

## CARACTERIZACION DE LA INYECCION PULSANTE DE AIRE PARA CONTROL DE FLUJO

García Saíenz, Mariano O.<sup>a,b</sup>; Marañón Di Leo, Julio<sup>a,b</sup>; Delnero, Juan S.<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>UIDETCapa Límite y Fluidodinámica Ambiental, LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina.

<sup>b</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
mariano.garciasainz@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: control de flujo, inyección de aire.

### Introducción

En el contexto de los trabajos de investigación orientados al estudio experimental de mecanismos de control de flujo a lazo abierto, se estudian las características de la inyección pulsante de aire. Se presentan los resultados obtenidos de ensayos experimentales en las instalaciones de la UIDET-LaCLyFA, para caracterizar mediante técnicas de anemometría de hilo caliente (DantecStreamLine CTA98C10), el chorro generado durante la inyección de aire a diferentes frecuencias (0 – 200Hz) y caudales (4, 6 y 8L/min en condiciones estándar).

### Desarrollo experimental

Los ensayos se realizaron en las instalaciones y con el equipamiento de la UIDET-LaCLyFA, a los efectos de caracterizar el chorro generado durante la inyección pulsante de aire en el interior de una cavidad rectangular abierta de 10cm de lado, como se observa en la Figura 1a. El estudio incluye la caracterización del sistema de inyección de aire de la Figura 1b, dotado de electroválvula de alta frecuencia (>270Hz). El caudal de aire inyectado será expresado en términos de litros por minuto (L/min) y se refiere a condiciones estándar físicas según DIN 1343.

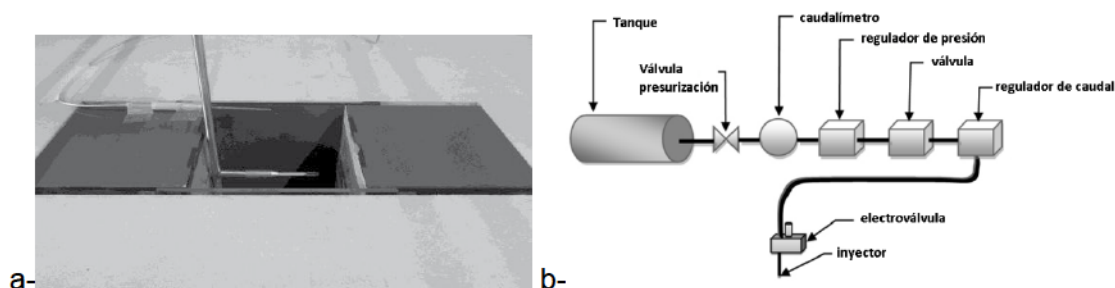


Figura 1. Configuración de ensayo.

La cavidad fue instalada en el piso del túnel de viento sobre el cual se efectuaron los arreglos necesarios para asegurar el desarrollo adecuado de la capa límite aguas arriba de la cavidad. Los parámetros característicos del ensayo se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1. Parámetros característicos del ensayo.

L/P	L/A	$L/\theta_0$	$Re_L$	$\delta$ [mm]	$\delta^*$ [mm]	$\theta_0$ [mm]	$\frac{\delta^*}{\theta_0}$	$Re_{\theta_0}$
1	1	14.2	30761	85	8.73	7.04	1.24	2174

Ensayos de visualización con humo nos permitieron observar los patrones fluidodinámicos asociados al flujo dentro y en las inmediaciones de la cavidad, para estudiar el aspecto de las configuraciones fluidodinámicas y su evolución durante el ensayo.

Luego, se realizaron los ensayos de relevamiento del perfil de velocidades sobre el eje longitudinal de la cavidad sin ningún dispositivo de control, discretizado en 7 estaciones comenzando 20cm aguas arriba y terminando 20cm aguas abajo de los límites de la cavidad. En particular la estación E3 coincide con el borde a barlovento, la estación E4 está a la mitad de la cavidad, y E5 en el borde a sotavento, tal como se observa en la Figura 2 2.

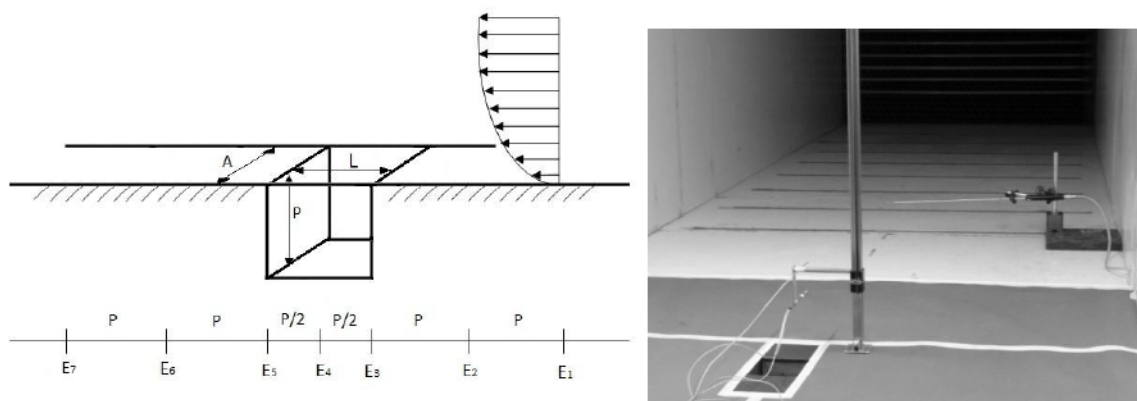


Figura 2. Estaciones de medición de velocidad.

Para cada estación se barre comenzando a 3mm desde el piso del túnel hasta 100mm de altura, con un paso de 1mm. Este ensayo se realiza con un anemómetro de hilo caliente de temperatura constante (DantecStreamLine CTA98C10), empleando hasta tres puntas doble del tipo X-probe 55R51 en simultaneo, que permiten determinar la componente de velocidad longitudinal y vertical del flujo incidente. De esta manera se obtuvieron los perfiles de velocidades medias, distribución de intensidad y escalas de turbulencia, para diferentes velocidades de la corriente libre.

El aire es inyectado al interior de la cavidad a través de los picos uniformemente distribuidos en la envergadura en dos hileras horizontales, ubicados a un tercio y dos tercios desde el techo de la cavidad, dispuestos de manera de favorecer el sentido de rotación del vórtice natural interior, tal como se observa en Figura 3.

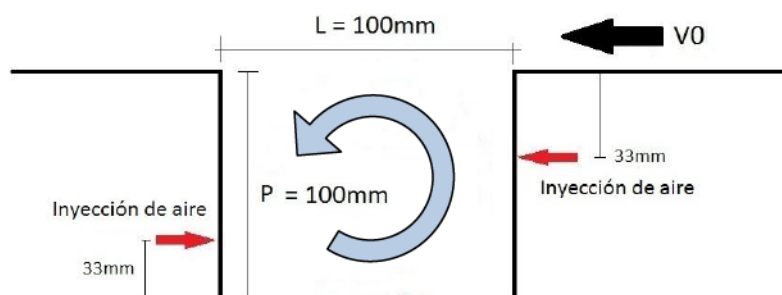


Figura 3. Puntos de inyección de aire.

También se realizaron ensayos de medición de velocidades en la capa de corte (“shearlayer”) próximo al borde de ataque, en tres coordenadas en simultáneo a lo largo de la envergadura, como se observa en la Figura 4. La intención es analizar el comportamiento del flujo en la zona de “interface” entre el campo interior y el flujo exterior de la cavidad, como así también correlacionar el desarrollo tridimensional del flujo para esta cavidad de relación de aspecto 1.

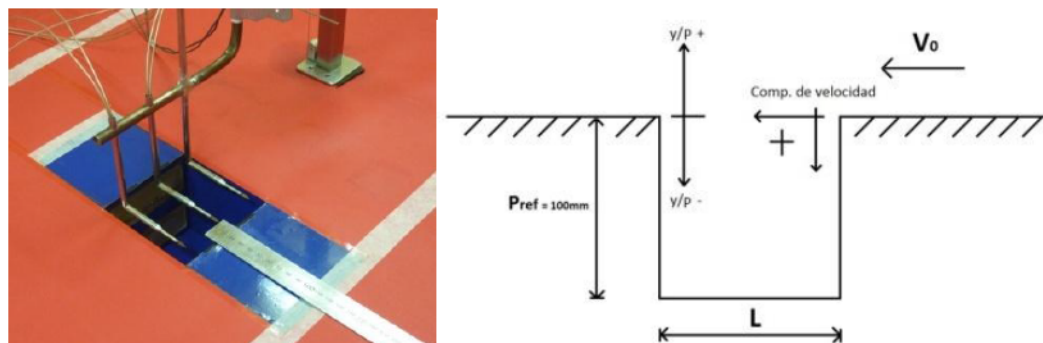


Figura 4. Relevamiento de la capa de corte y desarrollo tridimensional del flujo.

### Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización del sistema de inyección se presentan en la Figura 5 y Figura 6. La frecuencia de muestreo de la velocidad está fijada en 2000Hz, con filtro a 1000Hz, durante 6 segundos.

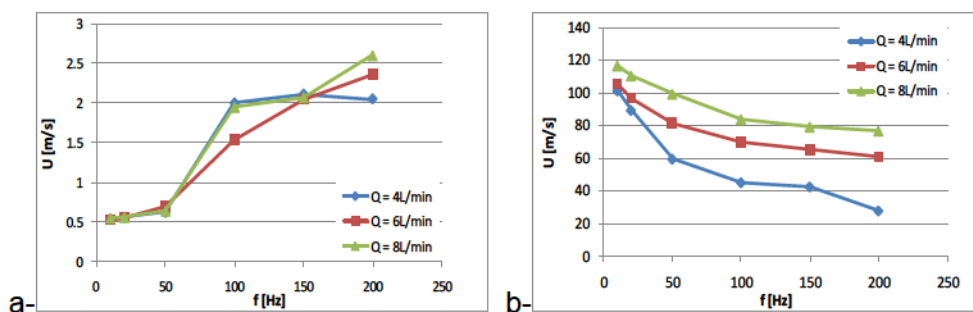


Figura 5. a-Velocidad mínima y b- Velocidad máxima.

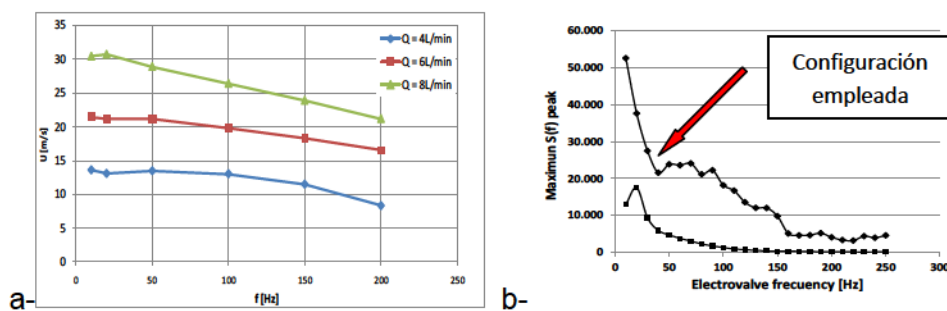


Figura 6. a- Velocidad media; b- Picos del espectro de frecuencias de U.

El mapa de wavelet de la Figura 7 demuestra que el pulso de aire reproduce la onda cuadrada con un ciclo de actividad del 50% que excita la electroválvula del inyector (caso de inyección a 10Hz, corresponde con el patrón bien definido en el margen inferior del mapa de wavelet).

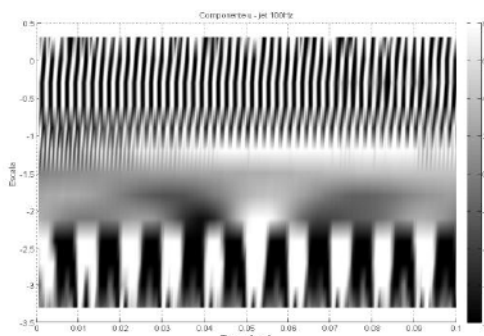


Figura 7. Mapa de wavelet de la velocidad de inyección a 10Hz.

En la Figura 8 se observan los perfiles de velocidad media de la componente vertical para tres casos característicos (“sin inyección de aire”, “con inyección continua”, “inyección a 10Hz”), para las estaciones E3 (arriba a la izquierda), E4 (arriba a la derecha) y E5 (abajo al centro) de acuerdo a lo indicado en la Figura 2. Es notable el apartamiento respecto al caso sin inyección tanto en magnitud como en signo de la velocidad hasta  $y/Pref = 0.3$  (30mm sobre la cavidad), disminuyendo rápidamente a medida que nos alejamos en la vertical.

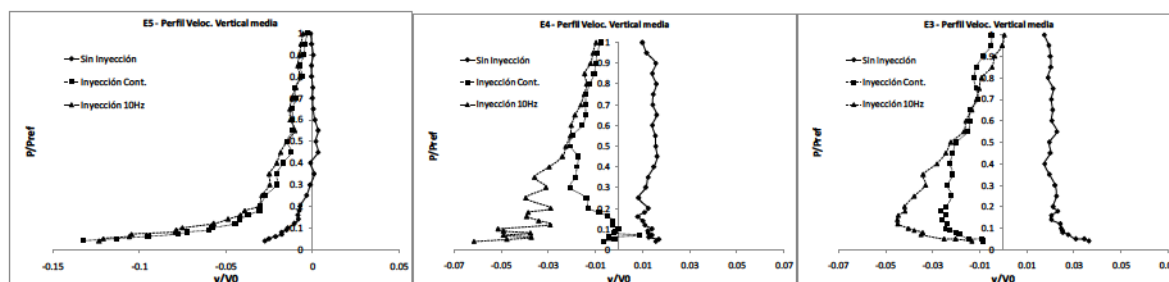


Figura 8. Componente vertical de la velocidad, en las estaciones E3, E4, E5.

La posición relativa al borde de ataque en la zona de “interface” entre el campo interior y el flujo exterior de la cavidad, se observa en la Figura 9.

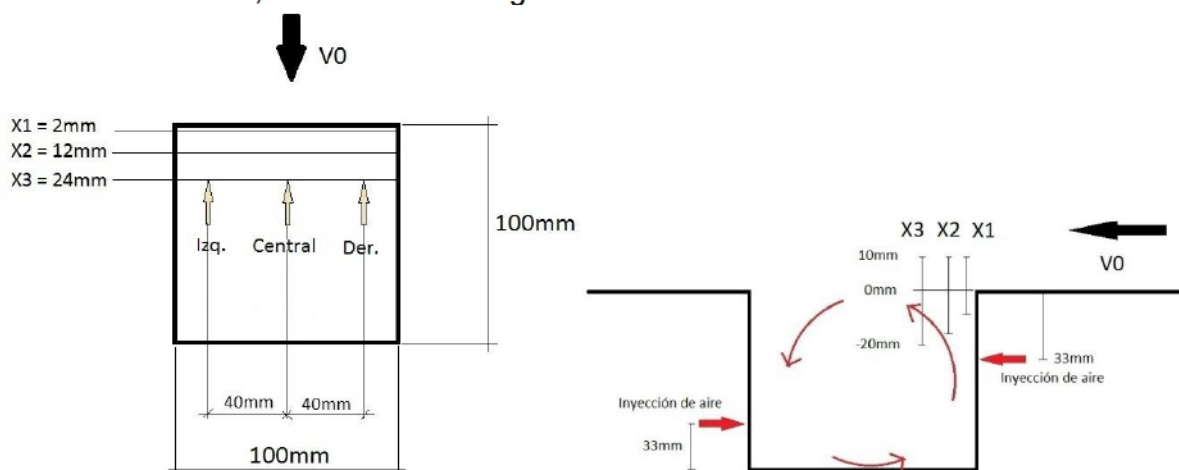


Figura 9. La posición relativa al borde de ataque en la zona de “interface”.

En la Figura 10 se observa la variación del perfil de velocidades medias en la capa de corte, sin inyección de aire, mientras que la Figura 11 y Figura 12 ponen en evidencia la influencia del soplado continuo y a 10Hz, respectivamente, ambos casos con un caudal de 4L/min por inyector (total 72L/min).

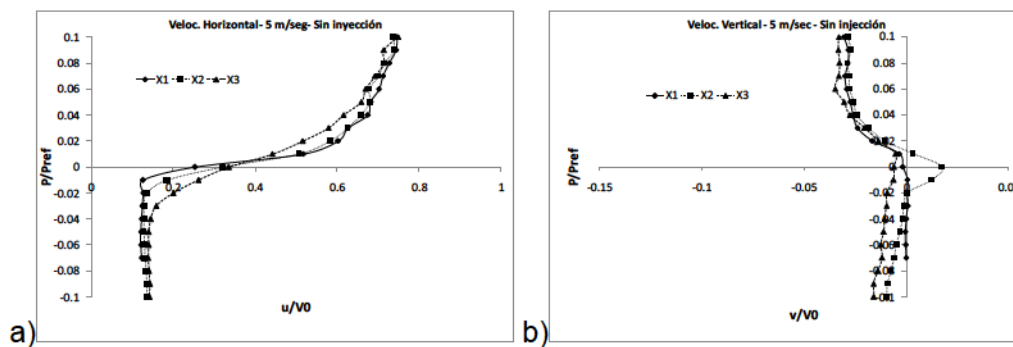


Figura 10. Perfiles de velocidad media, capa de corte, sin inyección.

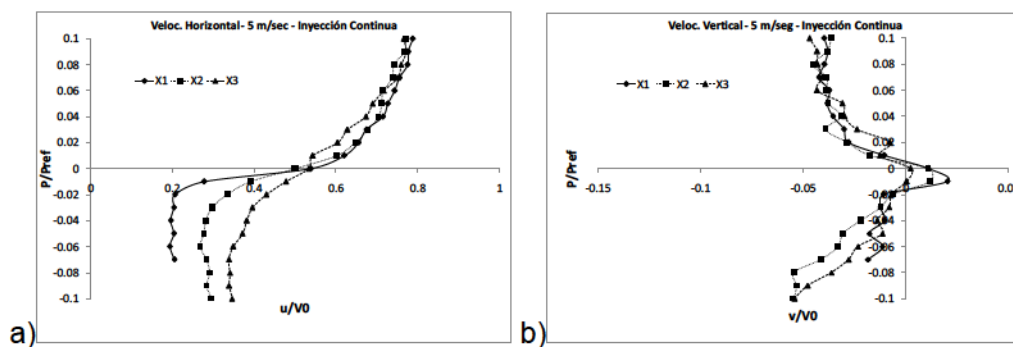


Figura 11. Perfiles de velocidad media, capa de corte, inyección continua.

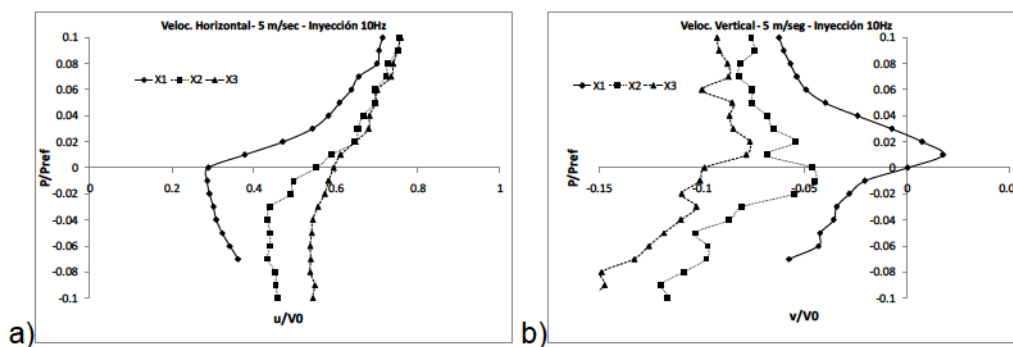


Figura 12. Perfiles de velocidad media, capa de corte, inyección 10Hz.

## Conclusiones

Los resultados preliminares evidencian el carácter pulsante de la inyección, con velocidades máximas fuertemente dependientes de la frecuencia y que se concentran en los instantes iniciales del pulso.

Resulta evidente el cambio en la energía puesta en juego en función de la frecuencia, a pesar de mantener la presión y el caudal de aire constante y respetar los ciclos de actividad del pulso. El análisis preliminar de los resultados sugiere que la variación del ciclo de actividad permitiría equalizar los niveles de energía para las diferentes frecuencias de inyección, y de esa manera evaluar la performance del sistema de inyección pulsante de aire como elemento de control de flujo sobre el dominio ensayado<sup>[1,2,11]</sup>.

El flujo que abandona el borde de ataque de la cavidad evoluciona generando un patrón de estructuras vorticosas a medida que avanza hasta encontrarse con el borde de fuga; la solución final del flujo necesariamente responde a una compleja relación entre las características propias del flujo y la geometría de la cavidad<sup>[3,4,9,10]</sup>.

Los perfiles de velocidad permiten observar el engrosamiento de la capa de corte hacia el borde posterior de la cavidad<sup>[7,8,12]</sup>, como así también la alteración que sufren en función de la frecuencia de inyección, lo que hace evidente la posibilidad de ejercer control indirecto sobre el flujo exterior manipulando el flujo interior de la cavidad, razón que motiva el análisis experimental de nuestro trabajo de investigación<sup>[5,9]</sup>.

No obstante, dado el carácter no estacionario del fenómeno y la fuerte dependencia con la geometría del dominio, se requiere información instantánea global que permita relacionar las variaciones del campo de flujo instante a instante en cada sector de la cavidad<sup>[8,10]</sup>. Por tal motivo se prevé a futuro completar estos resultados con mediciones de presiones instantáneas sobre la superficie de la cavidad.

## Bibliografía

1. Faris G. N. "Some Entrainment Properties of a Turbulent Axi-Symmetric Jet". Research Report N°39, Aerophysics Department, Mississippi State University, 1963.
2. Kozlov V. E. "Modernization of turbulent models for axisymmetric jet flow". Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 1993.
3. Roshko A: Some Measurement of Flow in a Rectangular Cutout; NACA TN Report-3488, 1955.
4. Rossiter J: Wind Tunnel Experiment on the Flow in Rectangular Cavities at Subsonic and Transonic Speeds; British ARC R& M No. 3428, 1964. (paper).
5. Cattafesta III L.N, Song Q., Williams D.R., Rowley C.W: Active control of flow-induced cavity oscillations; Progress in Aerospace Sciences, 2008, Vol. 44, pp 479-502.
6. Gharib M. and Roshko A.: The effect of flow oscillations on cavity drag; Journal of Fluid Mechanics, 1987, Vol. 177, pp. 501-530.
7. Rockwell D. and Naudascher E.: Review self-sustained oscillations of flow past cavities; 1978, Journal of Fluids Engineering. Vol. 100, Issue 2, pp. 152-165.
8. Lin J.C. and Rockwell D.: Organized Oscillations of Initially-Turbulent Flow Past a Cavity; 2000, US Department of Energy - Lockheed Martin Corporation, Report LM-00K80.
9. Gharib M., Roshko A. and Sarohia V.: Effect of Flow Oscillations on Cavity Drag and a Technique for their Control; 1985, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
10. Pereira J. C. and Souza J. M.: Experimental and Numerical Investigation of Flow Oscillations in a Rectangular Cavity; 1995, Journal of Fluids Engineering, Vol. 117, pp. 68-74.
11. Schachenmann A. and Rockwell D.: Self-Generation of Organized Waves in an Impinging Jet at Low Mach Numbers, 1982, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 117, pp. 425-441.