

## CONTROL ACTIVO DE FLUJO SOBRE PERFILES AERODINAMICOS MEDIANTE GENERADORES DE VORTICES

Capittini, Guillermo; Marañón Di Leo, Julio; Delnero, Juan S. & Donati Javier

Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia: Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental. UIDET-LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 116 s/n entre 47 y 48, 1900, La Plata, Argentina.

\*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET. Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA, Argentina. delnero@ing.unlp.edu.ar

**Palabras claves:** Aerodinámica, Generadores de vórtices, Control de flujo, Turbulencia

### INTRODUCCIÓN

La utilización de vehículos aéreos no tripulados es cada vez más importante y genera una gran demanda en el sector aeroespacial. Este tipo de vehículo comprende una gran variedad de tareas como son la vigilancia del territorio, monitoreo, observación etc. Estos vehículos, de acuerdo con sus requerimientos, son de diversos tamaños y 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 al funcionamiento 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 los mismos, 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 – Generadores de vórtices en palas y aeronaves

Estos dispositivos 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]; como en palas de aerogeneradores [3], en fuselajes [4], o en difusores, o en flujos en alta velocidad [5]. Además de su aplicación en control de flujo, estos dispositivos son de gran importancia a la hora de diseñar sistemas de transferencia de calor. 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).

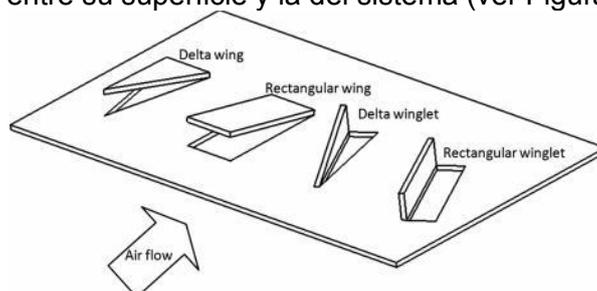


Figura 2 Ejemplos de Generadores de Vórtices.

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) 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 a la capa límite, se muestra una ilustración del concepto en la Figura 2.

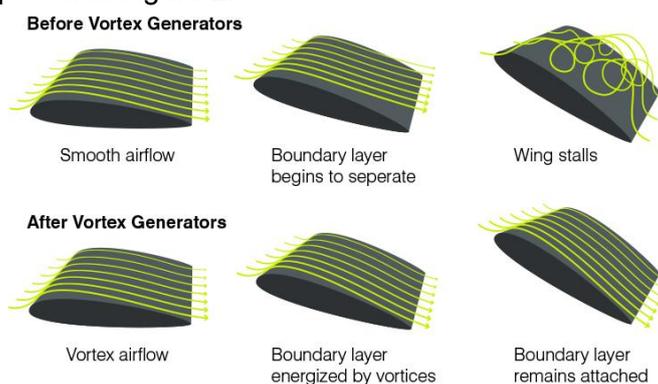


Figura 3 Esquematización del Efecto de Generadores de Vórtices sobre un modelo de ala.

Es de crucial importancia 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 cual 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.

## 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 estudiará 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 elemento pasivos y activos de control de flujo sobre las cargas resultantes.

Se selecciono el VG denominado delta wing. Se construyeron y montaron sobre una placa plana de manera de poder realizar su caracterización en túnel de viento. Esto consiste en medir mediante sensores de velocidad de dos componentes las velocidades 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 construyo 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 esta 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 (longitud del perfil).

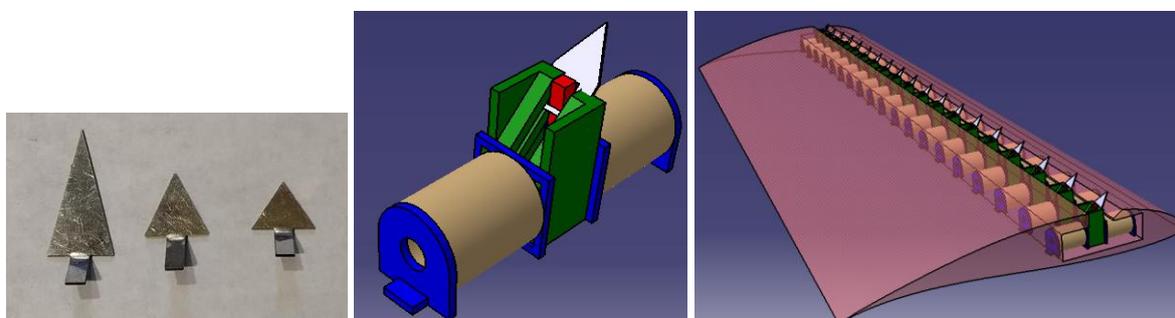


Figura 4 GV -Dispositivo electromecánico de accionamiento y montaje sobre el perfil



Figura 5 Caracterización en túnel – Modelo de ala con VGs

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Para la caracterización de la estela de los VGs, 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.

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.

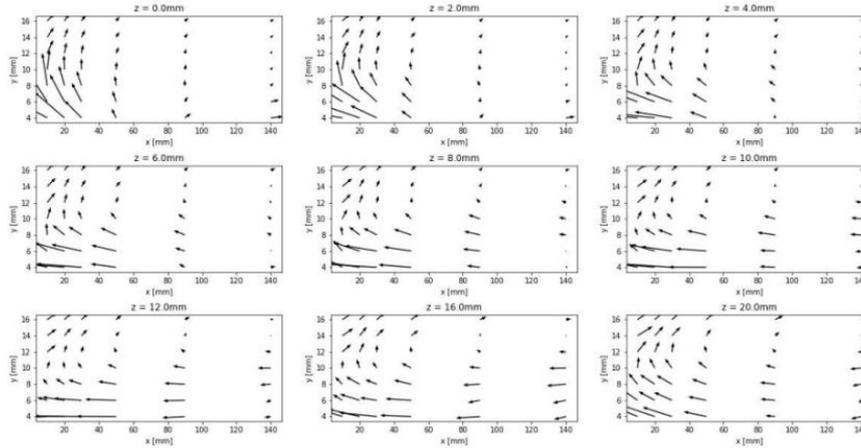


Fig. 49: Campo de velocidad por efecto de VGs en plano XY, V6\_VG2\_A1

Figura 6 Velocidades en la estela del generador de vórtices

De los ensayos de presiones para los sistemas de control estáticos 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), para diferentes ángulos de ataque (Figura 7). 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 8). Lo que sugiere un reacondicionamiento energético favorable introducido por los VGs, que promovería al control del desprendimiento de la capa límite.

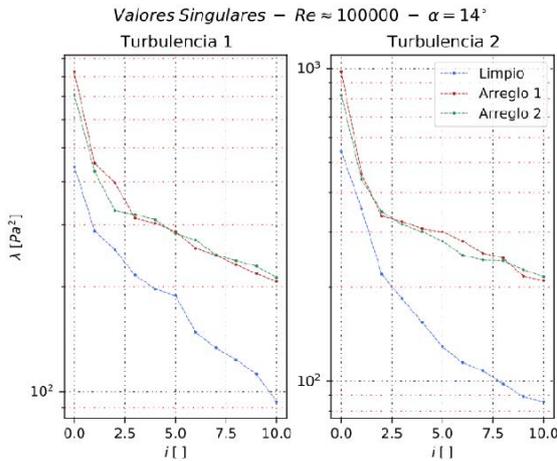


Figura 7- Valores singulares

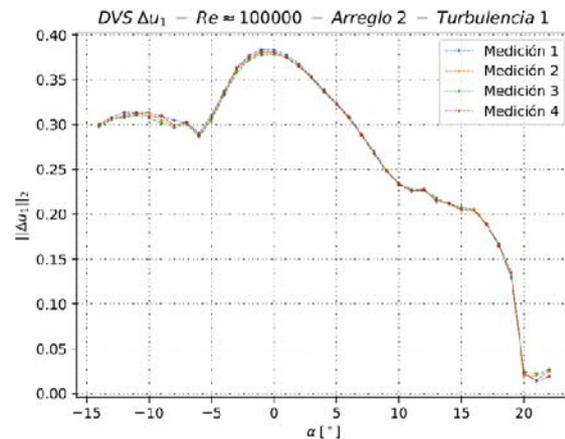


Figura 8 – Vectores modales

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, 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 9). 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 10 se pueden observar los resultados preliminares obtenidos a partir de los ensayos de cargas sobre el modelo.

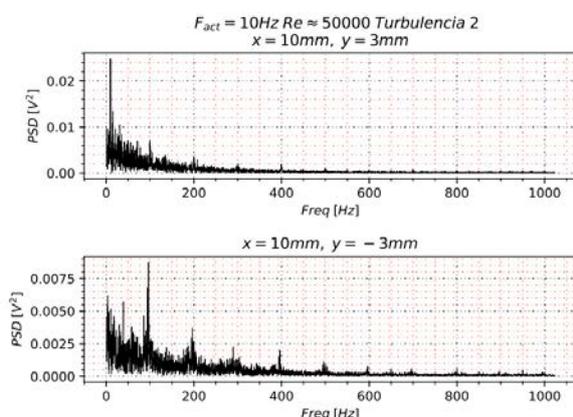


Figura 9 – PSD- GV Dinámicos

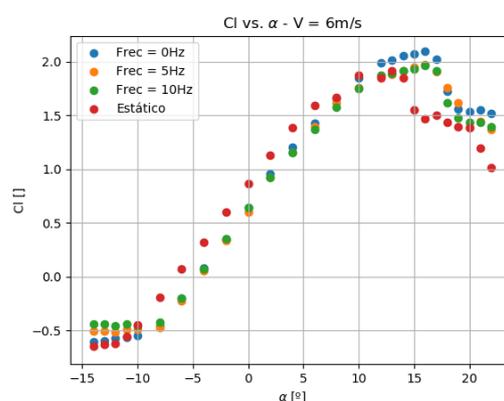


Figura 10- Cl vs alfa (GV Dinámicos)

## CONCLUSIONES

De acuerdo con todos los ensayos realizados y al análisis de la información procesada hasta el momento se puede observar como estos dispositivos modifican la estructura fluidodinámica en las cercanías del perfil aerodinámico. Se cuantificó como es la estructura de vórtices en la estela de los VG en condiciones estáticas y dinámicas. Se analizaron los valores de presiones en condiciones estáticas y con el uso de diferentes herramientas se puede 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.

## Bibliografía

- [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.