

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN  
MECATRÓNICA.**

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**TEMA:**

**“CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UNA  
AERONAVE NO TRIPULADA APLICANDO INGENIERÍA INVERSA,  
UTILIZANDO MATERIAL DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER  
REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE COCO O CABUYA”**

**AUTORA: EVER ALEJANDRO PALACIOS ACOSTA**

**DIRECTOR: Ing. COSME MEJÍA**

**Ibarra, marzo 2016**

# CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA APLICANDO INGENIERÍA INVERSA, UTILIZANDO MATERIAL DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE COCO O CABUYA.

Ever Alejandro Palacios A.\*; Cosme Mejía\*\*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

\*eapalacios@utn.edu.ec; \*cdmejia@utn.edu.ec

## Resumen

Este proyecto presenta la construcción de una estructura de soporte para una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, utilizando material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya. Para lograr el objetivo propuesto se adquirió un dron de ala fija de gama baja, al que se le aplicó ingeniería inversa usando un escáner 3D Geomagic que permitió obtener el modelo computacional del dron.

Posteriormente, se le reconstruyó al modelo obtenido con el escáner haciendo uso de un software especializado, con el fin de obtener el modelo haciendo uso de una impresora 3D de polvo cerámico, para luego obtener los moldes con caucho silicón. La estructura está constituida por un material compuesto de matriz resina poliéster y reforzado con una fibra natural de cabuya tejida, que se seleccionó en base a estudios ya realizados, con el fin de obtener una estructura capaz de soportar grandes impactos y no tener mayor deformación.

Para obtener una estructura con un acabado que no afecte a la aerodinámica del dron se usó el método de moldeo de pre – impregnados, que permite obtener un acabado sin asperezas ni burbujas. De esa forma se obtiene un acabado que no afecte a la aerodinámica del dron.

Finalizada la construcción, se realizó el ensamblaje con el control del dron adquirido para proceder a realizar las pruebas de vuelo con el fin de verificar si el sistema de control de dron adquirido sería suficiente para que el nuevo dron funcione, con lo que se pudo concluir que el dron construido es más pesado que el dron adquirido y por ende su motor no tuvo la suficiente potencia para el nuevo dron.

## Palabras Claves

Dron, fibra de cabuya, fibras naturales, estructura.

## Introducción

Los drones son aeronaves no tripuladas con distintos campos de aplicación ya que por su diseño pueden llegar a lugares inaccesibles; por ejemplo, realizar trabajos topográficos, ayudar con la vigilancia de lugares donde es difícil su acceso que deben mantenerse vigilados, además ayudar a controlar incendios forestales de manera eficiente y efectiva.

En la actualidad los GADs del país, por sus competencias determinadas en la ley, se han hecho cargo de la seguridad de la ciudadanía, en especial de turistas que visitan las reservas ecológicas, por esto es necesario una vigilancia constante y que pase desapercibida, además de la preservación de los páramos que son fuentes principales de agua y que últimamente se han visto deteriorados por los constantes incendios, esto ha motivado a adquirir drones a un alto precio y de no muy buen rendimiento.

En nuestro país solo hay una empresa que fabrica drones, pero para aplicaciones de alto nivel de las Fuerzas Armadas, que ocasiona su alto precio en repuestos, costos de importación y aduana, cabe indicar que esto es producto de la falta de investigación acerca de los materiales existentes en el mercado nacional, que puedan ser utilizados para la construcción del dron.

En este trabajo se propone la construcción de la estructura de soporte de una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, con material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya, ya que en el

Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en sus etapas iniciales, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado. En general, la extracción de fibras vegetales ha tenido un desarrollo incipiente en el país, lo que puede cambiar tomando en cuenta el gran potencial que el Ecuador ofrece para la producción de fibras naturales y la necesidad de desarrollar aplicaciones de mayor valor agregado para las mismas.

## Metodología

Para el diseño de esta estructura se debe seguir el proceso de selección de cada uno de los materiales y del dron al que se le aplicara la ingeniería inversa

La matriz polimérica de resina poliéster que se empleó para el material compuesto reforzado con fibra natural de coco o cabuya fue del tipo ortoftáltica de marca sintapol 2074. Para el curado se empleó como activador de la reacción al octato de cobalto al 12 % y como acelerante al peróxido metil etil cetona (MEKP). Esta resina de marca sintapol 2074 es la más usual en nuestro medio por lo que es una de las razones de su uso, pero dejando de lado esto en la hoja técnica que se encuentra en el Anexo 1 se puede observar que esta resina es una buena resina fabricada localmente y que tiene una buena resistencia al impacto que es esencial en la fabricación de estructuras.

En la sección de fibras vegetales se tienen las propiedades mecánicas de las fibras en cuestión, pero para un mayor entendimiento en la tabla 1 se resumen las propiedades mecánicas de las dos fibras.

**TABLA 1.**  
COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE COCO Y CABUYA.

Propiedad	Fibra de coco	Fibra de cabuya
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	1,3
Módulo de elasticidad (MPa)	4 – 6	9,4 - 22
Resistencia a la tracción (MPa)	175 - 220	511 - 635
Elongación fractura (%)	15 – 30	2 – 2,5

Fuente: Guerrero et al. (2009)

Para la selección del dron que se va a utilizar se efectuará a través de la casa de la calidad tomando en cuenta algunas características que para el presente trabajo son importantes como es, el peso, el material, si tiene control incluido entre otras características que son convenientes para este proyecto.

Es un avión de la casa WL Toys, este modelo es muy fácil de volar, viene listo para cargar la batería y hacerlo volar, tiene 3 canales, todo el sistema está hecho de EPO, con alta resistencia al impacto. Fácil de controlar, perfecto para principiantes. Tiene una hélice plegable, cuando la hélice se despliega opone menor resistencia al aire lo que le permite planear de mejor manera (Cruz, 2016). Ver tabla 2.

**TABLA 2.**  
CARACTERÍSTICAS DEL DRON WLTOYS F959.

CARACTERÍSTICAS	
Nombre	Wltoys F959 RC Airplane Sky King
Material	EPO (Poliiolefina Expandida)
Medidas de las Alas (Envergadura)	750 mm
Medidas del fuselaje	570 mm
Autonomía de vuelo	Entre 15 y 20 minutos
Tiempo de recarga	30-40 minutos
Frecuencia	2.4 GHz
Alcance remoto	200 m
Motor	N60 – 10 Watts
Batería	7.4 V – 300 mAh

Se utilizó cada una de las piezas del dron para poder obtener el modelo geométrico del mismo con el escáner 3D Geomagic Capture existente en la universidad, este sistema de escaneo lo que hace es emitir un láser que va tomando las diferentes distancias para formar modelos geométricos 3D de las piezas escaneadas y con esto se puede proceder a reconstruir el modelo en caso de necesitar un modelo para análisis.

Después de obtenido el modelo se procedió a calcular la sustentación del dron tanto con el material antigua que es EPO y el material nuevo que es resina poliéster reforzado con fibra de cabuya, para con esto comprender de mejor manera el funcionamiento del dron y obtener una comparación entre los dos materiales.

Una vez definida la solución se efectúan cálculos preliminares usando teoría de mecánica de materiales y posteriormente el Método de Elementos Finitos mediante el programa comercial SolidWorks®. En dicho programa se realizan las piezas con mayor complejidad y se determina zonas de contacto con esfuerzos, mediante el método de elementos finitos.

Terminado el diseño se elaboran los planos, que permitirán la compra de los materiales para imprimir el modelo en polvo cerámico y obtener los moldes y así continuar con el proceso de moldeo de pre - impregnados; después de obtener las piezas completas de la estructura se procede al ensamblaje tanto mecánico, como eléctrico de la misma ya que el sistema eléctrico que se usara es el mismo con el que se adquirió el dron.

Por último, se hicieron unas pruebas de vuelo haciendo uso del sistema de control que se adquirió con el dron escaneado.

## Resultados

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA:

En la tabla 3 se muestran las propiedades de la resina poliéster sintapol 2074, que es la que se usara en este diseño.

TABLA 3.  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA SINTAPOL 2074.

PROPIEDAD	VALOR
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,2
Módulo de elasticidad (MPa)	4780
Resistencia a la tracción (MPa)	25,8
Resistencia a la flexión (MPa)	79,22
Energía de impacto (J)	0,66
Resistencia al impacto (J/m)	70,82

### MEDIDAS DEL NUEVO DRON

las medidas expuestas aquí son medidas principales ya que son las necesarias para hacer diferentes cálculos aerodinámicos.

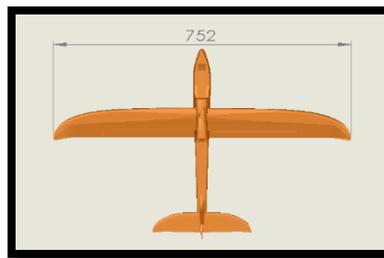


Figura 1. Vista superior del dron

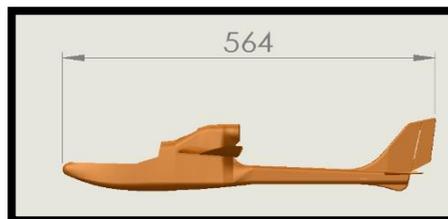


Figura 2. Vista lateral del dron

Estas medidas se obtuvieron después del proceso de escaneo y reconstrucción del dron adquirido, son las medidas que tendremos en el nuevo dron con el material compuesto.

### COMPARACIÓN ENTRE EL NUEVO MATERIAL Y EL ANTIGUO

Como se puede observar en la tabla 4 se muestran las propiedades mecánicas del material con el que se adquirió el dron y el material con el que se fabricara el nuevo dron.

TABLA 4.  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL ANTIGUO VS. EL NUEVO.

PROPIEDAD	EPO (Estados Unidos de América Patente n° 143,684, 1980)	RP + FCA (Guerreo et al. 2011)
Módulo elástico (MPa)	10,8	4962,94
Coefficiente de Poisson (Adimensional)	0,35	0,4
Módulo cortante (MPa)	4	17772,48
Densidad de masa (kg/m <sup>3</sup> )	950	1230
Límite de tracción (MPa)	0,6	56,61
Límite elástico (MPa)	0,6	56,61

Fuente: Herrera (2015).

Como se puede observar las propiedades mecánicas del material RP + FCA son más altas en todas las propiedades, su alto módulo de elasticidad es porque la deformación que nos va a permitir antes de llegar a su límite será mayor y en este caso que es la aplicación aeronáutica es una propiedad que necesariamente debe ser alta. Con relación a esto se puede decir que el material compuesto es mejor que el EPO, ahora bien, esto es cierto, pero más adelante se hará una comparativa de pesos para ver si el material compuesto no aumenta considerablemente el peso del dron.

#### **PIEZAS EN POLVO CERÁMICO**

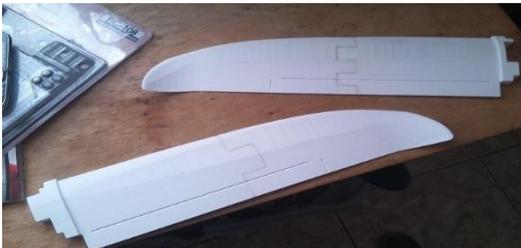


Figura 4. Alas en polvo cerámico.

Las alas mostradas en la figura 4 están impresas en polvo cerámico para con ellas poder obtener los moldes de caucho silicón.

#### **MOLDES EN CAUCHO SILICON**



Figura 5. Moldes en caucho silicón.

Con estos moldes podemos proceder a realizar el proceso de preimpregandnos de fibras.

#### **PIEZAS CON FIBRA DE CABUYA Y RESINA POLIESTER.**



Figura 6. Piezas en material compuesto

Al obtener las piezas con el material compuesto procedemos a ensamblar tanto mecánicamente como electrónicamente, haciendo uso del sistema de control del dron antiguo.

#### **DRON ENSAMBLADO**



Figura 7. Dron ensamblado con material compuesto

Ya obtenido el dron procedemos a realizar un análisis de comparación de peso resistencia de los dos drones, es decir del dron en EPO y el dron en material compuesto.

#### **COMPARACION PESO – RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

Para obtener esta relación se realizó una gráfica que muestra que ganamos o perdemos al utilizar un material compuesto que es más pesado, esto se podrá ver en la figura 8.



Figura 8. Comparación peso -resistencia.

Como se aprecia en la figura 8, el peso del material compuesto es más alto que el peso del material EPO, pero esto está siendo compensado por el hecho de que el material compuesto tiene una resistencia mayor al material EPO.

### ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El valor máximo del esfuerzo de Von Mises es de 4,85 MPa, está ubicado en la unión del ala como se muestra en la figura 9, donde se muestra que el valor del esfuerzo del material compuesto es mayor al del material EPO.

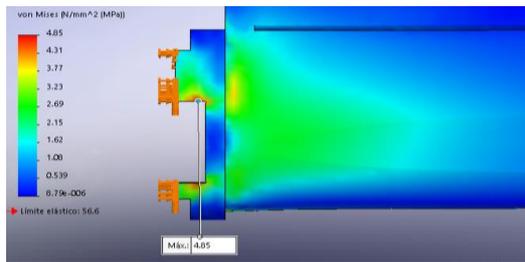


Figura 9. Von Mises.

El factor de seguridad toma en cuenta la resistencia del material usado por lo que se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,17 en el punto crítico de la unión del ala con el fuselaje como se menciona en la sección 2.8.1 y se observa en la figura 10.

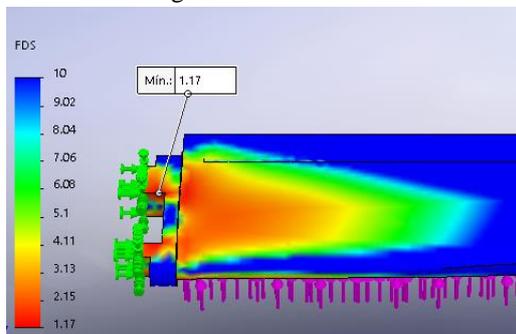


Figura 10. Factor de seguridad

### Conclusiones

1. Se determinó, a partir de la sustentación, el efecto de las fuerzas que actúan sobre la aeronave, obteniendo como punto crítico la junta entre el ala y el fuselaje del dron; que se verificó mediante cálculos y simulación.
2. A través de la aplicación de la casa de calidad se detectó que el material compuesto con fibra de cabuya y matriz resina poliéster elaborado con el método de pre-impregnados con configuración tipo tejido a 0 ° y 45 ° posee mejores propiedades físicas y mecánicas aptas para la construcción de estructuras.
3. El análisis de elementos finitos permitió obtener cuáles son los valores máximos de esfuerzo, desplazamiento, deformación y factor de seguridad, que permitieron constatar que el material compuesto de resina y cabuya es mejor que el material EPO, ya que el dron aumentó su peso, pero al mismo tiempo aumentó su resistencia.
4. Se obtuvo las curvas aerodinámicas del dron adquirido y se aplicó la ingeniería inversa para obtener el modelo geométrico de la nueva aeronave no tripulada sin modificar las curvas aerodinámicas, reconociendo un perfil alar RAF 6 y un tipo de ala elíptica.
5. Se manufactura la estructura mecánica del dron manteniendo las curvas aerodinámicas mediante el proceso de moldeo por pre-impregnado de fibra, logrando obtener piezas con una tolerancia promedio del  $\pm 0,99$  mm.

### Recomendaciones

1. Se recomienda la continuación de la investigación con la implementación de un control del avión con la mayoría de materiales ecuatorianos.
2. Se sugiere realizar diferentes ensayos de cada una de las piezas elaboradas para comprobar los límites de las mismas.
3. Se recomienda siempre seguir las indicaciones de mezclas de productos con sus catalizadores ya que si no se hace de la manera adecuada puede dañarse el proceso.

4. Se debe elaborar los moldes en un ambiente abierto donde las temperaturas no excedan los 18 °C, si excede esta temperatura el caucho silicón se endurecerá antes de tiempo.
5. Se recomienda utilizar un motor de mayor potencia para lograr un vuelo estable.

<http://mundodron.net/analisis-wltoys-f959-sky-king-en-espanol-un-buen-avion-rc-barato/>

El Diario, E. (2015, Marzo 03). *La Comisión de Tránsito usará drones*. Obtenido de eldiario.ec:  
<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/348378-la-comision-de-transito-usara-drones/>

## Referencias

- Airfoil Tools*. (2017). Obtenido de RAF 6 AIRFOIL:  
<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=raf6-il>
- Asensio, J., Perez, F., & Moran, P. (2008). *U.A.V. Beneficios y Límites*. I.E.S. Leonardo Da Vinci. Madrid - España: I.E.S. Leonardo Da Vinci.
- Cameron, B. (2005). CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO AEROESPACIAL. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*.
- Castaño, F. (2013). *Materiales Utilizados en la Industria Aeronáutica*. España: Fernando Castaño Membrives.
- Castro, N. J., Coronado, W., & Perez, L. (2013). *Diseño estructural del fuselaje, ala central, union de ala - fuselaje para un UAV*. Bogota D.C. - Colombia: Universidad de San Buenaventura.
- Chalaye, H. (2002, febrero). Los materiales compuestos - Dinamismo e innovación. (Sessi, Ed.) *Le 4 Pages des statistiques industrielles*, 158.
- Comercio, E. (2012, Noviembre 14). Ecuador invierte en producción propia de aviones no tripulados de bajo costo. *El Comercio*.
- Cruz, R. (2016, Julio 26). *Análisis WLToys F959 Sky King en español: Un buen Avion RC barato*. Obtenido de MUNDODRON: