ANALISIS DEL PATRON DE FLUJO DESPRENDIDO EN LA ESTELA DEL EXTRADOS DE UN PERFIL AERODINAMICO CON SISTEMA DE CONTROL ACTIVO DE FLUJO

Capittini, Guillermo M.[a,b], Marañón Di Leo, Julio[a,b], Delnero Juan S.[a,b]

[a]UIDET – LaCLyFA - Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina.
[b]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
delnero@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: Perfil aerodinámico, Bajo Reynolds, Control de flujo,Turbulencia.

Introducción

El estudio del comportamiento de un fluido a bajo número de Reynolds (20.000 a 200.000) resulta una necesidad fundamental en el diseño de vehículos que se encuentran sumergidos en él. Tanto vehículos aéreos no tripulados, UAV's por sus siglas en inglés (UnmannedAerialVehicle), o micro vehículos aéreos (MAV) [1], se ven sometidos a estas condiciones de funcionamiento. Un cambio en el ángulo de atraque de los mismos se refleja en un cambio en la circulación del perfil, el mismo puede deberse tanto a una maniobra de control como a un cambio en el flujo incidente. Por esta razón el comportamiento del vehículo se ve afectado por la turbulencia presente en el flujo incidente, la misma puede generar desprendimientos locales en el ala que llevan a perdidas parciales o totales de la sustentación [2] [3].

Para números de Reynoldspor debajo de$5x10^5$, considerados como bajos números de Reynolds; bajo ciertas condiciones de separación, el flujo se desprende pudiendo o no readherirseconformando unaburbujade recirculaciónen el extradósdela superficie de sustentación. Esto claro dependiendo de la capa límite y condiciones del flujo locales. Dichaburbujapuede sercorta o larga,dependiendo de lasperturbacionespresentes enel punto de separaciónyel número de Reynolds local basado enel espesorde la capa límitey en la velocidad local, provocando estos efectosen la circulación y por ende en la sustentación del perfil. [4] [5].

Para la completa comprensión de este fenómeno se estudia con detenimiento la estela cercana de un perfil sometido a estas condiciones de flujo, este estudio nos muestra la configuración que adopta el flujo en dichas condiciones como también los mecanismos de desprendimiento de vórtices para las mismas, estos resultados permiten luego comparar este comportamiento con el del mismo perfil en las mismas condiciones de flujo pero dotado de un mecanismo de control de flujo, obteniendo así una cuantificación de los efectos del sistema de control.

El presente trabajo presenta como objetivo el estudio y la cuantificación del comportamiento del flujo en el extradós de un perfil aerodinámico NACA 4412 sin un sistema de control de flujo y con un sistema de flujo tanto activo como pasivo en el intradós del perfil.

Metodología

Para cumplir con los objetivos propuestos se realizaron ensayos de un modelo de perfil NACA 4412 en túnel de viento de circuito cerrado dela UIDETLaCLyFA de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. El modelo ensayado poseía un mini-flap tipo Gurney, de altura 1.5%c a lo largo del intradós a una distancia del 8%c del borde de fuga (c = cuerda del perfil) con capacidad de efectuar un movimiento oscilante alrededor de su eje a lo largo de la envergadura. La frecuencia de oscilación podía variarse mediante un sistema de control externo. La envergadura del modelo era de 80 cm y 50 cm de cuerda.

El modelo fue montado entre dos paneles laterales dobles (ver Figura 1), cuyos bordes de fuga son capaces de moverse manualmente alrededor de su envergadura con el propósito de tener un gradiente de presiones favorable (o cercano a cero) a lo largo de la cuerda de los modelos, en ambos extremos, y así alcanzar un flujo bidimensional con pequeñas diferencias entre las envergaduras geométrica y aerodinámica. Los ensayos realizados consistieron en la medición de la estela en diferentes posiciones a lo largo de una vertical a una distancia de 1%c detrás del borde de fuga, separados 1%c entre sí, por encima del borde de fuga y de un 0.4%c por debajo del borde de fuga. La Figura 3 muestra en detalle la grilla utilizada. En total son 41 puntos de medición, que distribuidos en la estela del modelo se corresponden a 2mm por debajo del borde de fuga y 150 mm por encima del mismo punto (borde de fuga).

Las experiencias se efectuaron para dos números de Reynolds, 326000 y 489000, basándose en la cuerda del perfil y la velocidad media de la corriente libre aguas arriba del modelo (10 m/s y 15 m/s, medida a la altura del modelo y 1,5 metros adelante del mismo). Se realizaron 5 ensayos en diferentes condiciones. El ala sola. El ala con el flap desplegado y el ala con el flap desplegado con sistema de control a 3 frecuencias de accionamiento diferentes. En todos los ensayos el ángulo de ataque se mantiene fijo a un valor de 11º.

En todos los casos se midió el campo de velocidades instantáneas en las posiciones mencionadas anteriormente detrás del borde de fuga, empleando un sistema de anemometría de hilo caliente de seis canales DantecStreamline, con sensores tipo X-probe. Las frecuencias de oscilación del mini-flap fueron 22, 38 y 44 Hz las cuales serán denominadas Frecuencia 1, Frecuencia 2 y Frecuencia 3. La frecuencia de adquisición fue de 4000Hz, filtrada a 1000Hz. Se tomaron 32768 muestras por canal, correspondientes a 8 segundos de adquisición en cada punto de medición. Todas las frecuencias del mini-flap se midieron con tacómetro laser. La Figura 2 muestra un esquema del mecanismo de accionamiento del flap y Figura 3 la grilla de medición.

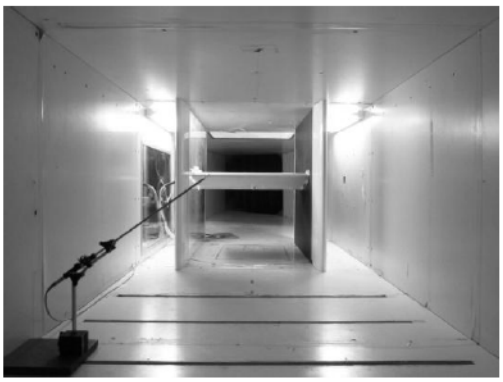


Figura 1. Modelo montado en el túnel – Paneles.

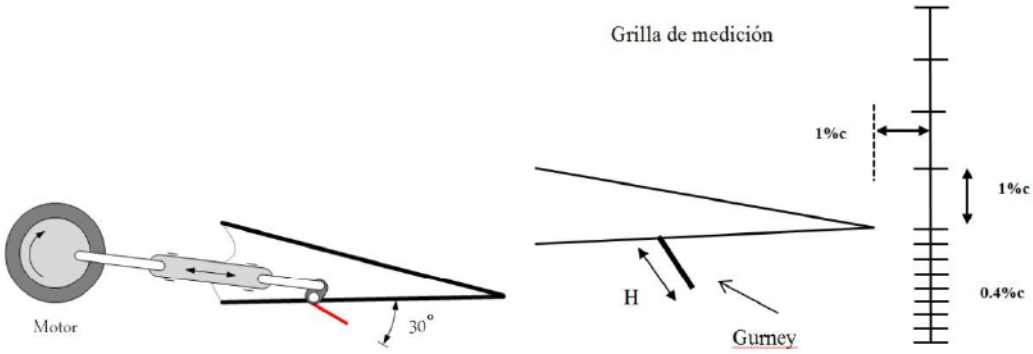
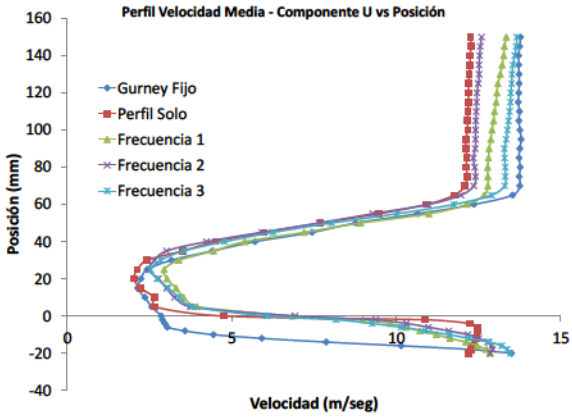


Figura 2. Diseño de sistema de Figura 3. Grilla de medición accionamiento del flap

Resultados y Discusión

A partir de los ensayos realizados fue posible obtener valores de las señales de velocidades en los puntos mencionados anteriormente. A partir de métodos estadísticos se procesaron las señales para obtener de ellas los valores de velocidad media, intensidad de turbulencia, espectros, escalas tanto temporales como espaciales y wavelets.

Se presentan en las Figuras4, 5, 6 y 7 gráficos con los valores de velocidades medias de los puntos de la grilla. La velocidad denominada U corresponde a la velocidad en la dirección del flujo incidente, mientras que la velocidad V corresponde a la componente vertical de la velocidad, que se encuentra en la dirección perpendicular al plano de la sección de prueba. Valores positivos de U corresponden a velocidades con el mismo sentido del de la corriente libre, velocidades positivas en V serán las que se muevan desde el extradós hacia el intradós. Los valores negativos de posición corresponden a valores por debajo del borde de fuga mientras que los positivos son sobre el mismo.



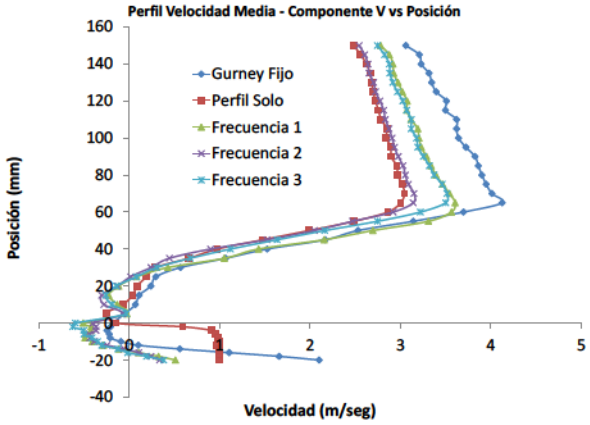
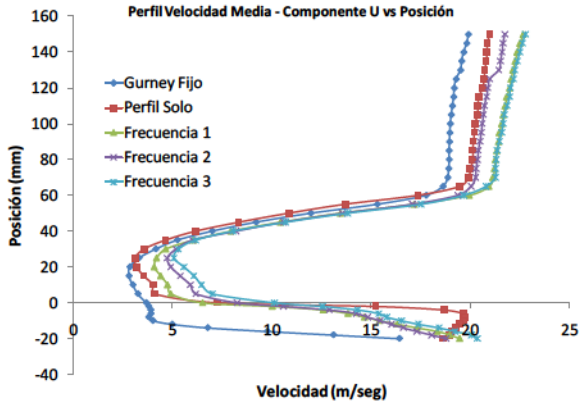


Figura 4. Componente U(10 m/seg) Figura 5. Componente V (10 m/seg)



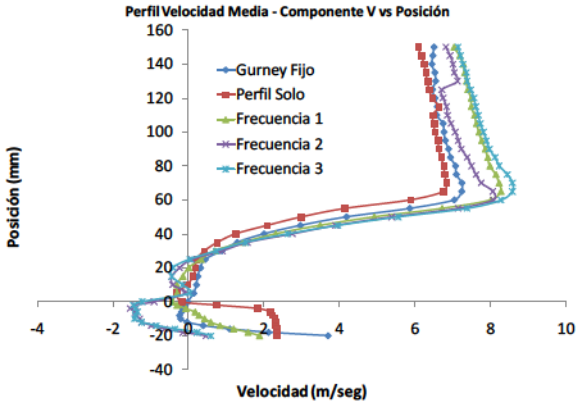


Figura 6. Componente U(15 m/seg) Figura 7. Componente V(15 m/seg)

Se puede observar a partir de los gráficos de Velocidad vs. Posición que existe una zona donde se ven efectos de pérdida, si bien la misma no es completa se observa que existe debido a la gran reducción de los valores de velocidad entre los -10 y los 70 mm.Es posible observar que la presencia del flapGurney fijo genera, como es de esperarse, una disminución de las velocidades en la zona inferior al borde de fuga, mientras, exceptuando la componente U para 15 m/s, en la zona superior parece acelerar el flujo. Al ser accionado el sistema de control y permitir la oscilación del flapGurney se observa que las velocidades de la estela inferiores al borde de fuga se ven siempre disminuidas, mientras que en la zona superior aumentan.

En las Figuras 8 a 11 (distribución de intensidades de turbulencia en ambas componentes para 10 y 15 m/s), se observa el desarrollo del perfil de intensidad de turbulencia para ambas componentes de la velocidad. Aquí se presenta nuevamente la detección de la estela de flujo desprendido corriente abajo del perfil detectándose valores de hasta un 45% de incremento en la componente u y de un 30% máximo en la componente v.

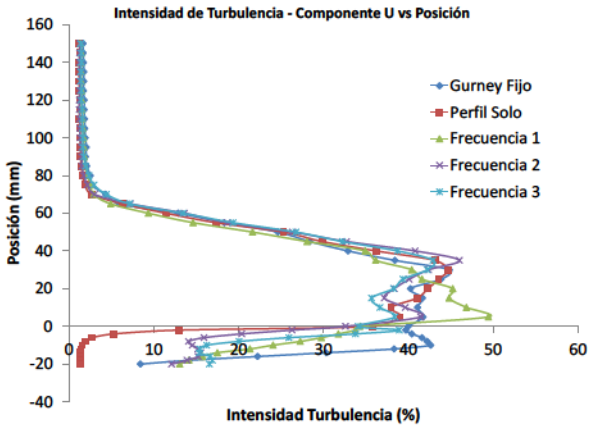


Figura 8. Intensidad de turbulencia en U a 10 m/s.

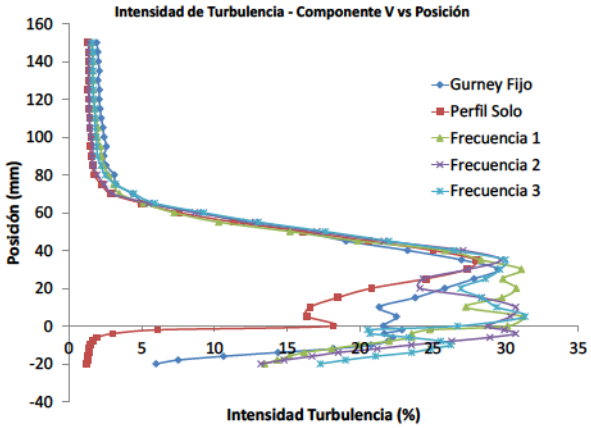


Figura 9. Intensidad de turbulencia en V a 10 m/s.

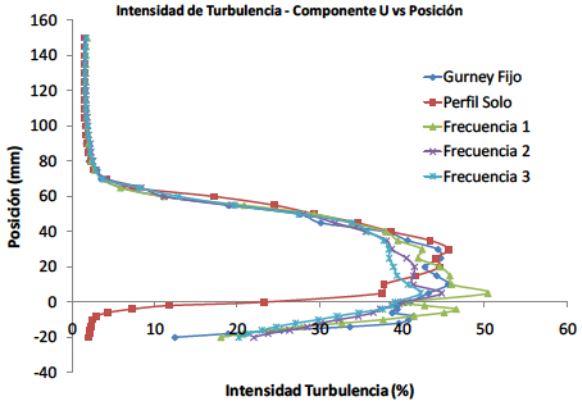


Figura 10. Intensidad de turbulencia en U a 15 m/s.

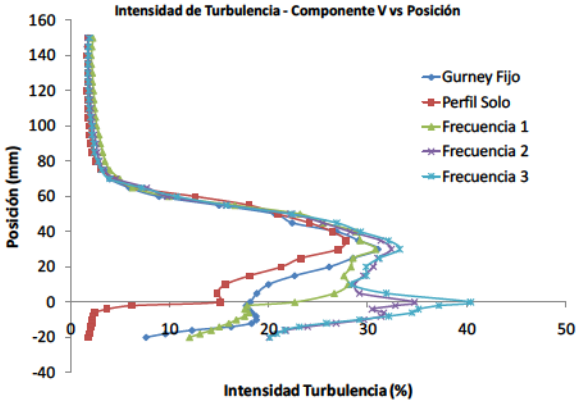


Figura 11. Intensidad de turbulencia en V a 15 m/s.

Para la componente U la sola presencia del flapGurney genera un aumento en las intensidades de turbulencia en la zona del intradós, mientras que para la componente V el aumento de la intensidad de turbulencia se observa casi en toda la zona de pérdida, siendo este mayor al generar el movimiento oscilatorio del flap.

Se calculó la función autocorrelación C(t) para todas las señales obtenidas y se tomó como criterio para obtener las escalas temporales de la turbulencia, el valor del tiempo cuando la función autocorrelación llega a 0. Obtenido este valor y el valor de velocidad media en el punto, se utilizó la teoría del flujo congelado, se calcularon las escalas espaciales de la turbulencia para los distintos puntos de la grilla. Estos resultados se presentan en las Figuras 12, 13, 14 y 15.

Analizando los resultados obtenidos se aprecia que la sola presencia del flap reduce las escalas tanto temporales como espaciales en la configuración de flujo de la estela, tanto en la zona de pérdida como fuera de ella. El efecto que genera el flap se ve aumentado cuando se lo hace oscilar a cualquier frecuencia, si bien no se observa una tendencia al modificar la frecuencia, es visible que el solo hecho de la oscilación disminuye

sustancialmente las escalas. Cuantitativamente se observa una reducción del máxima de aproximadamente el 80% en las escalas temporales de U en la zona de pérdida, y del 90% en V, estos efectos son aún mayores en la parte superior a la zona de pérdida, donde el efecto oscilatorio del flap parece reducir drásticamente el tamaño de los vórtices predominantes y aumentar la frecuencia de los mismos.

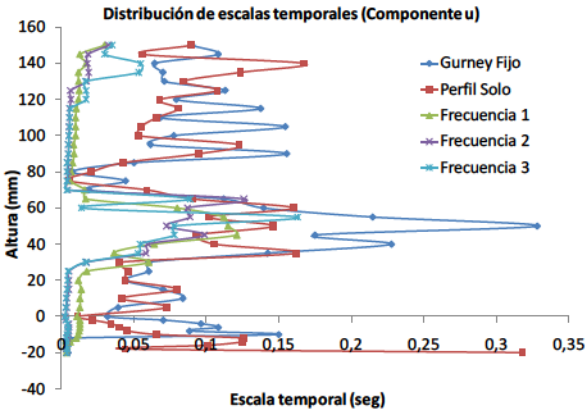


Figura 12. Escalas temporales en U.

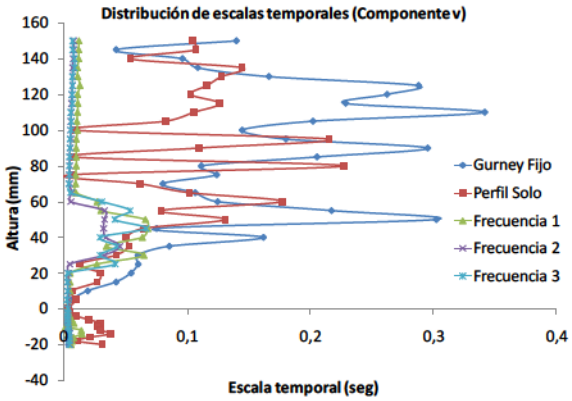


Figura 13. Escalas temporales en V.

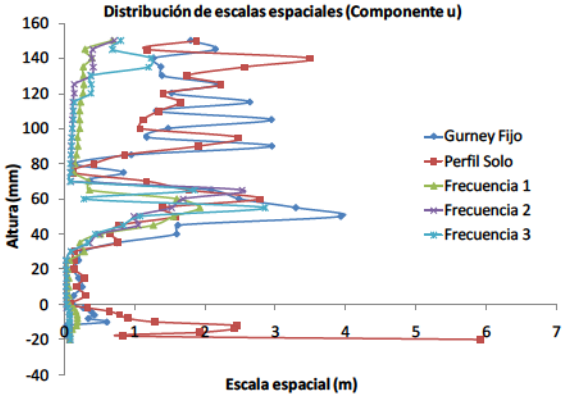


Figura 14. Escalas espaciales en U.

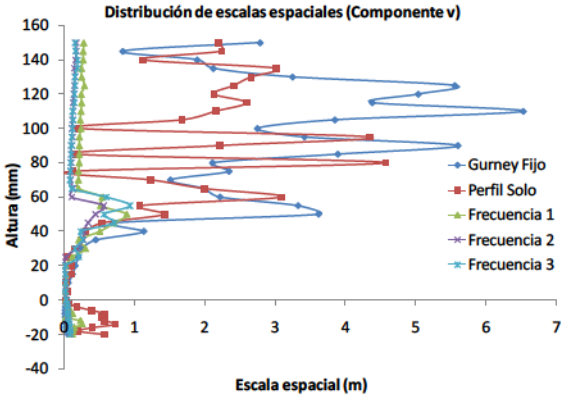


Figura 15. Escalas espaciales en V.

Un análisis superficial de las tensiones de corte nos muestra que, como es de esperarse, la presencia del flap genera un aumento de las mismas en toda la estela, y observamos que al aumentar la frecuencia de oscilación del mismo las tensiones de corte son mayores. Podemos observar en las figuras 16 y 17 que para el perfil solo las tensiones en la zona del intradós de la estela son casi nulas, al desplegar el flap aparecen tensiones, y al generarse la oscilación en el Gurney los valores de las tensiones aumentan hasta un 400% más que para el flap fijo.

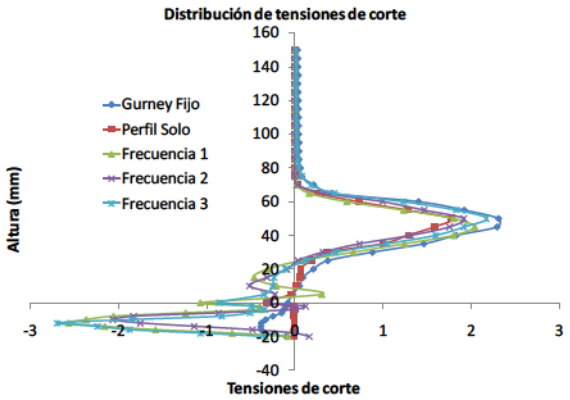


Figura 16. Distribución de tensiones de Reynolds para 10 m/s.

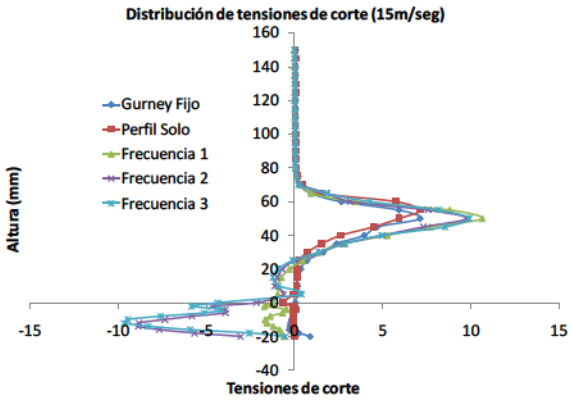


Figura 17. Distribución de tensiones de Reynolds para 15 m/s.

Conclusión

Podemos concluir, a partir de los resultados obtenidos y su posterior análisis, que la presencia del flapcambia la configuración del flujo en la estela, aumentando la intensidad de turbulencia, y la frecuencia de los vórtices predominantes en el patrón, pero disminuyendo su tamaño. Concluimos también que este cambio en el patrón de flujo viene aparejado con un aumento en las tensiones de corte en la estela. Al ser accionado el movimiento oscilatorio del flap las escalas predominantes en la turbulencia se ven disminuidas drásticamente, se observa que no existe una dependencia entre la magnitud de las escalas y la frecuencia de oscilación del flap, sino que el solo movimiento del mismo a cualquier frecuencia genera una escala predominante casi uniforme en el patrón de flujo fuera de la zona de pérdida. El accionamiento oscilatorio genera a su vez un gran aumento en las tensiones, principalmente en la zona del intradós de la estela.

Bibliografía

1. Pelletier, A. and Mueller, T.J. Low Reynolds Number Aerodynamics of Low-Aspect-Ratio Wings, AIAA 99- 3182, 1999.
2. Pelletier, A. and Mueller, T.J. Low Reynolds Number Aerodynamics of Low-Aspect-Ratio, Thin/Flat/Cambered Wings, Journal of Aircraft, Vol.37, No.5, pp.825-832, 2000.
3. J. S. Delnero; J. Marañón Di Leo; J. Colman; M. García Sainz; F. Muñoz; N. Hérouard; M.E. Camocardi; Aspects of the influence of an oscillating mini-flap upon the near wake of an airfoil NACA 4412.Journal of Physics Conference Series (JPCS). Institute of Physics Publishing, UK. Conference SeriesVol 296 012007.ISSN 1742-6596. 2011.
4. Chandrsuda C. and Bradshaw P.:Turbulence structure of a reattaching mixing layer. Journal of Fluid Mechanics Vol. 110, pp. 171-194; 1981.
5. Gad-el-Hak, M. Flow control: Passive, Active and Reactive Flow Management. Cambridge Univ. Press. ISBN 0 521 77006 8, 2000.