

CONTROL DE FLUJO ACTIVO SOBRE UNA CAVIDAD A BAJO NÚMERO DE REYNOLDS

García Saíenz, Mariano O.^{1,2}; Marañón Di Leo, Julio^{1,3}; Delnero, Juan S.^{1,3}; Colman, Jorge¹; Algozino, Santiago¹.

¹Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina.

²Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11, 1900, La Plata.

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA.

mariano.garciasainz@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: cavidades, control de flujo, bajo Reynolds, túnel aerodinámico.

Introducción

El patrón fluidodinámico que desarrolla una cavidad inmersa en flujo incidente turbulento responde a una compleja relación entre las características geométricas de la misma y las del flujo incidente. Existen cavidades de las más diversas formas y tamaños que en determinadas condiciones generan efectos adversos, ya sea en detrimento del confort eólico hasta serios problemas estructurales por efectos de resonancia. La posibilidad de modificar el patrón de flujo exterior a la cavidad mediante inyección de aire en su interior hace posible considerar a la cavidad como mecanismo de control de flujo "indirecto". Debido al amplio espectro de aplicación, el flujo en cavidades resulta de gran interés tanto desde el punto de vista práctico como académico. Para una cavidad abierta típica, los niveles acústicos inducidos alcanzan los 160dB en régimen transónico, y alrededor de 130dB en vehículos de calle a 110km/h debido a que el lugar para pasajeros funciona como un resonador Helmholtz, e inclusive, los fenómenos de resonancia pueden significar un aumento del 250% de la resistencia aerodinámica. Por otro lado, los procesos de transporte de masa de agentes contaminantes se ven afectados por el flujo en cavidades formadas por las condiciones geográficas o los asentamiento urbanos y desde hace varios años se estudia su aplicación en combustión supersónica de motores scramjet.

El flujo en cavidades abiertas es un sistema dinámico complejo, que de acuerdo a varios investigadores está conformado por cuatro procesos fluidodinámicos elementales:

- Amplificación de las perturbaciones vorticosas por la capa de corte;
- Generación de ondas de presión a través de la interacción superficie-vórtice;
- Propagación aguas arriba de las ondas acústicas;
- Conversión de las ondas de presión en ondas vorticosas en el borde a barlovento de la cavidad.

Para poder modificar el patrón fluidodinámico asociado a la cavidad abierta, es necesario interactuar de alguna manera con el flujo, entendiéndose por control todo tipo de mecanismo o proceso a través del cual el flujo en el entorno del cuerpo es llevado a un comportamiento diferente del que exhibiría si se desarrollara normalmente en la ausencia de dichos mecanismos y/o procesos. Pero para poder analizar los efectos de las acciones de control, es necesario conocer primero los fenómenos que determinan el comportamiento fluidodinámico natural de la cavidad, para luego evaluar cuáles pueden ser los sistemas de control más adecuados para los resultados que se deseen obtener. Existe una amplia variedad de estudios tanto experimentales como de simulación numérica en el tema en cuestión pero aún no se tiene un entendimiento

cabal y final respecto de la acción de estos dispositivos como sistemas de control de flujo en condiciones de flujo incidente turbulento, y no se conoce con suficiente nivel de detalle la respuesta de la cavidad abierta frente a acciones de control en lazo abierto. Se debe considerar la relevancia de esto último, dada la importancia que representa poder escalar los resultados de ensayos de laboratorio a las escalas y condiciones reales.

Por tal motivo, el trabajo de investigación se ha orientado al estudio experimental de mecanismos de control de flujo a lazo abierto, en particular de succión y soplado, de manera de encontrar la manera de “actuar” sobre la capa límite por sobre y en las inmediaciones de la cavidad, ejerciendo control sobre el vórtice dentro de la misma. En consecuencia, el estudio y aplicación de mecanismos de control de flujo ayudará a obtener mejores rendimientos de los cuerpos aerodinámicos en los cuales se hayan implementado, controlando el campo del flujo circundante en las distintas condiciones de operación en ambientes de atmósferas turbulentas. En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos de ensayos experimentales en túnel de viento del LaCLyFA-FI-UNLP, al medir, mediante técnicas de anemometría de hilo caliente, la configuración fluidodinámica sobre una cavidad rectangular abierta de 10cm. de lado inmersa en flujo turbulento (intensidad de turbulencia $> 1.8\%$) para diferentes velocidades de la corriente libre, y considerando caudales y frecuencias de conmutación de inyección de aire.

Desarrollo experimental

Los ensayos se realizaron en el túnel aerodinámico cerrado de capa límite turbulenta del LaCLyFA (Figura 1), de 1m por 1,4m de sección de prueba, con la intención de estudiar el comportamiento del flujo en el entorno de una cavidad abierta de 10cm de lado, dotada de un lateral transparente para los ensayos de visualización con humo, 18 picos de inyección de aire dispuestos en las paredes verticales y 36 tomas de presión (18 en dos hileras en el fondo y 9 en cada lateral), como se observa en la Figura 2.



Figura 1. Túnel aerodinámico del LaCLyFA.

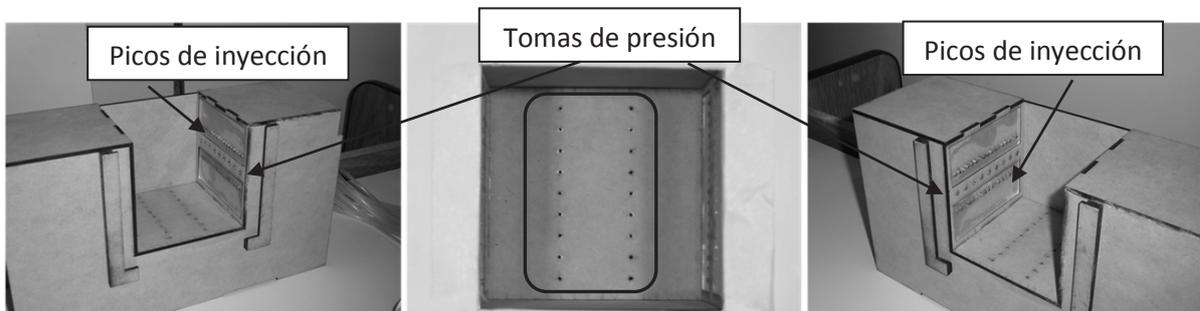


Figura 2. Configuración de la cavidad ensayada.

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 y poder asegurar la boquilla de la máquina de humo para efectuar los ensayos de visualización inyectando el humo en la corriente libre a diferentes velocidades. Estos ensayos 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, para 2, 5 y 10m/s, comenzando 20cm aguas arriba y terminando 20cm aguas abajo de los límites de la cavidad, discretizado en 7 estaciones de las cuales tres están asociadas a la cavidad; una está en coincidencia con el borde a barlovento (P3), una en la mitad de la cavidad (P4) y una en el borde a sotavento (P5), tal como se observa en la Figura 3.

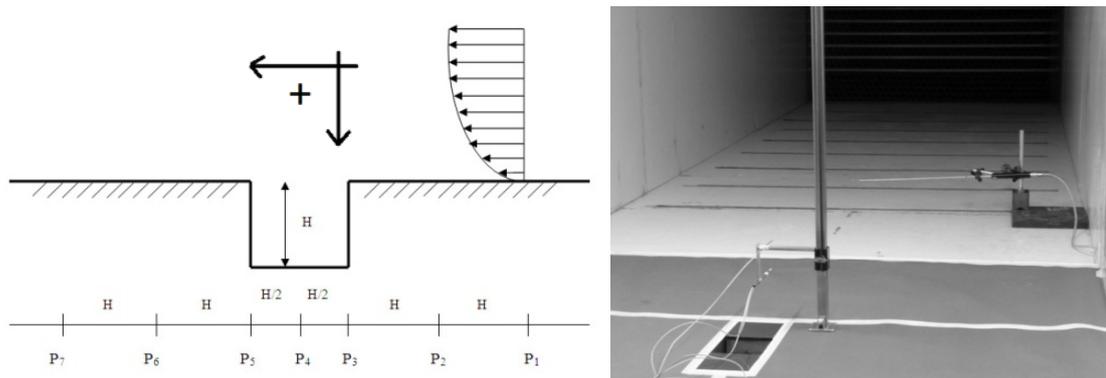


Figura 3. Estaciones de medición de velocidades.

Para cada estación se barre comenzando a 3mm desde el piso del túnel hasta 10cm de altura, con un paso de 1mm. Este ensayo se realiza con un anemómetro de hilo caliente de temperatura constante (Dantec StreamLine 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 de turbulencia, escalas de turbulencia, etc. para las tres velocidades consideradas. En otro ensayo se llevó a cabo la medición de presiones en el interior de la cavidad, también para las tres velocidades mencionadas anteriormente, empleando un micromanómetro digital de alta resolución Alnor EBT-721 y/o un escáner de presiones Pressure System Scanner 98RK, habiéndose diseñado y construido un selector de tomas de presión para mejorar el desarrollo del ensayo.

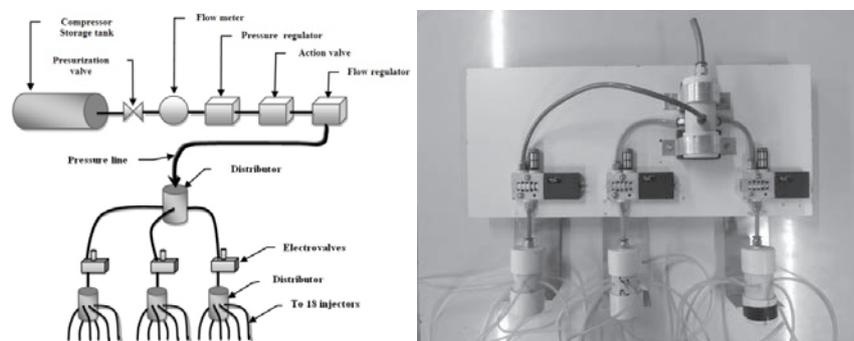


Figura 4. Sistema de inyección de aire.

El estudio incluye la caracterización del sistema de inyección de aire de la Figura 4, dotado de electroválvulas FESTO de alta frecuencia (270Hz), para lo cual fue necesario implementar un banco de ensayo específico fuera del túnel aerodinámico. Los resultados de la caracterización se presentan en la Figura 5; el espectro de frecuencias confirma que el aire es inyectado dentro de la cavidad a la misma frecuencia que es conmutada la electroválvula, existiendo una importante atenuación en la energía dada por la configuración del sistema, necesaria para asegurar la uniformidad de inyección en la envergadura de la cavidad.

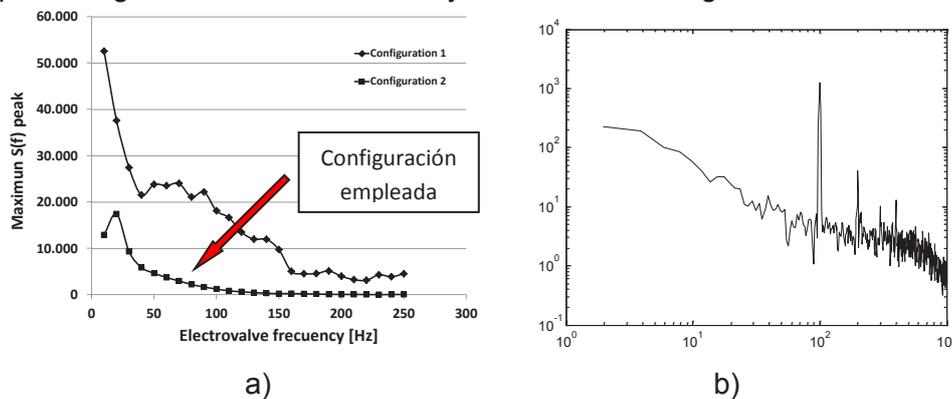


Figura 5. Caracterización del sistema de inyección de aire; a) picos máximos de los espectros en función de la frecuencia de actuación; b) espectro de frecuencia para inyección a 100Hz.

El aire es inyectado al interior de la cavidad a través de los picos uniformemente distribuidos en dos hileras en la envergadura, 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 de la cavidad, tal como se observa en Figura 6.

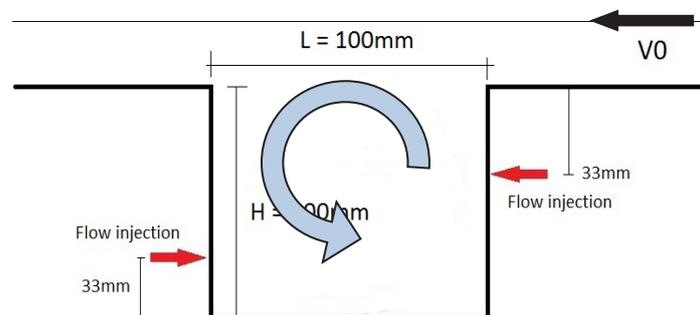


Figura 6. Puntos de inyección de aire.

En una segunda etapa de investigación, se realizaron ensayos de medición de velocidades en la capa de corte sobre la cavidad, en tres estaciones en la envergadura en simultáneo, como se observa en la Figura 7. 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.

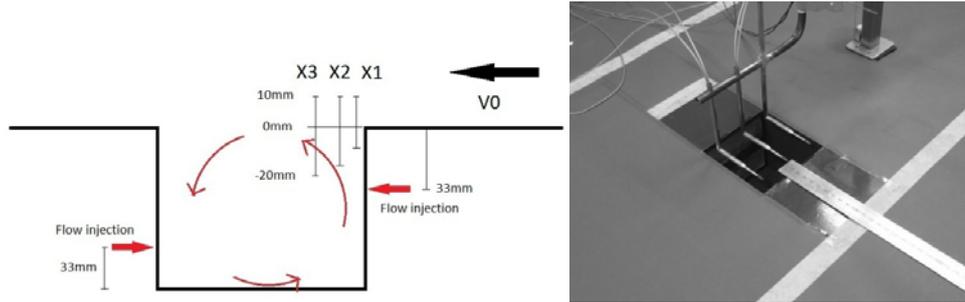


Figura 7. Relevamiento de la capa de corte y desarrollo tridimensional del flujo.

Resultados y discusión

Se decidió trabajar con dos velocidades de la corriente libre siendo 2 y 5m/s, lo que determina un número de Reynolds basado en la profundidad de la cavidad (igual a 10cm.) de 11.100 y 27.800 respectivamente. En la Figura 8 se presenta la visualización del flujo dentro de la cavidad sin inyección de aire, y los resultados de los ensayos de relevamiento de presiones internas para la cavidad sin inyección de aire.

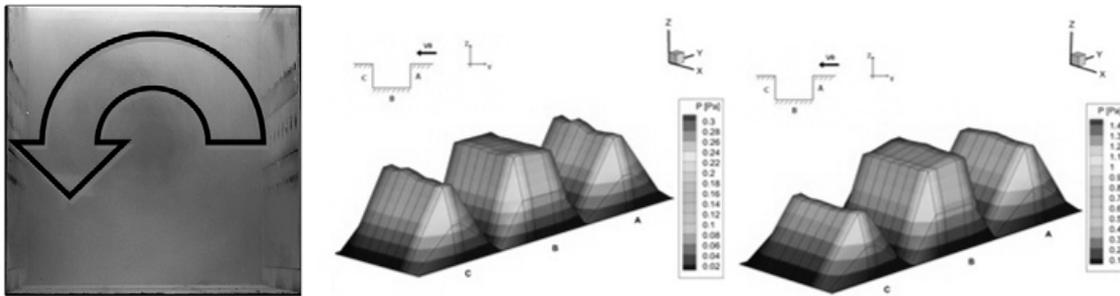


Figura 8. Visualización del flujo interior de la cavidad y presiones medias para $V_0=2$ y 5m/s , sin inyección de aire.

En la Figura 9 se observan los perfiles de velocidad de la componente vertical para cuatro casos característicos (sin inyección de aire, con inyección continua, inyección a 10Hz e inyección a 200Hz), para las estaciones P3, P4 y P5 de acuerdo a lo indicado en la Figura 3. Es notable el apartamiento respecto al caso sin inyección tanto en magnitud como en signo (convención Figura 3) de la velocidad hasta los 3cm sobre la cavidad, disminuyendo rápidamente a medida que nos alejamos en la vertical.

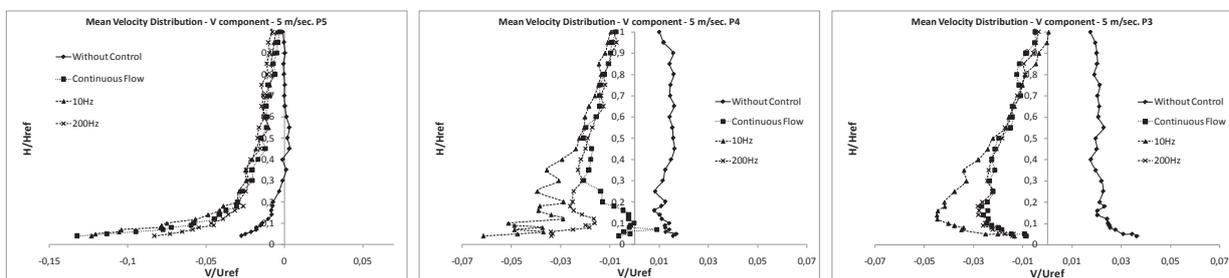


Figura 9. Componente vertical de la velocidad, en las estaciones P3, P4 y P5.

En la Figura 10 se observa la variación del perfil de velocidades en la capa de corte para la estación X1 de acuerdo a la Figura 7, para el caso sin inyección de aire, inyección a 10Hz y

100Hz respectivamente, para un registro en simultáneo de las tres puntas separadas 40mm a cada lado del eje longitudinal. Observar la variación respecto al caso sin inyección.

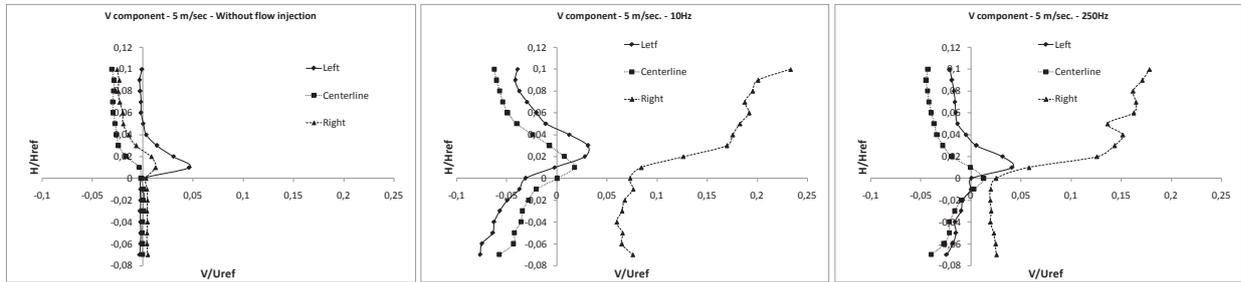


Figura 10. Capa de corte, estación X1, variación en la envergadura de la componente vertical.

Se efectúa un análisis con la transformada wavelet sobre la componente vertical de velocidad para la estación X1 y se compara el caso sin inyección (Figura 11 a)) con inyección a 100Hz (Figura 11 b)); en ambos casos para una posición 2mm por detrás del borde de ataque y a 4mm por encima del techo de la cavidad. Las frecuencias presentes son 4Hz, 12Hz, 23Hz y 32Hz, apareciendo una componente a 100Hz en el caso de inyección.

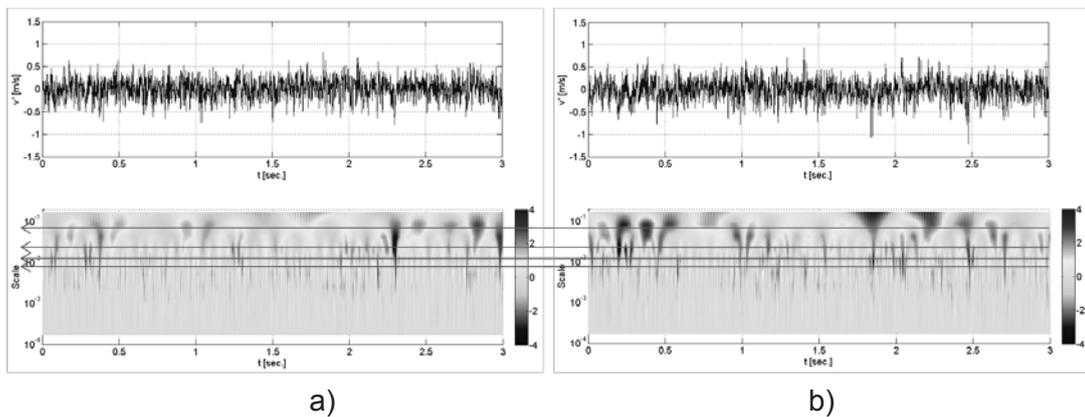


Figura 11. Wavelet componente vertical de la velocidad, estación X1, $V_0 = 5\text{m/s}$.

Conclusiones

Cuando el flujo incidente es turbulento, la interacción con las oscilaciones coherentes pueden generar una variación muy significativa del patrón de flujo debido a la influencia de la capa límite turbulenta sobre la cavidad, dando lugar a una importante distorsión de las estructuras incidentes lo cual genera una rango de escalas turbulentas, evidente en el análisis wavelet. Es posible observar el engrosamiento de la capa de corte hacia el borde posterior de la cavidad y la variación de los perfiles en función de la frecuencia de inyección empleada, 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.

Bibliografía

Roshko A., "Some Measurement of Flow in a Rectangular Cutout," NACA TN Report-3488, 1955.

Rossiter J., "Wind Tunnel Experiment on the Flow Over Rectangular Cavities at Subsonic and Transonic Speeds," British ARC R & M No. 3428, 1964.