

## **Avances del Proyecto “Tlapixki- Diseño de un UAS para Monitoreo y Vigilancia Volcánica”**

### **Progress of the Project "Tlapixki- Design of a UAS for Volcanic Monitoring and Surveillance"**

DOI: 10.46932/sfjdv2n5-125

Received in: Oct 1st, 2021

Accepted in: Dec 30th, 2021

#### **José Félix Vázquez Flores**

Doctor en Ciencias

ESIME U. P. Ticoman del Instituto Politécnico Nacional, México

Ticoman #600, Col. San José Ticoman, Alcaldía Gustavo A. Madero, CDMX C.P.: 07340

E-mail: bemol5808@gmail.com

#### **Tiburcio Fernández Roque**

Doctor en Ciencias

ESIME U. P. Ticoman del Instituto Politécnico Nacional, México

Ticoman #600, Col. San José Ticoman, Alcaldía Gustavo A. Madero, CDMX C.P.: 07340

E-mail: tfroque@yahoo.com.mx

#### **Eduardo Antonio Medina Bejarano**

Maestro en Ingeniería Civil

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de ESIA Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional

Av. Luis Enrique Erro S/N Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Alcaldía Gustavo A.

Madero, CDMX. C.P.: 07738

E-mail: medina\_bejarano@hotmail.com

### **RESUMEN**

México es un país con más de 2,000 volcanes en su territorio, que de acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se encuentran en actividad 12 volcanes, por lo que realizar el monitoreo volcánico es de suma importancia, especialmente cuando los volcanes se encuentran cercanos a las poblaciones. La utilización de un UAS (sistema aéreo no tripulado) evita exponer a personas en ésta difícil tarea, por lo que en la ESIME Ticoman del Instituto Politécnico Nacional se trabaja en el proyecto “Tlapixki” (Vigilante). El objetivo del proyecto consiste en “Diseñar y manufacturar un UAS con materiales compuestos con las características aerodinámicas y estructurales necesarias para volar a una altitud de 7,000 msnmm, transportando cámaras térmicas y UV, además de medidores de concentración de gases para el monitoreo y vigilancia del volcán Popocatepetl en México”.

**Palabras claves:** análisis estructural, método de los elementos finitos, fuselaje, alas, modos de vibración, sistema aéreo no tripulado.

### **ABSTRACT**

Mexico is a country with more than 2,000 volcanoes in its territory, which according to the National Center for Disaster Prevention (CENAPRED) are active 12 volcanoes, so performing volcanic monitoring is of is of great importance, especially when the volcanoes are close to the populations. The use of a UAS (unmanned aerial system) avoids exposing people to this difficult task, so the ESIME Ticoman of the

National Polytechnic Institute is working on the project "Tlapixki" (Vigilant). The objective of the project is to "Design and manufacture a UAS with composite materials with the aerodynamic and structural characteristics necessary to fly at an altitude of 7,000 meters above sea level, transporting thermal and UV cameras, as well as gas concentration meters for the monitoring and surveillance of the Popocatepetl volcano in Mexico."

**Keywords:** structural analysis, finite element method, fuselage, wings, vibration modes, unmanned aerial system.

## 1 IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

Hay alrededor de 3,000 volcanes en México y 12 se consideran activos; Bárcena, Ceboruco, Citlaltépetl, Colima, El Chichón, Everman, Nevado de Toluca, Parícutín, San Martín, Tacaná, Tres Vírgenes y el Popocatepetl [1], algunos de los cuales, se ubican en zonas densamente pobladas, por lo que su vigilancia y monitoreo representa una actividad de suma importancia para protección civil (figura 1). Las altitudes de estos volcanes varían desde los 300 hasta los casi 6,000 msnmm.

Figura 1.- Figura de la izquierda la República Mexicana; figura de la derecha poblaciones alrededor del volcán Popocatepetl, incluyendo la CDMX



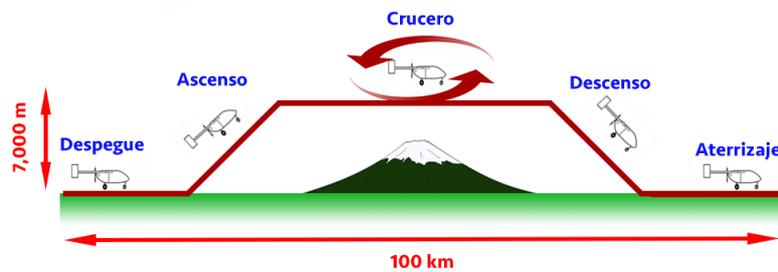
El monitoreo del Popocatepetl se realiza a través de personal, de una avioneta, o un helicóptero siendo este último es excesivamente costoso, exponiendo al personal asignado. Los vulcanólogos pueden predecir una erupción a través del análisis de los gases, por lo que el monitoreo consiste en la toma de gases, fotografía y video para su análisis. En años recientes, nuevas metodologías han sido empleadas en el estudio y monitoreo volcánico, demostrando la viabilidad del uso de aeronaves no tripuladas (UAV) en las mediciones de flujos de gases y toma de imágenes aéreas. Las ventajas del uso de un UAV para este fin son bajo costo, no expone al personal, dominio de la tecnología, independencia tecnológica, mayor alcance que un tetracóptero.

## 2 METODOLOGÍA

Primeramente, se hizo un análisis de la problemática, el volcán Popocatepetl, también llamado por los pobladores como "Don Goyo" tiene una Altitud de 5,500m, ubicado cerca de la Ciudad de México,

Cuernavaca, Puebla y Tlaxcala. Con lo anterior se pudo definir el perfil de la misión, el cual consiste en el despegue, ascenso sobre volar la boca del volcán, después el descenso y finalmente el aterrizaje. Por otro lado, el UAS tiene que despegar desde el sitio más cercano posible a Don Goyo, es decir, sobre la base del volcán cuyo diámetro es de 25 km [2] (figura 2).

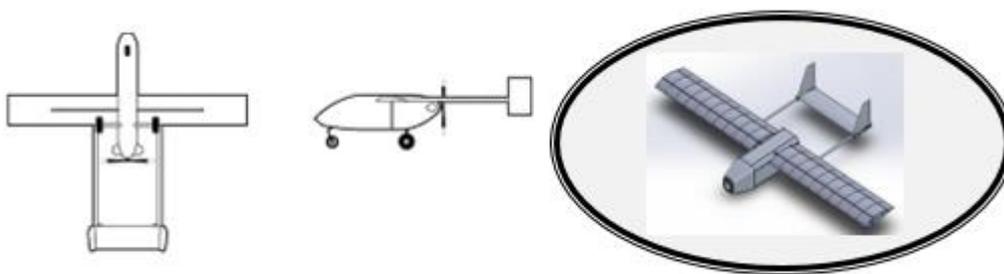
Figura 2.- Perfil de la misión



## 2.1 DISEÑO BASE

El diseño de la aeronave se realizó considerando varios aspectos, principalmente el de que la cámara fotográfica y video deben posicionarse al frente en donde no se tengan objetos que interfieran, como por ejemplo la hélice u otros objetos, esto llevó a poner en la parte trancera el motor y la hélice, además de un botalón con el empenaje. Después, se consideró el equipo y la instrumentación que debería de llevar para el vuelo automatizado y por el otro lado, el de monitoreo volcánico, lo cual conlleva a la configuración del fuselaje (figura 3).

Figura 3.- Diseño base del UAS Tlapixki

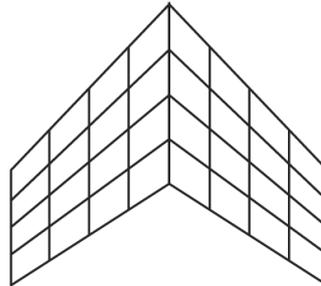


## 2.2 DISEÑO AERODINÁMICO

Con respecto al diseño aerodinámico se determinó el peso de despegue de la aeronave, la potencia del motor, las dimensiones del ala, la longitud del fuselaje, el empenaje horizontal, el empenaje vertical y se hizo un análisis comparativo de las características de perfiles aerodinámicos para la selección del perfil del avión. Por otro lado, se hizo un análisis para definir las velocidades de desplome, crucero y máxima. Se determinaron las cargas aerodinámicas que actuarán sobre la aeronave lo cual incluyó hacer el cálculo

de la fuerza de sustentación producida por el ala, a través del Método de Red de Vórtices (Vortex-Lattice Method) (figura 4), comparando los resultados obtenidos mediante el código de programación elaborado con los datos experimentales para alas rectangulares, obtenidos de publicaciones científicas [3].

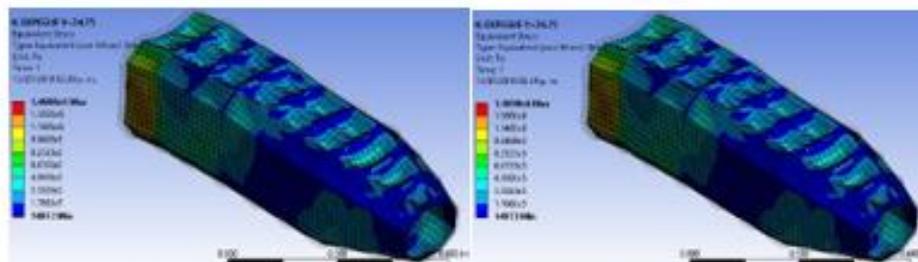
Figura 4.- Método de Red de Vórtices (Vortex-Lattice Method)



### 2.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

Fuselaje - Con respecto al diseño estructural se trabajaron diferentes aspectos, el análisis estructural estático del fuselaje en condición de despegue, con base en la reglamentación aérea y usando un paquete de elementos finitos [4], después de realizar el análisis estructural en el despegue, se obtuvieron los estados de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos del fuselaje. Se comparó el esfuerzo permisible con el esfuerzo máximo de Von Mises de 1.46MPa (figura 5), de la siguiente manera:

Figura 5.- Resultados del análisis de esfuerzos y deformaciones

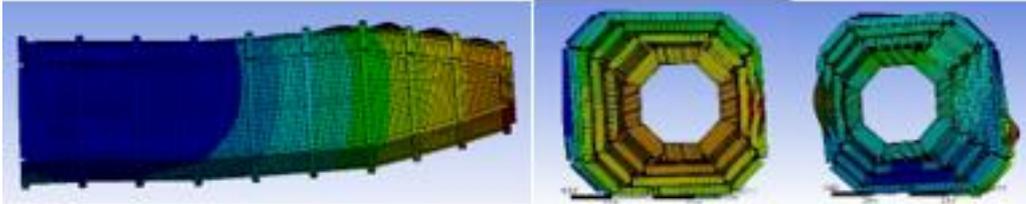


Se solicitaron 3 modos de vibración (figura 6) y cuyos resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1.- Frecuencias y Periodos Naturales de lo modos de vibración.

Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	Desplazamiento máximo (mm)
1	298.59	0.003349	15.3
2	310.45	0.003221	18.8
3	506.38	0.001974	29.9

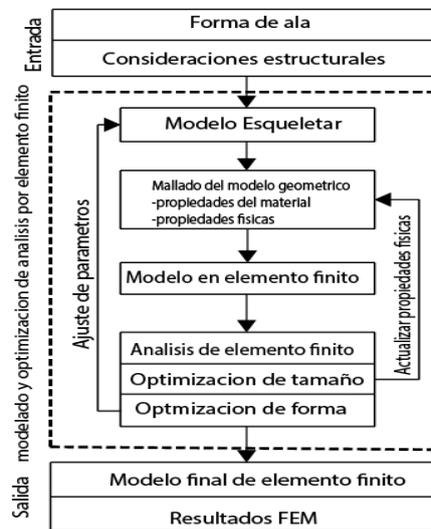
Figura 6.- 1er, 2º y 3er modo de vibración



### ALA

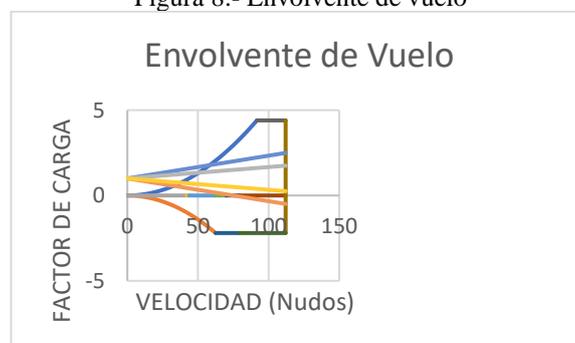
Para el ala se consideró la siguiente metodología como se muestra a continuación en el siguiente diagrama (figura 7) [5]:

Figura 7.- Metodología para el análisis estructural del ala



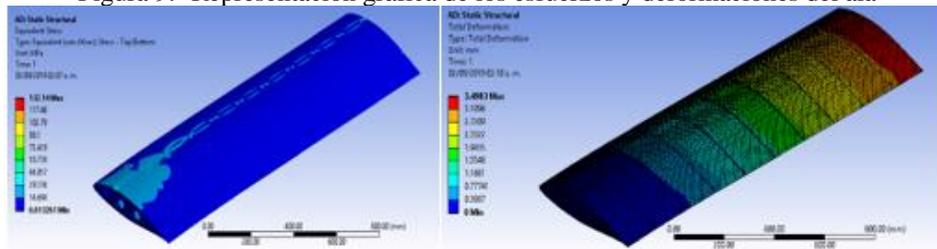
A partir de los cálculos aerodinámicos preliminares se procedió a construir la envolvente de vuelo, la cual es una representación gráfica de las velocidades características del avión (figura 8), en base a esta, se calcularon las fuerzas aerodinámicas que soportará el ala bajo diferentes condiciones de vuelo.

Figura 8.- Envlovente de vuelo



El siguiente paso fue generar el mallado del ala, aplicar las cargas, realizar el cálculo y finalmente la parte del post-proceso, obteniendo como resultados: El estado de esfuerzos nos muestra un esfuerzo máximo fue de 132.14 MPa (figura 9), siendo la zona más afectada la raíz del ala, comparando dicho esfuerzo con el esfuerzo con el esfuerzo de fluencia del material el cual es de 270 MPa, nos da como resultado un factor de seguridad de 2.19, cumpliendo con el factor de seguridad impuesto por el FAR 23.

Figura 9.- Representación gráfica de los esfuerzos y deformaciones del ala

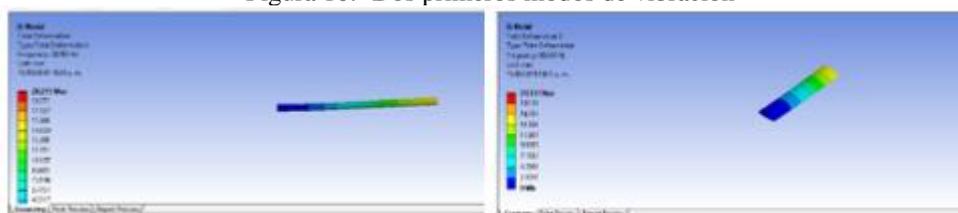


Con respecto al análisis modal se obtuvieron 5 modos de vibración y sus frecuencias naturales asociadas las cuales se muestran a continuación (tabla 2 y figura 10).

Tabla 2. Resultados del análisis modal

Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)
1	39.46	0.0253
2	117.27	0.0085
3	173.67	0.0058
4	231.91	0.0043
5	383.41	0.0026

Figura 10.- Dos primeros modos de vibración



## 2.4 ALETEO

El aleteo es un fenómeno que involucra una interacción poco deseada entre fuerzas aerodinámicas y fuerzas inerciales que actúan sobre la estructura de una aeronave, llevándola a un estado de inestabilidad y muchas veces de resonancia, cuando el aleteo se presenta es una condición catastrófica [6]. Se realizó el análisis de velocidad y frecuencia de aleteo, de las frecuencias naturales y modos de vibración para el ala de esta aeronave Tlapixki, estos modelos se analizaron con el modelo de aleteo clásico y el método de Rayleigh-Ritz para obtener los elementos de las matrices de rigidez y masa de la ecuación de valores propios para el análisis una viga en cantiliver (ver tabla 3) [7].

**Tabla 3.- Frecuencias naturales de vibración de Tlapixki obtenidas mediante distintos métodos**

<b>Frecuencias naturales</b>	Viga en cantiliver Rayleigh- Ritz	Viga en cantiliver ANSYS	Ala de Tlapixki ANSYS [2]
$\omega_1$	12.4578 Hz	12.01 Hz	30.982 Hz
$\omega_2$	78.4128 Hz	75.027 Hz	80.244 Hz
$\omega_3$	212.0177 Hz	209.01 Hz	128.77 Hz

### 3 MATERIALES COMPUESTOS

En algunas partes de este trabajo se ha considerado al aluminio 2024-T3, sin embargo, el material que se pretende utilizar un material compuesto tanto para el fuselaje como para el ala, por lo que se trabajó en la caracterización de las propiedades mecánicas de un material compuesto polimérico (módulo de Young, módulo de cortante y relación de Poisson). Estas propiedades serán aplicadas al análisis estructural del fuselaje como del ala del avión Tlapixki, este material se fabricó por el método de moldeo en bolsa de vacío, las propiedades mecánicas se determinaron de manera experimental aplicando un ensayo de tensión de 7 probetas en base a los procedimientos señalados en las normas ASTM D3039 y ASTM D3518, dando como resultado un módulo de Young igual a 16 GPa, un módulo de cortante de 3.86 GPa y una relación de Poisson de 0.12 y también se determinaron de manera analítica aplicando la ley de las mezclas, el ensayo hidrodinámico y de calcinación con base en las normas ASTM D3800 y ASTM D2584 obteniendo un módulo de Young de 15.55 GPa, un módulo de cortante de 3.17 GPa y una relación de Poisson de 0.2, además de obtener las fracciones volumétricas, siendo la de la matriz igual al 62.24%, la de la fibra igual al 32.29% y la de la porosidad de 5.47%, incluyendo la determinación de la densidad igual a 1.63 g/cm<sup>3</sup> [8].

### 4 CONCLUSIONES

Se observó que el método de red de vórtices es un método bastante preciso hasta cierto ángulo de ataque, es necesario tener esto presente al momento de utilizar los resultados, puesto que al ser un método lineal no es posible representar la forma y el ángulo en que el ala o el avión se desplomará.

El análisis aerodinámico muestra que una aeronave con las dimensiones determinadas tendrá la capacidad de volar a la altitud requerida de 7,000 m cumpliendo su objetivo. En el caso del análisis estructural de acuerdo con los resultados ha demostrado que es posible optimizar la estructura tanto del fuselaje como del ala.

En el caso del análisis de aleteo, también se pudo observar que no tenemos problemas de que se presente este fenómeno, sin embargo, aún falta hacer el análisis de aleteo del empenaje tanto horizontal como vertical, otro aspecto que también falta considerar es el análisis en el tren de aterrizaje y por último se requiere colocar una coraza que proteja al UAS del calor de la boca del volcán.

## REFERENCIAS

- [1] CENAPRED. Recuperado de [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx). Accesado en noviembre de 2015.
- [2] diámetro de la base del volcan popocatépetl – Bing
- [3] Almaraz, E. (2016). *Diseño aerodinámico de un sistema aéreo no tripulado (UAS) para monitoreo volcánico en México*. (Tesis de grado) SEPI ESIME Zacatenco. Ciudad de México, México.
- [4] Rosales, M. A. Vázquez, J.F., Correa, J.A. (oct/dic 2021). Análisis Estructural del Fuselaje de un Sistema Aéreo No Tripulado de Monitoreo Volcánico. *South Florida Journal of Development*.
- [5] Medina, E. A. Vázquez, J.F., Rosales, M.A. (oct/dic 2021). Análisis estructural estático y modal del ala del Sistema Aéreo no tripulado “Tlapixki” para monitoreo volcánico en México. *South Florida Journal of Development*.
- [6] Algo sobre FLUTTER o ALETEO en aviación – YouTube
- [7] Rodríguez, Luis F. (2020). *Predicción del aleteo de la UAS Tlapixki mediante modelo clásico y análisis de su respuesta vibratoria*. (Tesis) ESIME Ticoman. Ciudad de México, México.
- [8] Bravo, R. (2020). *Caracterización de las Propiedades Mecánicas de un Material Compuesto Polimérico para el Análisis Estructural del Fuselaje de Un Sistema Aéreo No Tripulado de Monitoreo Volcánico en México*. (Tesis de grado). SEPI ESIME Zacatenco. Ciudad de México, México.