

Control del flujo alrededor de un cilindro con un actuador EHD.

Juan D'Adamo

Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires
jdadamo@fi.uba.ar

Ada Cammillieri

Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires
cada@fi.uba.ar

Guillermo Artana

Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires
gartana@fi.uba.ar

Resumen Se analizan en este trabajo las modificaciones que introduce un actuador electrohidrodinámico sobre el escurrimiento alrededor de un cilindro. Se consideraron flujos comprendidos entre $2300 < Re < 40000$, rango caracterizado por la transición a la turbulencia producida en las capas de corte.

El dispositivo utilizado consiste en dos electrodos montados sobre la superficie de un cilindro de material aislante, excitados con fuentes de CC. Mediante un ajuste de la tensión, el sistema produce una lámina de plasma que contornea al cilindro. La interacción de este fenómeno con el flujo de aire introduce cambios significativos en las condiciones de contorno.

A partir de visualizaciones con humo, y PIV (Velocimetría por imágenes de partículas), se determinó que esta lámina de plasma puede modificar la región de flujo en la estela cercana. Se propuso el análisis de lo obtenido por PIV mediante POD (proper orthogonal decomposition) para evaluar los cambios.

Palabras Clave. Flujo alrededor de cilindros, EHD, PIV, POD.

1. Introducción

La capa límite que se separa en el flujo en torno a un cilindro continúa desarrollándose como capa de corte. Las capas de corte conforman el contorno de una región llamada la estela cercana al cilindro. El régimen estudiado está caracterizado por el hecho de que las capas de corte se desprenden inicialmente en el régimen laminar y se vuelven turbulentas aguas abajo.

Considerando largos tiempos de muestreo en comparación con los períodos característicos del fenómeno de generación de vórtices en la estela cercana, es posible determinar una región principal de recirculación cerrada y simétrica. Esta región caracteriza los regímenes de desprendimiento de vórtices y es posible definir en ella una longitud de celda (L_b) y un ancho (d_b) que la caracterizan.

Experimentalmente es posible conocer L_b y d_b a partir de la determinación de la longitud de formación de vórtices (L_f), definida por la distancia axial aguas abajo desde el centro del cilindro a la cual el producto de las fluctuaciones de velocidad es máximo. El desarrollo de las técnicas de PIV permitió una manera sencilla de estimar L_b y d_b . Para ello, es necesaria una adecuada elección del tiempo de muestreo total y el de los intervalos entre imágenes.

El flujo en la estela cercana se halla bajo la acción de inestabilidades dependientes del número de Reynolds. Se reconocen de ellas dos modos principales^{1,2}. Un modo se halla asociado a la aparición de una inestabilidad absoluta, que origina el conocido sendero de vórtices de von Kármán. El otro modo, de carácter convectivo, corresponde al comienzo de la inestabilidad de Kelvin-Helmoltz en las capas de corte. Éste da lugar a la generación de vórtices de pequeña escala que pueden interactuar con aquellos de mayores producidos por el modo Kármán.

Puede conseguirse el control sobre las inestabilidades que se desarrollan en el flujo mediante el uso de actuadores. La excitación que se introduce al flujo puede ser de carácter estacionario o bien dinámico, que implica variaciones en el tiempo de frecuencias, de amplitudes o de forma de la señal.

Recientemente, el desarrollo de actuadores electrohidrodinámicos (EHD) basados en la transferencia de cantidad de movimiento a través de fuerzas electromagnéticas ha recibido interés. Estos actuadores como conllevan relativamente pequeños aportes energéticos, las corrientes que habitualmente manejan son tan bajas que los efectos magnéticos pueden despreciarse. Otras importantes ventajas son su simplicidad de diseño, su confiabilidad (no tiene partes móviles) y un tiempo de respuesta muy corto, teóricamente del orden de 1 ns.

En nuestro grupo, Artana et al.(1999),(2000),(2001), hemos llevado a cabo estudios en una configuración de electrodos alambre-placa montados sobre superficies aislantes. A partir de esta configuración se obtuvo un régimen de descarga del tipo glow entre los electrodos, caracterizado por una lámina de plasma uniforme.

Cuando se opera al actuador en este régimen, se asegura la uniformidad de efectos sobre el flujo ya que la descarga ocurre a en toda la longitud de los electrodos y en todo el espacio interelectrodo. También, la luminiscencia observada en el espacio entre los electrodos indica la presencia de partículas cargadas con alta cantidad de movimiento en las regiones de interés. Esta situación debería aumentar la probabilidad de que haya grandes transferencias de cantidad de movimiento desde los iones hacia las partículas neutras.

Con el uso de este actuador las modificaciones producidas sobre el escurrimiento pueden no sólo estar asociadas a la aparición de una fuerza volumétrica actuando en el fluido sino también a cambios en las propiedades del fluido (densidad, viscosidad, etc) como consecuencia de la ionización del gas. Sin embargo, a pesar que algunos esfuerzos se han realizado Artana (2002 b), la importancia relativa de cada mecanismo no ha sido aún claramente establecida en todos los casos.

En trabajos anteriores Artana (1999-2001-2002 b) nuestro grupo ha establecido diferentes efectos provocados por el uso de actuadores EHD sobre un flujo alrededor de un cilindro. En este trabajo nos proponemos caracterizar estos efectos a partir de parámetros que surgen de aplicar la técnica de Proper Orthogonal Decomposition y que son estimadores del grado de organización del flujo y de la regularidad de la formación de vórtices .

2. Montaje experimental

2.1 Túneles de viento y cilindros

Las experiencias de visualización del flujo fueron llevadas a cabo a bajas velocidades con el cilindro ubicado en un pequeño túnel de viento abierto (0-5 m/s, 0.28 x 0.28 m² de sección rectangular). Para la obtención de la distribución de presiones y del campo de velocidades, las medidas fueron realizadas en un túnel de viento de lazo cerrado que permite ensayos a mayores velocidades (1-30 m/s, 0.50 x 0.50 m² de sección rectangular). El cilindro fue colocado en la cámara de prueba horizontal y con su eje normal a la dirección del flujo principal. En la cámara de prueba, la intensidad de turbulencia fue menor a 0.5% (5000 Hz).

En nuestros ensayos utilizamos cilindros de Polimetil metacrilato (PMMA) y cuando realizamos visualizaciones se consideraron cilindros de 28 mm de diámetro y 280 mm de longitud (L/D=11.4) en tanto que para el resto de las experiencias se consideraron otros de 32 mm de diámetro y 500 mm de longitud (L/D=15.6);

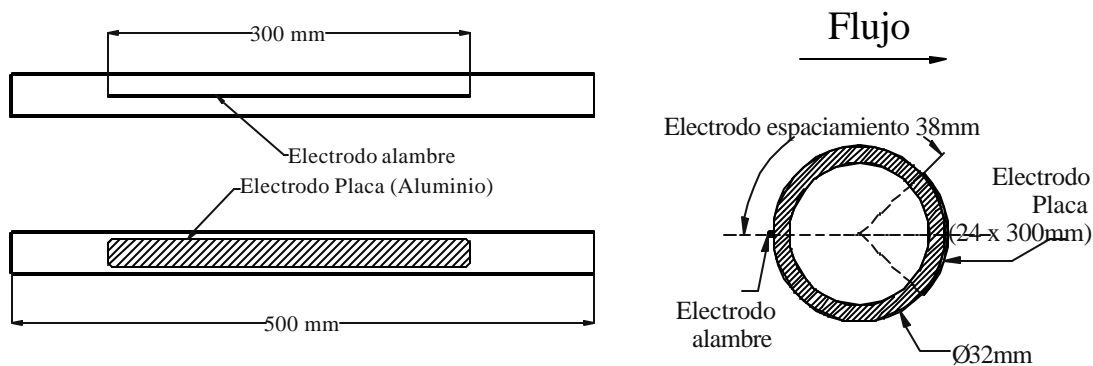


Figura 1:Esquema de la configuración de electrodos

Los electrodos para generar la descarga consistieron en un alambre de cobre (0.90 mm de diámetro) y un electrodo plano construido con una delgada hoja de aluminio (50 µm de espesor). Ambos se dispusieron paralelos al eje del cilindro como se muestra en la figura 1. Las terminaciones de ambos electrodos se redondearon a fin de evitar la formación de descargas preferenciales a partir de esa zona.

La relación de bloqueo fue del 11.4% en el túnel abierto y de 6.4% en el túnel de lazo cerrado. No se aplicaron correcciones por estos efectos a los resultados.

2.2 Excitación EHD

Dos fuentes regulables de alta tensión de polaridad opuesta (+40 kV, -40 kV, 3.75 mA) fueron usadas para imponer una diferencia de potencial lo suficientemente alta como para establecer una descarga estable.

El electrodo alambre fue conectado a la fuente de polaridad positiva y el otro a la negativa. Las medidas de corriente fueron realizadas mediante un circuito electrométrico que permite detectar corrientes de hasta 1nA.

2.3 Visualización del escurrimiento

Para las visualizaciones se utilizó una técnica de inyección de humos. El dispositivo constó de un plano láser generado por un láser de argon-ion de 5W y un filamento de humo de diámetro aproximado de 2 mm. Las partículas trazadoras fueron producidas con un generador de humos EI 514 Deltalab que usa aceite puro de grado cosmético. Las imágenes de las líneas de emisión fueron grabadas con una cámara de 30 cuadros por segundo y luego fueron digitalizadas.

2.4 Medidas del campo de velocidades

El campo de velocidades fue relevado mediante la técnica de P.I.V. (Particle Image Velocimetry). Estas medidas fueron hechas utilizando el sistema DANTEC controlado por FlowMap@PIV. El dispositivo fue ajustado para obtener áreas de interrogación de 32 x 32 pixeles con una superposición de las mismas del 50%. Las partículas trazadoras son idénticas a las utilizadas en visualización. En las experiencias cada pulso del láser tuvo una duración de 0.01 micro segundos y el tiempo entre pulsos fue de 50 micro segundos. Fue utilizada una cámara capaz de adquirir imágenes de 768x484 pixeles. Se consideraron para cada experimento 200 pares de imágenes digitales tomadas cada 0.1 segundo. Tras procesos de filtrado se removió desde un 5% a un 10% del total de los 1363 vectores iniciales del campo de velocidades.

Tanto en estas experiencias como en las de visualización, se considera que la trayectoria de las partículas trazadoras no difiere que las partículas de fluido que las rodean. Como fue analizado en un artículo previo, Artana (2001), puede desprejiciarse la influencia de fuerzas coulombianas sobre la trayectoria de las partículas trazadoras del tamaño precisado.

En nuestro caso, el valor medio de la velocidad del flujo se obtuvo promediando valores adquiridos a lo largo de 60 segundos. En el régimen de escurrimiento considerado, el número de Strouhal (St) es aproximadamente 0.2.

$$\text{Siendo } St = \frac{f_s D}{U_0} \quad (1)$$

Entonces, teniendo en cuenta la frecuencia de desprendimiento de vórtices (f_s), el intervalo de tiempo total y la frecuencia de muestreo permiten asegurar que las magnitudes promediadas en el tiempo convergen a un valor medio.

2.5 Análisis de las medidas mediante POD (proper orthogonal decomposition)

A fin de individualizar las estructuras coherentes del flujo, se aplicó POD (proper orthogonal decomposition) sobre los datos de salida del campo PIV.

POD es un procedimiento para extraer una base de funciones que descompone al flujo a partir de un conjunto de muestras N.

Según Berkooz (1993), cada muestra del campo de velocidades $\bar{u}(\bar{x}, t)$ puede ser aproximada según una solución

$$\text{determinística } \bar{u}(\bar{x}, t) = \sum_{n=1}^N a_n(t) \bar{j}_n(\bar{x}) \quad (2)$$

Las funciones o modos $a_n(t)$ representan el aspecto temporal del flujo y forman una base ortogonal y no se encuentran correlacionadas. Los modos espaciales $\bar{j}_n(\bar{x})$ que se asocian a cada $a_n(t)$ también constituyen una base ortogonal. Los primeros modos espaciales $\bar{j}_n(\bar{x})$ en algunos casos permiten identificar estructuras coherentes sin ningún condicionamiento a priori.

Una de las características salientes de POD es el hecho de poder contar con una base que resulta optimizada en cuanto a la proyección de su energía cinética respecto a la del campo de velocidades.

La siguiente expresión relaciona al campo de velocidades con la base de funciones:

$$\mathbf{I}_n \bar{j}_n(\bar{x}) = \frac{1}{N} \int_T a_n(t) \bar{u}(\bar{x}, t) dt \quad (3)$$

El planteo del método lleva a la resolución de un problema de autovalores $\tilde{\epsilon}_n$. Para ello es necesaria la introducción de un tensor de correlación temporal $C(t, t')$ que se define según:

$$C(t, t') = \frac{1}{N} \iint_S u_i(\bar{x}, t) u_i(\bar{x}, t') dt \quad (4)$$

siendo S el área muestreada total del campo de velocidades.

Conocidos los $\tilde{\epsilon}_n$ y las correspondientes $a_n(t)$, los modos espaciales se deducen de:

$$\bar{j}_n(\bar{x}) = \frac{1}{N} \int_T \mathbf{I}_n^{-1} a_n(t) \bar{u}(\bar{x}, t) dt \quad (5)$$

Cada autovalor representa la contribución de energía cinética que tiene el correspondiente modo n. Luego, la energía total del flujo se obtiene de la suma total de ellos. En particular, el autovalor que corresponde al primer modo, $\tilde{\epsilon}_1$, da cuenta de la energía cinética del flujo promedio, que caracteriza la componente estacionaria del mismo. La diferencia entre la suma total de los $\tilde{\epsilon}_n$ y $\tilde{\epsilon}_1$ es la energía de las estructuras fluctuantes del flujo.

Consecuentemente, es posible reconstruir el flujo a partir de un reducido número de modos que asegure contener la mayor parte de la energía cinética del mismo. Este aspecto puede resultar una útil idea a la hora de plantear métodos de control dinámico sobre el flujo.

3. Resultados y Discusión

3.1 Característica de descarga

Realizamos nuestras experiencias en un régimen que hemos denominado de descarga glow generalizada. Este se presenta para relaciones de diferencias de tensión de 30-35 kV entre los electrodos y corrientes en el rango de 0.4-2.5 mA/m.

En la figura 2 se presenta una foto de este régimen obtenida en ausencia de otra fuente luminosa.

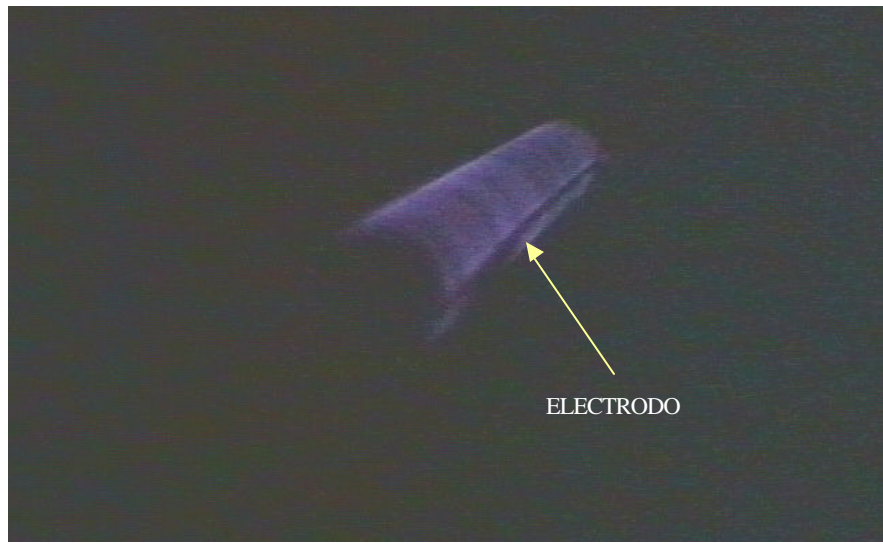


Figura 2: Descarga glow generalizada. Lámina de plasma contorneando la superficie del cilindro.

Es característica la luminiscencia homogénea que cubre la superficie del cilindro, da cuenta de la presencia de una capa de aire ionizado. Se puede apreciar que el espesor de esta capa tiene el orden del espesor del electrodo de aluminio (50 μ m).

3.2 Visualización del flujo

Las Figuras 3 son fotos que muestran visualizaciones típicas del flujo para bajos $Re(\approx 2500)$. Ponen en evidencia la evolución de los cambios antes (Figura 3a) y después de la aplicación del campo eléctrico (Figura 3b).

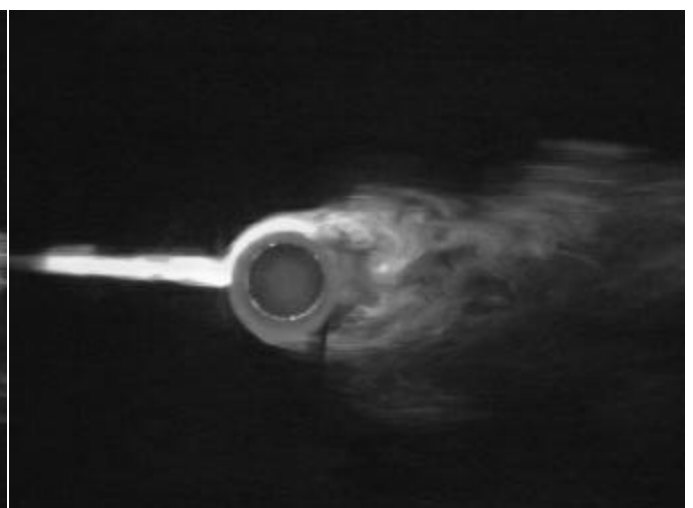
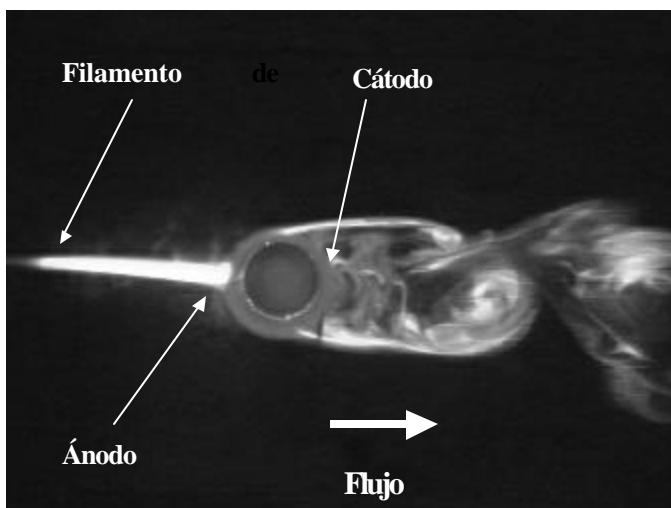


Figura 3a: Visualización del flujo sin descarga.

Figura 3b: Visualización del flujo con descarga

Se advierte que luego de un corto período de tiempo (inferior al segundo) se establece una nueva condición de flujo. La región de formación de vórtices resulta muy perturbada y el sendero de vórtice no es fácilmente observable. Las capas de corte parecen desestabilizarse más cerca del cilindro.

3.3 Campos de velocidades adquiridos mediante PIV

En las Figuras 4a y 4b, se exponen resultados representativos el valor promediado en el tiempo de las velocidades en la región de la estela cercana al cilindro. Asimismo, para destacar el efecto del actuador se grafica (Figura 5) la diferencia del valor promediado en el tiempo de la velocidad entre los casos con y sin descarga. Los resultados corresponden a valores de velocidad de flujo libre 16.7 m/s ($Re \approx 35600$); se obtienen similares resultados a distintas velocidades en el rango considerado para las experiencias (10-20 m/s).

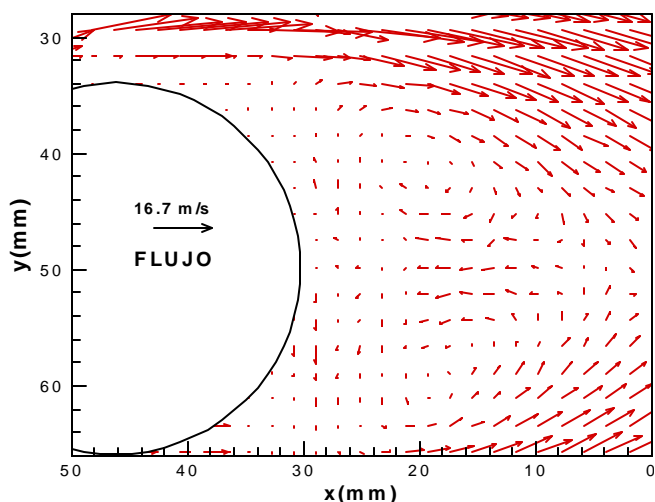


Figura 4a : Campo de velocidades en la estela cercana promediado $U_0=16.7$ m/s; sin descarga.

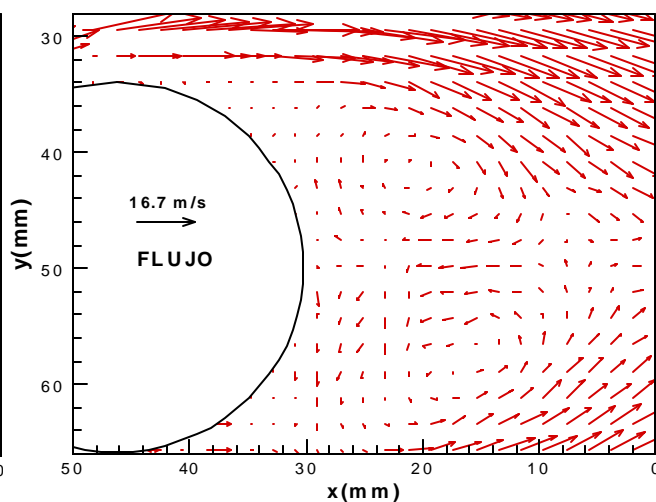


Figura 4b Campo de velocidades en la estela cercana promediado, con descarga ($\dot{A}V=34$ kV) $U_0=16.7$ m/s

El campo promediado permite revelar la existencia de dos vórtices detrás del cilindro. Los contornos de estas estructuras definen los límites de la región principal de recirculación. A diferencia de lo que ocurría al flujo para los bajos Re de los ensayos de visualización, el actuador no provoca un apreciable acortamiento de esta región.

En la Figura 5 puede notarse la importante aceleración que introduce el actuador en la zona donde se encuentran las capas de corte. También puede verse el efecto del actuador en las regiones que se ubican antes de la separación de la capa límite. Las magnitudes de las diferencias de velocidad alcanzan valores de hasta 8.5 m/s, casi la mitad de la velocidad del flujo incidente.

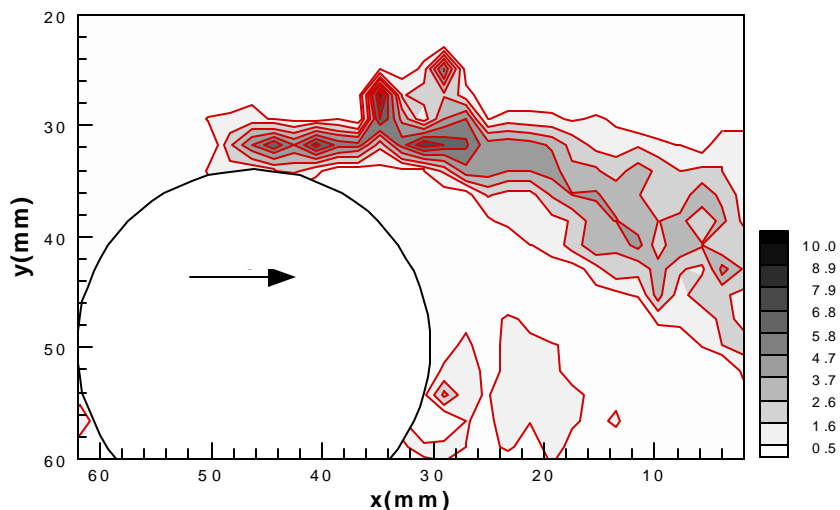


Figura 5: Diferencia de velocidades de los campos promediados en la estela cercana (Con descarga –Sin Descarga) $U_0=16.7$ m/s. $\dot{A}V=34$ kV

3.4 Resultados de POD.

A partir de la técnica de POD conseguimos poder representar al campo de velocidades con un número discreto de modos. Presentamos en la Figura 6a un ejemplo típico de reconstrucción del campo de velocidades con un número reducido de modos espaciales. Allí se puede observar la reconstrucción con los 10 primeros modos espaciales para un instante dado y se la puede comparar con el campo de velocidades medido con técnica PIV que se intenta reconstruir.

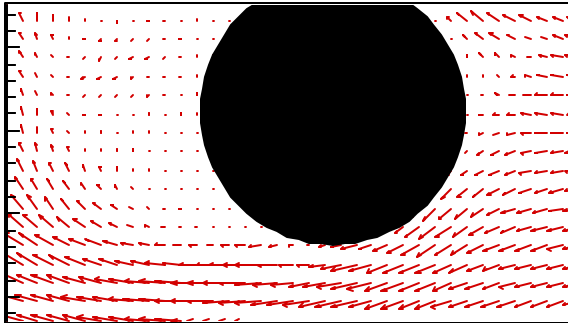


Figura 6a: reconstrucción con 10 modos por POD

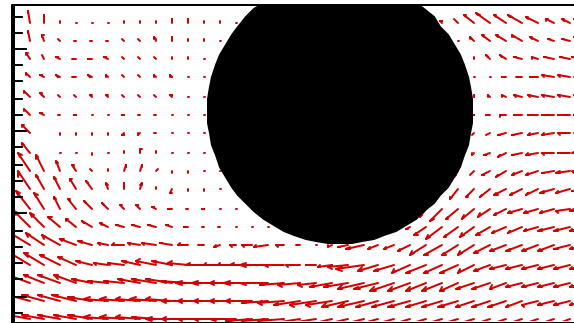


Figura 7b Campo de velocidades instantáneo obtenido por PIV

Santa Cruz et Al.(2001) asocia al grado de organización del flujo y la regularidad de la formación de vórtices con un parámetro que estima la entropía del sistema definido por:

$$entropía = -\ln(N) \sum_{n=2}^N \frac{I_n}{\sum_{i=2}^N I_i} \ln \left(\frac{I_n}{\sum_{i=2}^N I_i} \right) \quad (6)$$

Según Delville (1995) otra manera para determinar estos parámetros asociados a estructuras del escurrimiento se puede lograr mediante el cálculo del parámetro N' :

$$N' = \sum_{n=2}^N \frac{I_n}{I_2} \quad (7)$$

Considerando los parámetros propuestos por estos investigadores, nosotros intentamos sintetizar la información sobre los cambios introducidos por nuestro actuador en el caso que nos ocupa. Las Figuras 7 y 8 permiten poner de manifiesto el efecto para dos velocidades de flujo 10 m/s y 17.5 m/s, cuando el actuador es operado entregando aproximadamente 10 Watts al escurrimiento.

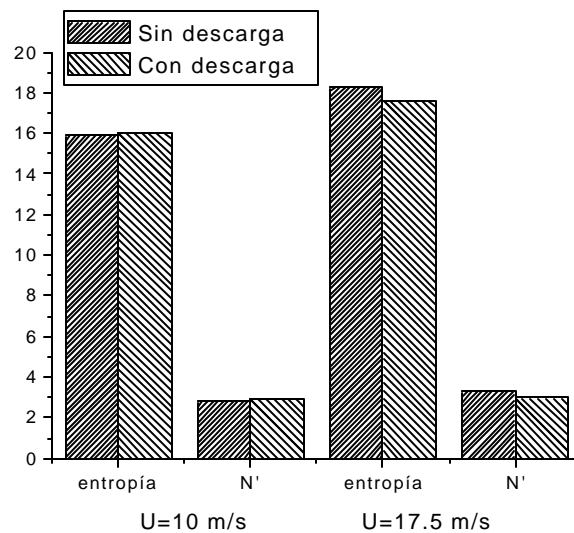


Figura 7: Comparación de la Entropía y N' para 17.5 m/s y 10 m/s en los casos con y sin descarga.

La tendencia no parece indicar una fuerte influencia de la acción de la descarga sobre la entropía y el parámetro N' del flujo analizado bajo POD. Para 17.5 m/s se observa una disminución mientras que para 10 m/s se tiene un ligero aumento ante la aplicación de la descarga glow.

Otro parámetro de interés asociado a la regularidad en la formación de vórtices es el número de modos necesarios para poder representar un umbral de energía cinética de las estructuras fluctuantes.

La Figura 8 muestra el número de modos necesarios para reconstruir el 80% de la energía cinética de las estructuras fluctuantes ($\tilde{\epsilon}_n < \tilde{\epsilon}_2$).

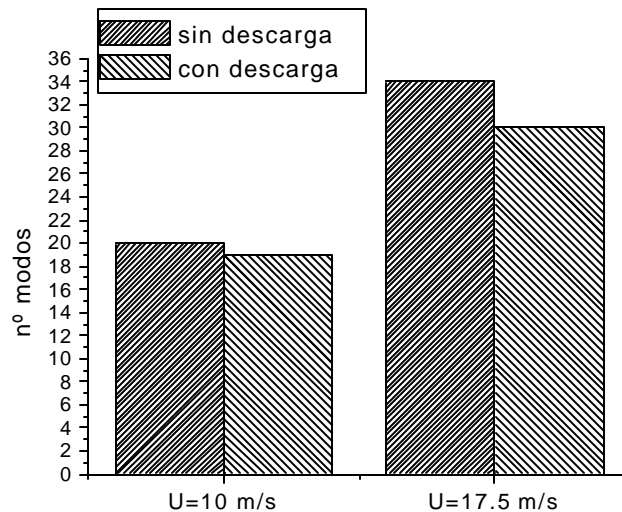


Figura 8 Número de modos necesarios para representar el 80% la energía cinética de las estructuras fluctuantes.

Los resultados indican que ante la aplicación de la descarga se precisa un menor número de modos para reconstruir las estructuras fluctuantes. Para 10 m/s la diferencia no es de importancia, lo que estaría de acuerdo con el cálculo correspondiente de entropía y N' . Para 17.5 m/s, el efecto es más marcado, lo que indica que para estas velocidades el actuador permite lograr un mayor grado de organización del flujo, es decir una mayor regularidad en la formación de vórtices.

4. Conclusiones

Hemos llevado a cabo experiencias en el régimen de flujo alrededor de un cilindro identificado por la transición a la turbulencia de la capa de corte. Las experiencias de visualización realizadas a bajo número de Reynolds permiten distinguir que el actuador puede producir una importante aceleración de las capas de fluido cercanas a la pared del cilindro y en la región de las capas de corte. El efecto parece muy importante en la estela cercana donde no es observable el regular desprendimiento de vórtices.

Las medidas PIV en nos permitieron confirmar que una aceleración relativamente fuerte de las capas de fluido persiste a mayores Re . El análisis de las mismas bajo POD sugiere que se logra una mayor regularidad en la formación de vórtices, para los más altos Reynolds que estudiamos, por efecto de la descarga.

La serie de experiencias realizadas limitan nuestro análisis en cuanto que la resolución espacial de PIV no nos permitió poner de manifiesto las estructuras de transición en las capas de corte por ser estas muy pequeñas. Por ello pensamos que al analizar los modos espaciales no surgen fuertes diferencias entre los modos correspondientes a los casos con y sin descarga. Creemos que se pueden lograr análisis más detallados mediante el uso de imágenes de mayor resolución espacial, como podrían surgir a partir de tratamientos PIV con ventanas adaptables.

Como consecuencia de la resolución temporal de la PIV, de 0.1 s (10 Hz) entre pares de imágenes, no se logra determinar directamente los modos temporales $a_n(t)$ de la POD sino sólo en tiempos discretos correspondientes a los instantes dato. Las frecuencias de los fenómenos observables, como el desprendimiento de vórtices de von Karman, se encuentran para nuestra geometría alrededor de los 100 Hz y en consecuencia no logramos la reconstrucción temporal para la dinámica del escurrimiento de interés. Sin embargo, el desarrollo del flujo en la base de funciones permite un planteo matemático de las ecuaciones de Navier Stokes que resulta simplificado. De su solución, tarea pendiente de nuestro trabajo, esperamos deducir las $a_n(t)$ y lograr esta información adicional de interés.

5. Bibliografía

- Artana G., D'Adamo J., Leger L., Moreau E. and Touchard G., "Flow control with electrohydrodynamic actuators", a publicarse en septiembre de 2002 en AIAA Journal.
- Artana G., Diprimio G., Moreau E. and Touchard G., 2001, "Electrohydrodynamic Actuators On A Subsonic Air Flow Around A Circular Cylinder", AIAA Paper 2001-3056, Anaheim.
- Artana G., Sosa R., Moreau E., Touchard G., 2002 b, "Control of the near wake of the flow around a cylinder with EHD actuators", sometido al Physics of Fluids.
- Artana, G. Desimone and G. Touchard, 1999, "Study of the Changes in the Flow Around a Cylinder Caused by Electroconvection", Electrostatics'99, Bristol-Philadelphia, 147-152., IOP Publ. Ltd
- Berkooz, Holmes, Lumley, 1993, "The Proper Orthogonal Decomposition in the analysis of turbulent flow", Annu. Rev. Fluid. Mech. 25 : 539-75.
- Bloor M. S., "The transition to turbulence in the wake of a circular cylinder", 1963, J. Fluid Mech. **19** N°2, 290-304.
- Chyu C., Lin C., Sheridan J., and Rockwell D., 1995, "Karman vortex formation from a cylinder: Role of phase-locked Kelvin-Helmholtz vortices", Phys. Fluids **7** N°9, 2288-2290.
- Corke T. and Mattalis E., 2000, "Phased Plasma Arrays for Unsteady Flow Control", AIAA paper 2000-2323
- Desimone G., 2000, "Estudio experimental de la modificación del escurrimiento alrededor de un cilindro circular a través de la electroconvección", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Desimone G., DiPrimio G. and Artana G., 2000, "Modification of the Flow Around a Cylinder by Means of Electrodes Placed on its Surface", Proc. Colloque de la Societé Francaise d'Electrostatique, Poitiers, pp 80-84.
- Findler E., en *Flow control*, edited by M. Gad-El-Hak, A Pollard, and J. P. Bonnet, 1997, (Springer-Verlag, NY), p.374-376.
- Gad-El-Hak Mohamed, 2000, *Flow Control: Passive, active and reactive flow management*, Cambridge Press.
- Keane R., Adrian R., 1992, "Theory of Cross Correlation Analysis of PIV Images", Applied Scientific Research **49**, 191-215.
- Léger, Moreau E., Artana G. and Touchard G., 2000, "Modification de l'écoulement d'air autour d'une plaque plane par une decharge couronne", Colloque de la Societe Francaise d'Electrostatique, Montpellier, 97-101.
- Léger, Moreau E., Artana G. and Touchard G., 2001, "Influence of a DC corona discharge on the airflow along an inclined flat plate", Journal of Electrostatics **50&51**, 300-306.
- Meier E., 1996, en *Control of flow instabilities and unsteady flows*, edited by G E Meier, and G. Schnerr, (Springer-Wien, NY), p.203-233.
- Norberg 1994, "An experimental investigation of the flow around a circular cylinder: influence of aspect ratio", J. Fluid Mech. **258**, 287-316 .
- Santa Cruz A., Calluaud, Pécheux, David L., The Proper orthogonal decomposition from PIV measurements to compare flows, 4°International Symposium on Particle Image Velocimetry, Gottingen, Germany, Septiembre 2001.
- Unal M.F. and Rockwell D, "On vortex formation from a cylinder. Part 1. The initial instability", J. Fluid Mech. **190**, 491-512 (1988).
- Williamson G. K., "Vortex dynamics in the cylinder wake", Annu. Rev. Fluid. Mech. **28**, 477-539 (1996).
- Zdravcovich, 1997, en *Flow around circular cylinders* (Oxford Science Pub, Oxford), Vol. **I**, p.1-18.

Abstract. We analyze at this work, the modifications introduced by an electrohydrodynamic actuator on the flow around a cylinder. Flows between $2300 < Re < 40000$ are considered, a range which is characterized by transition to turbulence produced in the shear layers.

Our device consists in two electrodes flush mounted over the surface of circular glinder made of PMMA, excited with d.c. power supplies. By a suitable adjusting of the electrode voltages, the system can produce a plasma sheet which contours the cylinder. The interaction between this phenomena with the air flow introduces important changes on the boundary conditions of the flow.

From flow visualizations, PIV (particle image velocimetry), we determined that this plasma sheet can modify the near wake of the flow. It was also proposed an analysis of the PIV output via POD (proper orthogonal decomposition) to evaluate the changes.

Keywords: Flow around cylinders, EHD, PIV, POD.