



6° Congreso Argentino de
Ingeniería Aeronáutica
VIRTUAL

UTNHAEDO
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL HAEDO

17, 18 y 19 de Noviembre del 2021

Estudio experimental del efecto de generadores de vórtices móviles como sistema de control pasivo y activo de flujo

Capittini⁽¹⁾, J. Marañón Di Leo^(1,2) & J. S. Delnero^(1,2)

⁽¹⁾ Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental. UIDET-LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET, Argentina

Autor principal: gcapittini@hotmail.com

Palabras claves: aerodinámica, generadores de vórtices, control de flujo

El creciente interés en el uso de vehículos aéreos no tripulados en sus diferentes configuraciones ha generado una importante demanda en el sector aeroespacial. Este tipo de vehículo realiza una gran variedad de tareas como son la vigilancia del territorio, monitoreo, observación etc. De acuerdo con sus requerimientos, son de diversos tamaños y prestaciones, desde pequeños drones miniaturas hasta vehículos no tripulados de carga o uso militar de altas prestaciones. Se los suele clasificar de acuerdo con la capacidad de carga de instrumental y de sus capacidades operacionales como ser alturas de vuelo, velocidades, etc. En la actualidad, con los avances en nuevos materiales, tecnologías de la comunicación y la miniaturización de dispositivos, se ha comenzado a investigar fuertemente la aplicabilidad de pequeños aparatos de vuelo no tripulados con el objetivo de realizar variadas tareas, en reemplazo de aeronaves de mayor costo de operación y con las mismas capacidades de funcionamiento.

El estudio y análisis de la eficiencia de estos sistemas, así como también otros de características similares, en lo que respecta a la aerodinámica, como son las palas de aerogeneradores lleva a buscar diferentes soluciones desde el punto de vista fluidodinámico que sea capaz de incrementar sus prestaciones. El hecho de que estos dispositivos operen dentro de la capa límite atmosférica significa que se verán sometidos a situaciones operacionales dependientes de distintos factores climáticos y naturales, tales como temperatura, humedad, velocidad de viento, etc., estas variaciones en las condiciones se ven reflejadas en cambios sobre la intensidad de turbulencia incidente en el sistema, el número de Reynolds y las escalas vorticosas incidentes. Por lo tanto, para asegurar un correcto funcionamiento de nuestro sistema y el control de estos, se debe caracterizar el comportamiento y la dependencia que presentan ante estas variables. Una manera de lograrlo es mediante la utilización de sistemas de control de flujo, ya sean estos pasivos o activos. Uno de estos dispositivos entre muchos otros son los denominados generadores de vórtices (VG) (Figura 1)

Los generadores de vórtices han sido ampliamente estudiados, ya que son la primera opción para controlar un desprendimiento de capa límite mediante un sistema de control ^[1]. Ya sea en perfiles aerodinámicos ^[2] ^[7]; como en palas de aerogeneradores ^[3], en fuselajes ^[4], o en difusores, o en flujos en alta velocidad ^[5]. Así como también, son de gran importancia a la hora de diseñar sistemas control de flujo en aplicaciones de transferencia de calor ^[2]. Existe una amplia gama de generadores de vórtices, en general se dividen según su geometría en dos categorías. La primera denominada “Winglets”, consisten en un ala de muy baja

relación de cuerda montada de manera perpendicular la superficie del sistema a controlar. La segunda consiste también en un ala de muy baja relación de cuerda pero que posee un cierto ángulo entre su superficie y la del sistema (ver Figura 2).



Figura 1 Ejemplo de aplicación de generadores de vórtices

Es de prever que el comportamiento de estos dispositivos esté relacionado no solo a las condiciones del flujo incidente sino también a las características geométricas del mismo, entre las cuales se puede destacar la superficie de este, la orientación frente al flujo incidente y a la superficie en la cual se encuentra montado, el perfil que posee, y la altura máxima a la cual se encuentra. Esta última característica genera una nueva distinción entre los dispositivos, que los divide en los que operan íntegramente dentro de la capa límite y dispositivos que operan en el flujo desarrollado. Estos dispositivos se encuentran montados (cuando están en un perfil aerodinámico) sobre el extradós (parte superior del perfil) cercanos al borde de ataque (parte delantera del perfil), en el caso de alas, y generan vórtices en la zona donde el flujo posee mayor cantidad de movimiento, cambiando la configuración de flujo y energizando la zona de pérdida para mantener así adherida a la superficie la capa límite. El ángulo de ataque de los generadores se muestra como α en la Figura 2. De acuerdo con dicho ángulo se generarán los vórtices aguas abajo. Por tal razón es importante determinar la posición en la que se estudian dichos VG.

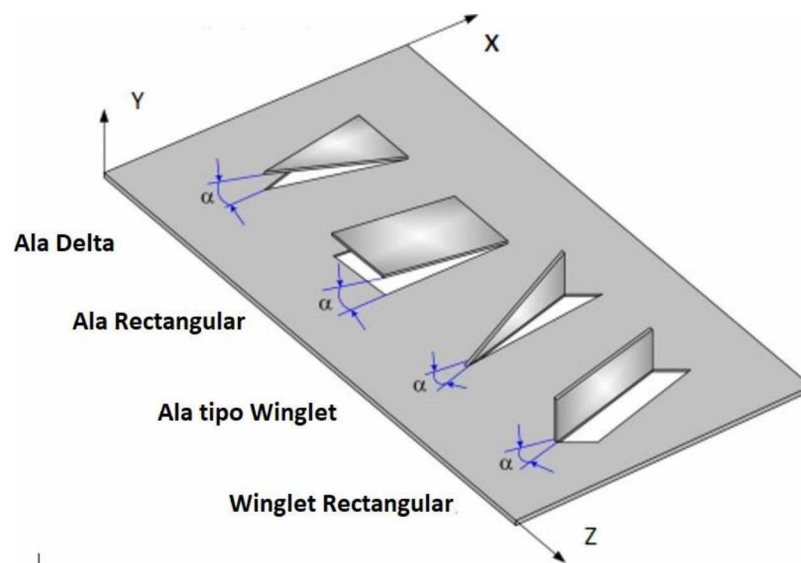


Figura 2 Tipos de generadores de vórtices

En la Figura 3 podemos ver un ejemplo típico de cómo funcionan los generadores de vórtices sobre el extradós de un perfil en el caso que este entre en pérdida desde el borde de fuga. Al energizar la capa límite, esta se hace más resistente a los gradientes adversos de presiones, logrando repegar el flujo y evitando como se muestra en este caso, que se produzca la pérdida de sustentación. También podría utilizarse para forzar

una transición o energizar la capa límite en una sección específica del ala o de la pala, en el caso de aerogeneradores.



Figura 3 Efecto de los generadores de vórtices

Al realizar el diseño o estudio de estos sistemas, debe tenerse muy en cuenta la separación entre los mismos ya que vórtices que roten en diferentes direcciones cancelarían los efectos deseados. La configuración de los VG suele estar asociada a un aumento en la resistencia parasita (toda aquella resistencia que no deviene de la generación de sustentación, es decir resistencias de forma y de fricción), por lo cual es recomendable un sistema que permita retraer los dispositivos cuando no es necesario su uso. Esta resistencia asociada también está influenciada en gran medida a la característica del flujo incidente, o sea a la turbulencia, que se ve descrita por las escalas temporales y espaciales del flujo. Estas razones llevan a que no solo se deba estudiar cual es el efecto de los generadores de vórtices sobre el sistema sino también caracterizar los mismos para determinar cuál es el impacto local que producen y de esta manera contar con más información para analizarlos y aplicarlos. Por lo antes expuesto nos proponemos analizar un tipo de generador de vórtices (VG) de manera experimental y utilizarlo como sistema pasivo y activo de control de flujo.

Metodología

Nos proponemos como objetivo general el estudio y caracterización de un generador de vórtices y el impacto que tiene este sobre un perfil aerodinámico. Como objetivos específicos se estudió el comportamiento fluidodinámico de estos dispositivos de manera de entender su mecanismo de funcionamiento, la interacción de los vórtices generados sobre la capa límite y cuál es el efecto de estos dispositivos como elementos pasivos y activos de control de flujo sobre las cargas resultantes. Se realizaron los ensayos para dos configuraciones de flujo turbulento diferentes^[9].

Se seleccionó el VG denominado delta wing. Se construyeron y montaron sobre una placa plana para realizar su caracterización en túnel de viento. Este proceso consiste en medir mediante sensores de velocidad de dos componentes las velocidades fluctuantes en la estela del generador, de manera de cuantificar como es el flujo para diferentes velocidades, ángulos del generador de vórtice, turbulencia incidente y ángulo de ataque de la superficie que los contiene. Para el estudio de control pasivo y activo de flujo se diseñó y construyó un sistema electromecánico capaz de mover el VG a diferentes frecuencias. Dicho dispositivo fue montado sobre un perfil aerodinámico FX 63137 diseñado y construido para tal fin. Este perfil está vinculado mediante una balanza aerodinámica al túnel de viento de manera tal de obtener las fuerzas de sustentación y resistencia para los diferentes casos estudiados. También se utilizó un modelo del mismo perfil dotado de tomas de presión estáticas a lo largo de la cuerda del perfil. (Figura 4).

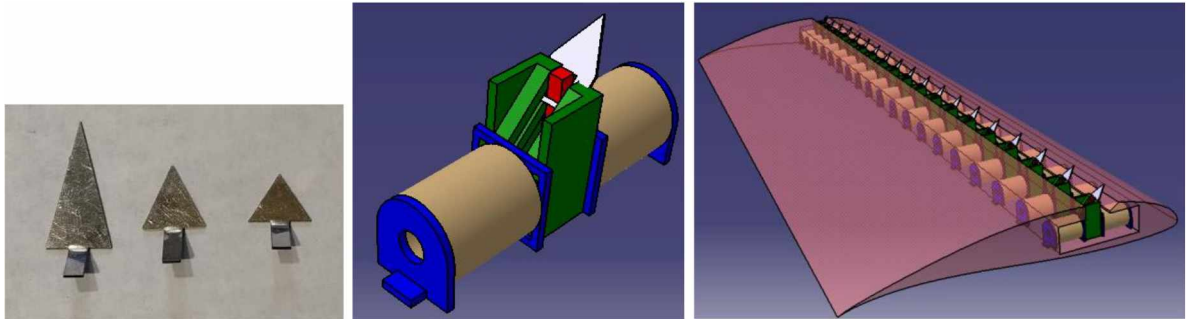


Figura 4 GV -Dispositivo electromecánico de accionamiento y montaje sobre el perfil

Se realizaron diferentes ensayos. Para la caracterización se hicieron ensayos de visualización y anemométricos mediante sensores de dos componentes (Figura 5). Se realizaron, también, ensayos de presiones, adquiriendo las mismas en tomas a lo largo de la cuerda del perfil en zonas adecuadas de acuerdo con la posición de los VG mediante un scanner de presiones. También se realizaron ensayos de carga con balanza aerodinámica para determinar en forma directa las cargas actuantes en esos sistemas. Se procesaron los datos y se realizaron los análisis correspondientes.

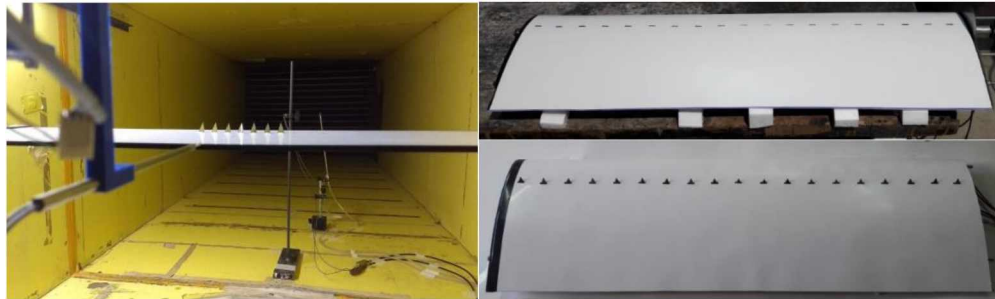


Figura 5 Caracterización en túnel – Modelo de ala con VGs

Desarrollo

En base a los objetivos y a la metodología experimental propuesta se realizaron diferentes ensayos, los cuales se describen a continuación. Para la caracterización de la estela de los VG, se analizan las distintas configuraciones en tres disposiciones distintas. El primer arreglo, A1, es un VG situado en el origen de coordenadas, el segundo A2, son siete VGs con una separación de 2 cm entre sí, mientras el tercer arreglo A3, son nuevamente siete VGs pero con una separación de 4 cm entre sí. Los generadores tienen las siguientes características, cuerda: 0,75 cm (VG1), 1 cm (VG2) y 2 cm (VG3) y envergadura: 1 cm. En la Figura 6 puede verse el montaje de los modelos en túnel de viento. Los mismos se ubican entre paneles que aseguren la bidimensionalidad del flujo.



Figura 6 – Modelo de ensayo en túnel de viento

De acuerdo con lo antes mencionado, se logró determinar el campo de flujo en la estela de los generadores de vórtices de distintas características. El campo de velocidades fue sentido en una grilla de medición. Las mediciones obtenidas posibilitaron la cuantificación de la energización de las capas de flujo cercanas a la superficie, como así también, la determinación de las estructuras y turbulencia producida por los distintos generadores y sus configuraciones en arreglos. En la Figura 7 puede observarse uno de los campos de flujo determinados. También, como parte de la caracterización del efecto de los generadores de vórtices, se realizaron ensayos de visualización con catavientos sobre el ala (Figura 8).

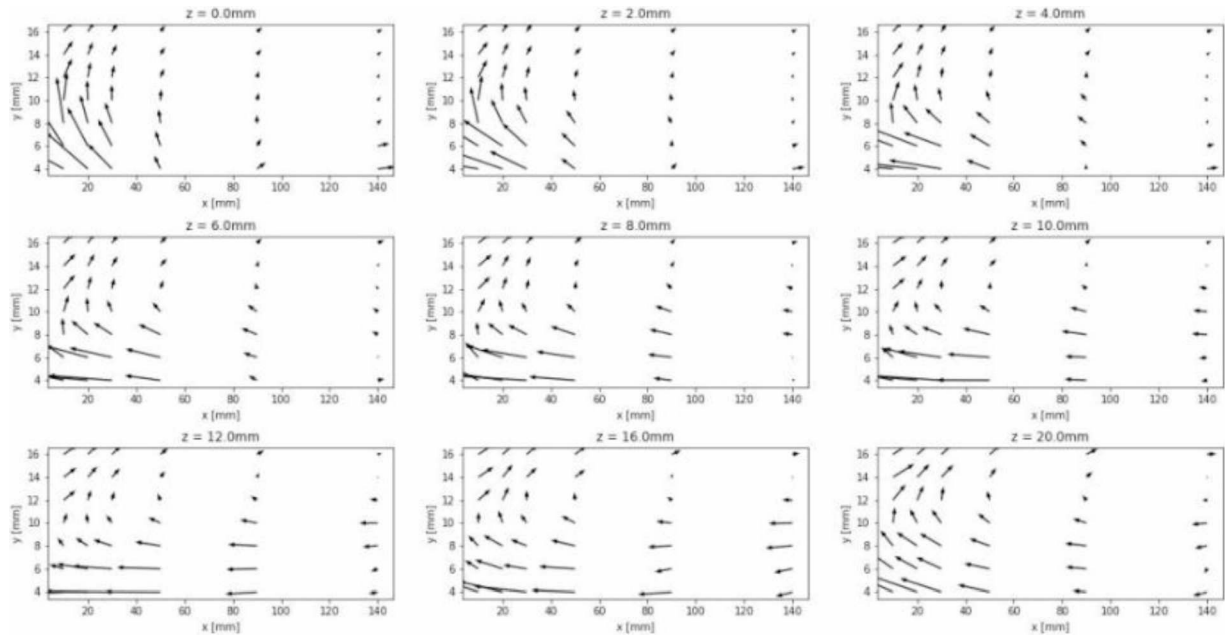


Figura 7 Velocidades en la estela del generador de vórtices

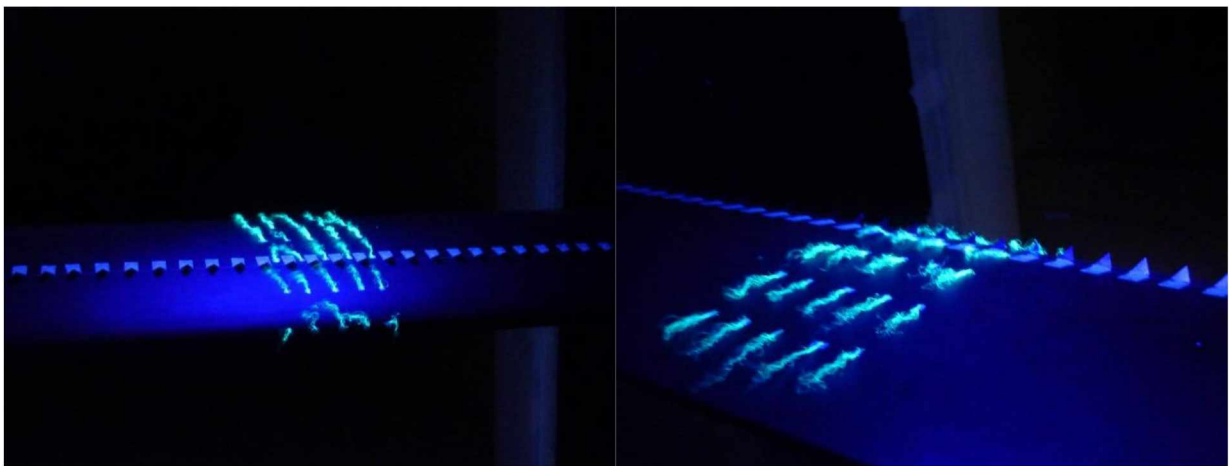


Figura 8 Ensayos de visualización

Los ensayos de adquisición de presiones se realizaron montando el ala como se mostró anteriormente. Se adquirieron los datos a una frecuencia de 500 Hz durante 1 minuto, y luego se procesaron dichas señales. De los ensayos de presiones para los sistemas de control estático mediante la técnica de descomposición de valores singulares, se comprobó una reorganización de los modos energéticos del campo. Mediante este análisis se observó una re-energización de los modos predominantes (asociados a modos con una estructura

definida) al observar el módulo de los valores singulares, y una reducción en la energía de los modos altos (asociados a ruidos o en este caso a efectos aleatorios sin estructuras definidas presentes en la turbulencia), esto para diferentes ángulos de ataque (Figura 9). No solo se percibió un cambio en la energía, sino una modificación del modo asociado a ella, cuantificable mediante el cambio del vector modal asociado (Figura 9). Esto sugiere un reacondicionamiento energético favorable introducido por los VGs, que promovería al control del desprendimiento de la capa límite. Las turbulencias denominadas 1 y 2 están caracterizadas de manera tal que tienen una intensidad de turbulencia muy parecida, del orden del 1,6 al 2%, pero tienen escalas espaciales diferentes, una del orden de 50 mm y otra de 25 mm.

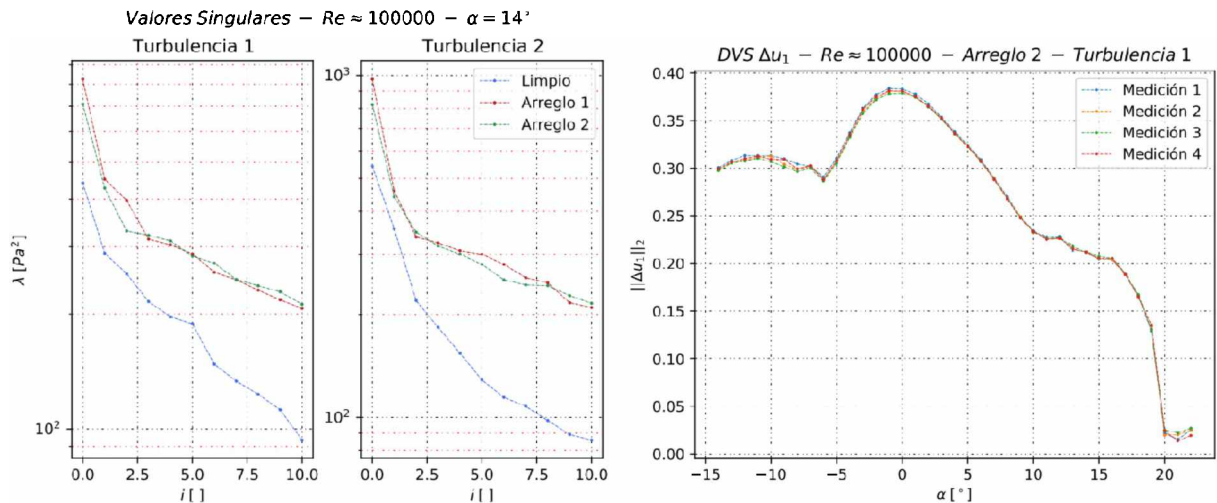


Figura 9 Valores singulares y Vectores modales

Mediante los ensayos anemométricos sobre la estela del perfil, dotado del sistema de control pulsante, se comprobó la factibilidad de perturbar el campo de flujo aguas abajo del perfil, mediante un sistema de control pulsante al cuarto de cuerda. La presencia de componentes armónicas en el campo de velocidad de la estela que muestran las PSD (power spectral density), confirma la presencia de estructuras definidas sobre el extradós del perfil; la falta de estos picos por debajo del cero en dicha PSD justifica esta afirmación (Figura 10).

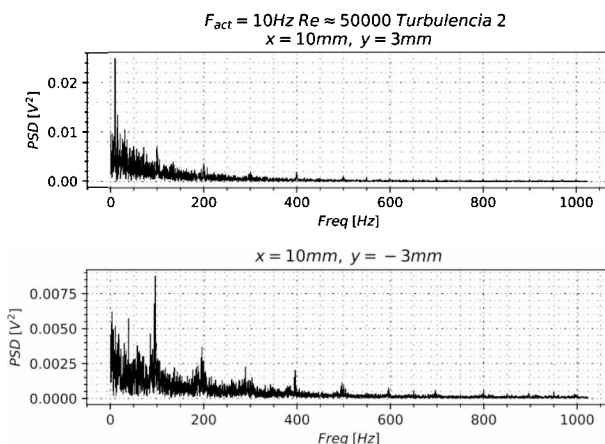


Figura 10 – PSD- GV Dinámicos

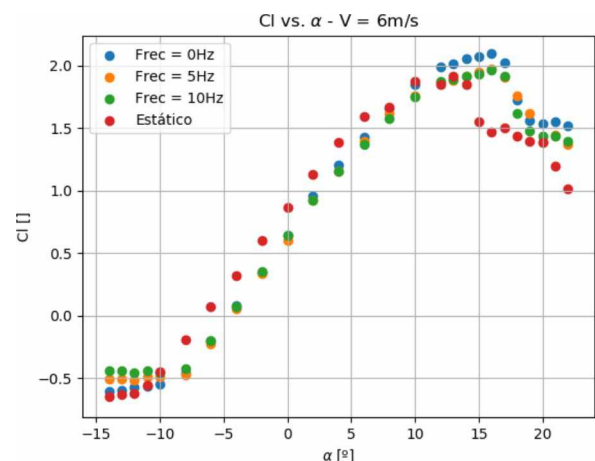


Figura 11- Cl vs alfa (GV Dinámicos)

Este fenómeno resulta de gran importancia, ya que abre la posibilidad a la utilización de controles dinámicos situados en la parte delantera de un ala o perfil aerodinámico, donde las características geométricas son

favorables (el mayor volumen al cuarto de cuerda en el interior del perfil posibilita el uso de mecanismos más complejos y que requieren de mayor espacio), logrando actuar sobre la parte posterior del mismo donde los desprendimientos de capa límite son más comunes. En la Figura 11 se pueden observar los resultados preliminares obtenidos a partir de los ensayos de cargas sobre el modelo.

Conclusiones

De acuerdo con todos los ensayos realizados y al análisis de la información procesada hasta el momento se pudo visualizar el efecto que generan, aguas abajo, los generadores de vórtices sobre la configuración general del flujo sobre el perfil. Se realizaron los ensayos de caracterización de vórtices utilizando diferentes ángulos de incidencia y diferentes disposiciones (arreglos), se pudo observar cómo estos dispositivos modifican la estructura fluidodinámica en las cercanías del perfil aerodinámico. Se diseñó y construyó el sistema de vórtices móviles junto con el sistema que los acciona y los controla, y se pudieron montar sobre un modelo de perfil FX63-135. Se cuantificó como es la estructura de vórtices en la estela de los VG en condiciones estáticas y dinámicas, para diferentes frecuencias y para dos diferentes estructuras turbulentas incidentes. Con la utilización del modelo dotado de tomas de presión en el intradós y extradós, se analizaron los valores de presiones en condiciones estáticas y con el uso de diferentes herramientas se pudo observar la energía que hay en juego en las diferentes condiciones, y que permitiría lograr el control del flujo sobre el perfil o ala. También se observan cambios en las cargas obtenidas mediante la utilización de balanzas aerodinámicas.

Referencias

- [1] Gad-el-Hak, M. (2000). Flow control: Passive, Active and Reactive Flow Management. Cambridge Univ. Press. ISBN 0 521 77006 8.
- [2] Nickerson, J.D. (1986) "A Study of Vortex Generators at Low Reynolds Numbers" AIAA Paper No. 86-0155, New York.
- [3] Linyue Gao, Hui Zhang, Yongqian Liu, Shuang Han (2015), "Effects of vortex generators on a blunt trailing-edge airfoil for wind turbines", Renewable Energy, Volume 76, Pages 303-311
- [4] Calarese, W., Crisler, W.P., and Gustafson, G.L. (1985) "Afterbody Drag Reduction by Vortex Generators," AIAA Paper No. 85-0354, New York.
- [5] Frank K. Lu, Qin Li, Chaoqun Liu (2012), "Microvortex generators in high-speed flow", Progress in Aerospace Sciences, Volume 53, Pages 30-45
- [6] Seshagiri, A., Cooper, E., and Traub, L. W. Effects of Vortex Generators on an Airfoil at Low Reynolds Numbers, Journal of Aircraft Vol. 46, No. 1, 2009.
- [7] Bragg, M.B., and Gregorek, G.M. (1987) "Experimental Study of Airfoil Performance with Vortex Generators" J. Aircraft 24, pp. 305–309.
- [8] Pankaj Saha, Gautam Biswas, Subrata Sarkar (2014), "Comparison of winglet-type vortex generators periodically deployed in a plate-fin heat exchanger – A synergy based analysis" International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 74, Pages 292-305.
- [9] Aramburu Orihuela, A., Morales J. I., Algozino, S., Marañón Di Leo, J. (2016). Influencia de la turbulencia en las características aerodinámicas de perfiles de bajo Reynolds. Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica.