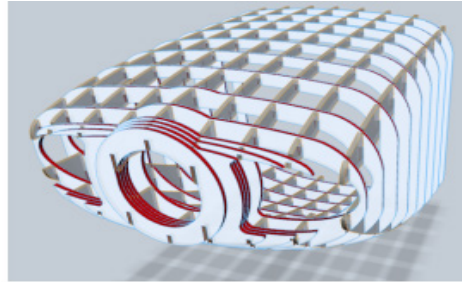


Imagen 1: Elaboración propia

**-Primero:** La elaboración del diseño del "cowl" se lleva a cabo en "Fusión 360" a partir de las vistas isométricas del aerodelo en la sección frontal del mismo. En la imagen 1 se puede observar el modelo solido del componente, del cual se procede a construir un prototipo físico.

**CONSTRUCCIÓN DE UN "COWL" EN MATERIAL COMPUESTO PARA UN AEROMODELO DE ACROBACIA DE 2,2 METROS DE ENVERGADURA Y CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 60CC DE DESPLAZAMIENTO EN CALI**

Imagen 2: Elaboración Propia



**-Segundo:** Se elabora el un prototipo físico a partir de secciones transversales en madera cortada con láser del modelo sólido (imagen 1). La imagen 2 ilustra la estructura de malla en la que está construido el prototipo, los espacios vacíos de la malla son rellenados con secciones rectangulares de madera balsa, debido a la facilidad del material de ser lijado a la forma deseada.

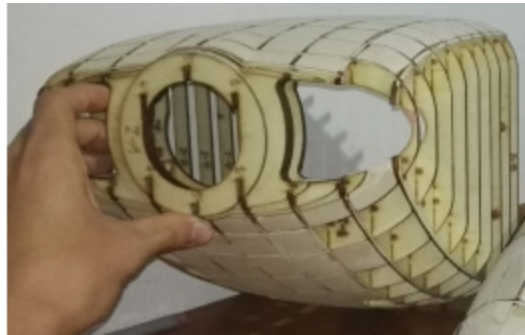


Imagen 3: Elaboración propia

En la imagen 3, se observa el prototipo mientras estaba siendo construido, es posible observar la estructura de malla y los rellenos en madera balsa tomando la forma del componente. La adhesión entre las piezas se logra utilizando pegante para madera comercial "*Carpincol Profesional*".



Imagen 4: Elaboración propia

## CONSTRUCCIÓN DE UN "COWL" EN MATERIAL COMPUESTO PARA UN AEROMODELO DE ACROBACIA DE 2,2 METROS DE ENVERGADURA Y CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 60CC DE DESPLAZAMIENTO EN CALI

**-Tercero:** Se procede a refinar el acabado superficial por medio de la adición de macilla para madera al prototipo, como se muestra en la imagen 4, la superficie resultante otorgará un buen acabado al molde y a su vez a la pieza resultante de este.

### Fase 4: Pruebas y ajustes.



Imagen 5: Elaboración Propia

Las pruebas se llevarán a cabo una vez se obtenga una pieza del molde que se planea desarrollar en puntos anteriores; dichas pruebas involucran instalar el componente en la sección resaltada por el círculo amarillo en la imagen 5, las pruebas serán llevadas a cabo por medio de múltiples vuelos del aeromodelo bajo condiciones de vuelo cada vez más exigentes: mayores fuerzas G y diferentes orientaciones del aeromodelo en el espacio. Además de estas pruebas dinámicas, es posible evaluar la integridad del material por medio de estudios de mecánica de materiales, con especial énfasis en estudios de flexión y tracción, aunque estos no se consideran en el actual proyecto.

## 4. Discusión y Conclusiones

El proyecto se encuentra en etapa de implementación, ya que se han establecido correctamente los requerimientos, restricciones y el plan de acción para implementar el desarrollo físico de la solución; aún más, se posee el diseño sólido (CAD) y un prototipo físico con el cual se construirá el *molde abierto*; sin embargo, no se ha desarrollado la construcción del molde en material compuesto y por lo tanto tampoco la fabricación de la pieza en material compuesto que se instalará en el aeromodelo.

Algunas de las dificultades enfrentadas en el proyecto son la difícil accesibilidad a la información técnica específica a los materiales con los que se plantea fabricar el molde, especialmente en

relación a las resinas y su **tiempo de gel**<sup>3</sup>, además insumos como el Peel-ply<sup>4</sup> no son de fácil acceso localmente y se tendrá que buscar un material sustituto para realizar el laminado por contacto manual asistido por vacío de la pieza que se instalará en el aeromodelo.

En cuanto a la construcción del molde, hace falta preparar la superficie del prototipo con varias capas de cera demoldante y PVA, con el fin de facilitar remover el prototipo del molde una vez el laminado esté curado; por otro lado, se ha decidido construir el molde en dos secciones, para facilitar el demoldado de la pieza final y permitir construir la pieza final también en dos secciones, ya que así se facilita el acceso al motor de combustión interna y demás componentes ubicados en esta sección, por medio de una serie de tornillos que sujetan las dos secciones entre sí y a su vez a la pared de fuego<sup>5</sup> del aeromodelo.

Se espera lograr la construcción del molde y pieza final, también se logra la adquisición de conocimiento sobre el comportamiento, manipulación y manufactura de piezas estructurales a partir de moldes y materiales compuestos. También es importante mencionar que una vez se logre la fabricación del molde, es posible y se intentará desarrollar más la técnica por la cual se realiza el laminado, alcanzando un proceso de moldeo por infusión de resina, en lugar del laminado manual, lo cual permite obtener un laminado con espesor más consistente y debido a que se reduce la manipulación manual del material, se evita un prolongado tiempo de exposición a la resina y sustancias volátiles<sup>6</sup>.

## 5. Referencias bibliográficas

- Jones, S. (2007). One piece Fiberglass Mold Construction. Recuperado de: [http://www.composites.ugent.be/home\\_made\\_composites/documentation/Fiberglass\\_mold\\_manual\\_very\\_instructive.pdf](http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/documentation/Fiberglass_mold_manual_very_instructive.pdf)
- Miravete, A. (2012). Materiales compuestos I. Recuperado de: <https://ezproxy.uao.edu.co:2185/lib/bibliouaosp/reader.action?docID=3429381>
- Miravete, A. (2012). Materiales compuestos II. Recuperado de: <https://ezproxy.uao.edu.co:2185/lib/bibliouaosp/reader.action?docID=3429321>
- Smith, K. (1982). Make and use Fiberglass Molds. Recuperado de: <http://thelukens.net/airplanes/Accessories/Make%20and%20Use%20Fiberglass%20Molds.pdf>
- Solventes Volátiles (Inhalantes). (SA). (2013). Recuperado de: <https://www.fad.es/inhalantes>

---

<sup>3</sup> El "tiempo de gel" es un término utilizado para describir el tiempo que tarda una resina en lograr una consistencia reminiscente a un gel una vez se ha agregado y mezclado el catalizador **MEK**<sup>1</sup>, por lo cual después de este tiempo, el laminado ya no puede ser modificado y se debe realizar un nuevo laminado sobre el anterior.

<sup>4</sup> El "Peel-Ply" es un tejido de nylon o poliéster tratado con agentes antiadherentes empleado para separar y facilitar la remoción del laminado del sistema bolsa de vacío empleado para comprimir la pieza (Miravete, A. 2012).

<sup>5</sup> Sección que cumple el propósito de separar el compartimiento del motor o sistema de propulsión del resto de la aeronave. También es un lugar donde se ubican partes relacionadas con el motor o sistema de propulsión.

<sup>6</sup> Son sustancias químicas altamente tóxicas de uso industrial y doméstico que al ser inhaladas pueden producir graves consecuencias físicas y psíquicas. Pueden referirse a disolventes volátiles, aerosoles, gases y nitritos. (FAD, 2013)

- VRANAS, T. (1984). MOLD AND MODEL MAKING TECHNIQUES. Recuperado de: [https://crgis.ndc.nasa.gov/crgis/images/0/02/1984-07\\_Mold\\_and\\_Model\\_Making\\_Techniques.pdf](https://crgis.ndc.nasa.gov/crgis/images/0/02/1984-07_Mold_and_Model_Making_Techniques.pdf)

### **Sobre los Autores**

- **Daniel Escandón Varela**, [daniel.escandnn@uao.edu.co](mailto:daniel.escandnn@uao.edu.co). Estudiante de III semestre de Ingeniería Mecánica, Integrante del semillero *solución creativa de problemas*, Universidad Autónoma de Occidente.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)