



Instalación experimental para la visualización con humo de fenómenos no estacionarios cíclicos

Santiago Pezzotti (1), Juan A. Cárdenas-Rondón (2), Vicente Nadal Mora (1), Joaquín Piechocki (1)

(1) UIDET GTA GIAI, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Aeroespacial, Universidad Nacional de La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina

(2) Universidad Politécnica de Madrid. Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva" (IDR/UPM), Plaza Cardenal Cisneros, 3, Madrid, 28040, España.

Santiago Pezzotti: santiagopezzotti@gmail.com

Palabras claves: ESTUDIO EXPERIMENTAL, TÚNEL AERODINÁMICO, VISUALIZACION

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar de forma detallada la instalación experimental para ensayos en túnel aerodinámico con visualización de humo desarrollado en el GIAI (Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria - UIDET GTA-GIAI de la Universidad Nacional de La Plata) y utilizado en colaboración con el Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva" de la Universidad Politécnica de Madrid (IDR/UPM).

Se desarrolló una instalación experimental, compuesta por un túnel aerodinámico de baja velocidad, una máquina de generación de humo y un sistema de iluminación estroboscópica, la cual se ha mostrado eficaz para el estudio de fenómenos no estacionarios de naturaleza cíclica. Dos campos de estudio se han desarrollado con esta instalación: por un lado, el estudio del efecto Magnus sobre cuerpos cilíndricos en rotación, para diferentes velocidades angulares y del aire [1, 2] y, por otro, el estudio de placas planas oscilando con vibración forzada a torsión. Este último campo de estudio se ha iniciado recientemente en colaboración con el IDR/UPM y se ha enfocado en el análisis del flujo alrededor de una placa plana oscilando en cabeceo con amplitud constante, diferentes ángulos medios y diferentes frecuencias. El objetivo de este trabajo de colaboración es complementar los estudios de inestabilidades aerodinámicas a torsión llevadas a cabo previamente [3, 4].

Ambos estudios serán empleados en este trabajo como casos de estudio para explicar los componentes, el funcionamiento y los trabajos futuros de la instalación experimental analizada.

Introducción

El túnel aerodinámico de baja velocidad descrito en el presente trabajo ha sido desarrollado con el objeto de realizar dos tipos de ensayos: uno de mediciones de fuerzas de sustentación y resistencia aerodinámicas, y otro de visualización de flujo en torno a modelos sometidos a rotación para el estudio del efecto Magnus [1, 2]. Gracias a diferentes tipos de ensayos de fenómenos no estacionarios cíclicos es que la instalación se fue perfeccionando con el objeto de obtener visualizaciones que permitan explicar los resultados de las mediciones de fuerzas. Así mismo, mediante ensayos de interlaboratorio entre el GIAI y el IDR, se han podido realizar visualizaciones para contrastar resultados determinados en el túnel AB6 que posee dicha universidad.

Los ensayos de visualización de flujo pretenden mostrar el campo de flujo momentáneo alrededor de un cuerpo, así como desprendimientos, torbellinos y puntos de estancamiento. Como la intención principal de estos ensayos es poder visualizar fenómenos no estacionarios cíclicos, se necesita sincronizar en frecuencia el flujo respecto al movimiento de un cuerpo (rotación en caso de estudio del efecto Magnus y batimiento en caso de placas planas oscilando con vibración forzada) con el equipo de iluminación. Para esto se debe

montar un sistema generador de humo como agente visible, un acondicionador para la cantidad de humo, una boquilla inyectora, una luz estroboscópica para sincronizar el movimiento con el flujo y una cámara de fotos para obtener una fotografía o video, según necesidad, para el análisis de flujo y posteriores mediciones indirectas de posiciones y dimensiones de desprendimientos y torbellinos.

El presente trabajo describe la instalación experimental junto a sus componentes, el funcionamiento para la determinación de visualizaciones de flujo en torno a los cuerpos, junto a algunos ejemplos de desarrollo realizados en el mismo y trabajos futuros.

Desarrollo

Instalación Experimental

Basado en la Norma IRAM 19004 (AMCA 210) se construyó un túnel de viento para la realización de ensayos aerodinámicos de fenómenos no estacionarios cíclicos. El mismo consta de las siguientes secciones y componentes:

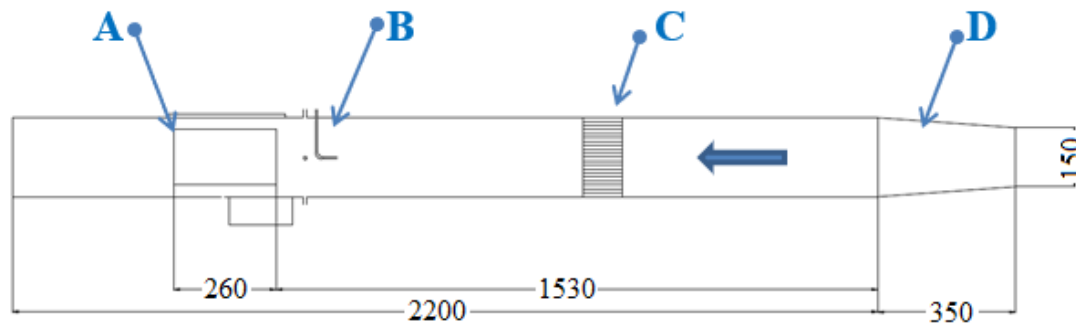


Figura 1 – Diseño del túnel de viento y sus secciones (dimensiones en mm)

A - Sección de Prueba: El túnel tiene una sección transversal de 0,2 x 0,2 m: la sección de prueba tiene una longitud de 0,3 m, donde se monta el modelo a ensayar. El interior se encuentra revestido de cartulina negra con el fin de generar contraste con la iluminación del humo. La sección de prueba está provista de dos ventanas, una lateral fija de acrílico y una superior móvil, con el objeto de acceder a los modelos. Mediante estas ventanas se realiza la iluminación del modelo en frecuencia y la toma de fotografías o videos. En la parte inferior externa de la misma se encuentra una bancada, donde se monta la balanza para la medición de fuerzas.

B - Sección de medición de presiones: Esta sección es donde se miden las presiones estáticas y la total con el objeto de determinar la velocidad de la corriente dentro del túnel. Posee una toma de presión total en el centro y cuatro tomas de presión estáticas ubicadas una en cada pared. Las tomas de presión estática se encuentran conectadas entre sí y tienen una sola salida al medidor de presiones (ver equipamiento - Micromanómetro)

En la figura 2 se puede observar la sección de prueba y la sección de medición de presiones.

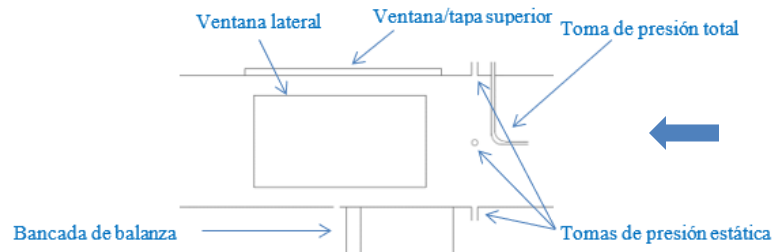


Figura 2 – Sección de prueba y sección de medición de presiones

C - Sección de enderezadores de flujo: Los mismos están contruidos de caños de PVC de 2 cm de diámetro y poseen un largo de 10 cm. Se encuentran pegados entre sí y cubren toda la sección del túnel.

D - Difusor: Cumple la función de adaptar la salida del soplador al túnel. Tiene 350 mm de largo y genera una contracción del 50% de la sección del túnel.

Equipamiento

A continuación se presentan los elementos que se adicionan al túnel de viento para la realización de los ensayos:

Soplador: Es del tipo centrífugo con un caudal nominal de 7.000 m³/h. El mismo posee un motor trifásico Siemens Schuckert de 3 HP. Para obtener diferentes caudales se utiliza un variador de frecuencia que se encarga de regular la velocidad de rotación del motor.

Variador de frecuencia: Es de uso comercial marca ABB modelo ACS150. Se utiliza para poder variar la velocidad de rotación del motor del soplador y así, seleccionar el caudal deseado para el ensayo.

Micromanómetro: Micromanómetro diferencial de columna inclinada de alcohol marca R-Fuess. El mismo se conecta a las dos tomas de presión, la estática y la total; de este modo se puede conocer la presión dinámica de manera directa.

Rango: 0 – 200 mm Col. Agua. Resolución: 0,05 mm Col. Agua.

Balanza: Balanza digital marca Schwyz modelo DINDIG10N. La misma se encuentra montada sobre la bancada ubicada en el piso del túnel del lado exterior. Sobre el sensor de la balanza se encuentra montado el motor que permite el giro de los modelos.

Rango: 0 – 10 N. Resolución: 0,005 N.

Tacómetro estroboscópico: Marca Lutron modelo DT-2239A. Se utiliza dicho instrumento para la medición de las velocidades de rotación de los modelos desde afuera del túnel a través de la ventana de acrílico.

Rango: 100 – 10000 rpm. Resolución: 1 rpm.

Barómetro: Marca Druck modelo DPI740. Se utiliza para conocer la presión atmosférica en la sección de pruebas.

Psicrómetro: Se utiliza para la determinación de las temperaturas de bulbo húmedo y seco. Mediante la medición de estos parámetros y la presión atmosférica se puede determinar la densidad del aire en la sección de pruebas.

Cámara de fotos y soporte: Cámara fotográfica marca Nikon modelo D7000 sobre soporte trípode convencional de fotografía.

Máquina de humo: Máquina de humo comercial utilizada para ambientación marca MLB modelo Z400. Posee accionamiento a distancia.

Acondicionador del humo: Sistema de cañería de acero inoxidable que permite regular el pasaje de humo necesario a la sección de prueba. De aquí sale la cañería a la boquilla inyectora de humo. Este elemento se encuentra acoplado a un sistema de extracción de humos remanentes.

Caracterización

Con el fin de conocer los perfiles de velocidad y la intensidad de la turbulencia a diferentes velocidades de la corriente se realizó una caracterización del flujo dentro de la sección de pruebas.

Con un sistema de tubo Pitot, se midió la velocidad en nueve puntos de la sección de pruebas y se calculó la velocidad media a diferentes velocidades de la corriente.

Para el estudio de la turbulencia se utilizó un sistema de medición de hilo caliente DANTEC Streamline 90N10 con el cual se midió la velocidad de la corriente en el eje longitudinal, eje x y en el perpendicular a este, eje y (Figura 3), de esta manera se determinó la intensidad de la turbulencia según el eje x .

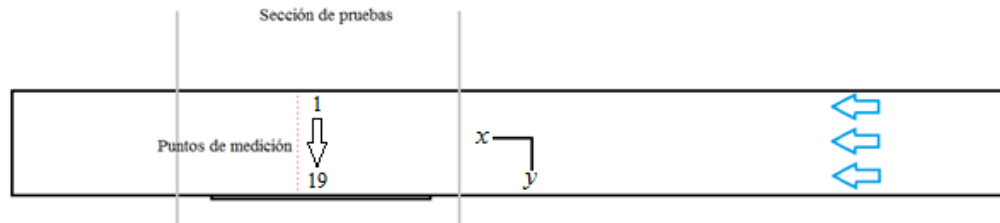


Figura 3 – Sección donde se realizó la caracterización

Se tomaron mediciones en 19 puntos, según el eje y del túnel a una altura correspondiente al centro de la sección, discretizando el ancho de la sección de pruebas del túnel cada 1 cm, para cada velocidad de ensayo. Para tal fin se dotó al túnel de una guía lineal externa con un soporte, que permitía movilizar el sensor de hilo caliente sin generar perturbaciones en las mediciones.

La intensidad de la turbulencia según el eje x del túnel de viento se sitúa entre el 2 y 3% en la zona central donde se ubican los modelos.

Instalación de visualización

Como se mencionó anteriormente, para los ensayos de visualización de fenómenos no estacionarios, se utilizó una luz estroboscópica para iluminar el cuerpo de manera lateral y una cámara montada en la parte superior (Figura 4).

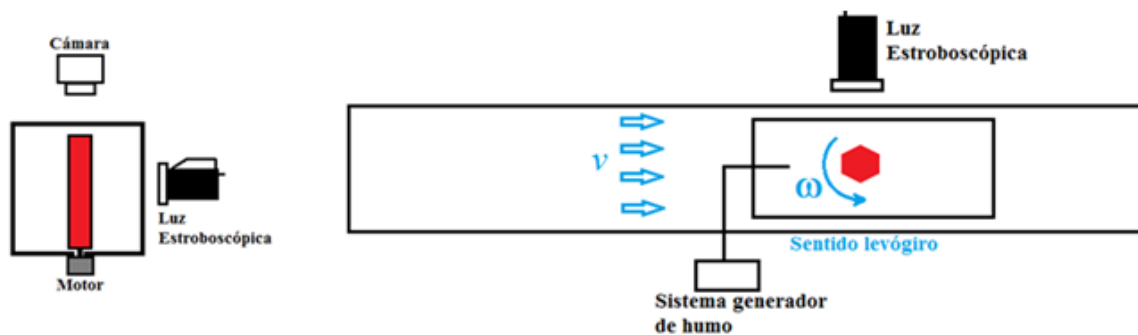


Figura 4 – Sistema completo de visualización y obtención de fotos (vista de frente y en planta)

Ensayos relacionados al Efecto Magnus

En este tipo de ensayos el cuerpo se encontraba en rotación sobre su eje principal mediante el uso de un motor eléctrico que permitía variar su velocidad de giro mediante un variador de tensión. A su vez este conjunto se encontraba montado sobre una balanza que permitió la medición de la sustentación y la resistencia aerodinámicas. Por otro lado, se medía la velocidad de la corriente libre obteniendo, por ejemplo, los siguientes resultados:

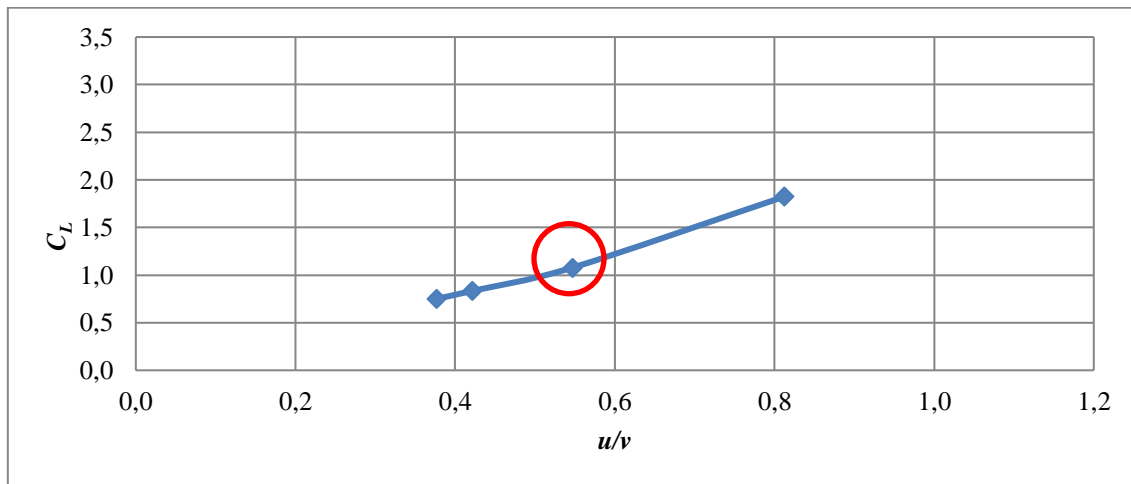
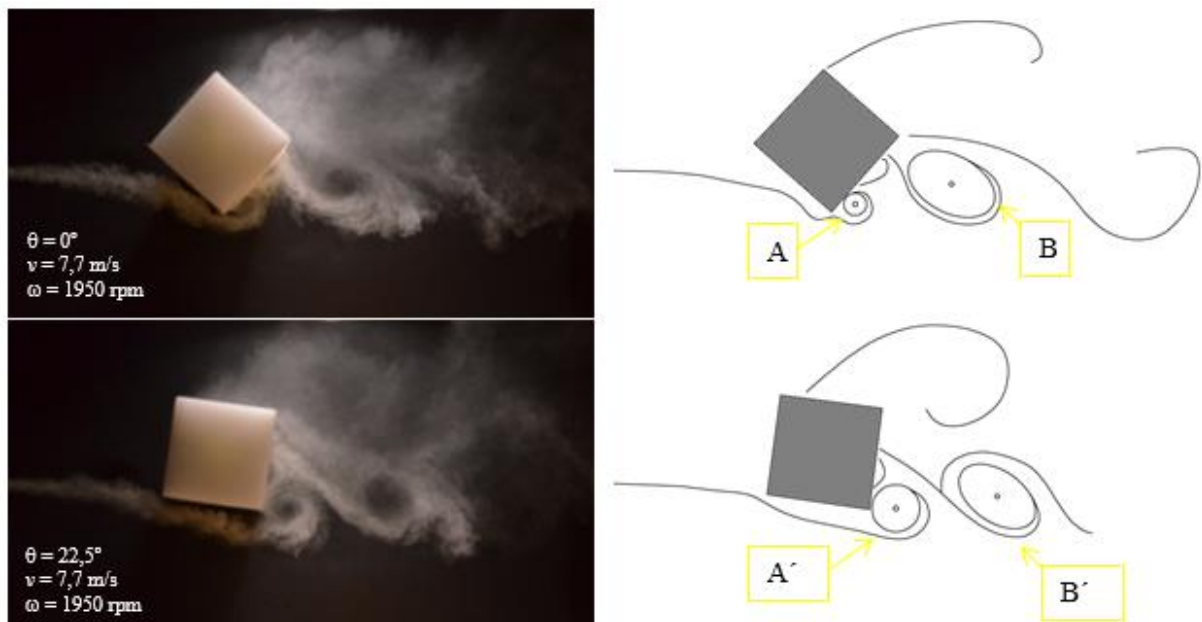


Figura 5 – Resultados de ensayo de un cuerpo cilíndrico de sección cuadrada en rotación (C_L : coeficiente de sustentación, u : velocidad tangencial ($\omega \cdot r$), v : velocidad de la corriente libre) El círculo rojo es el punto que corresponde a las imágenes de la Figura 6.



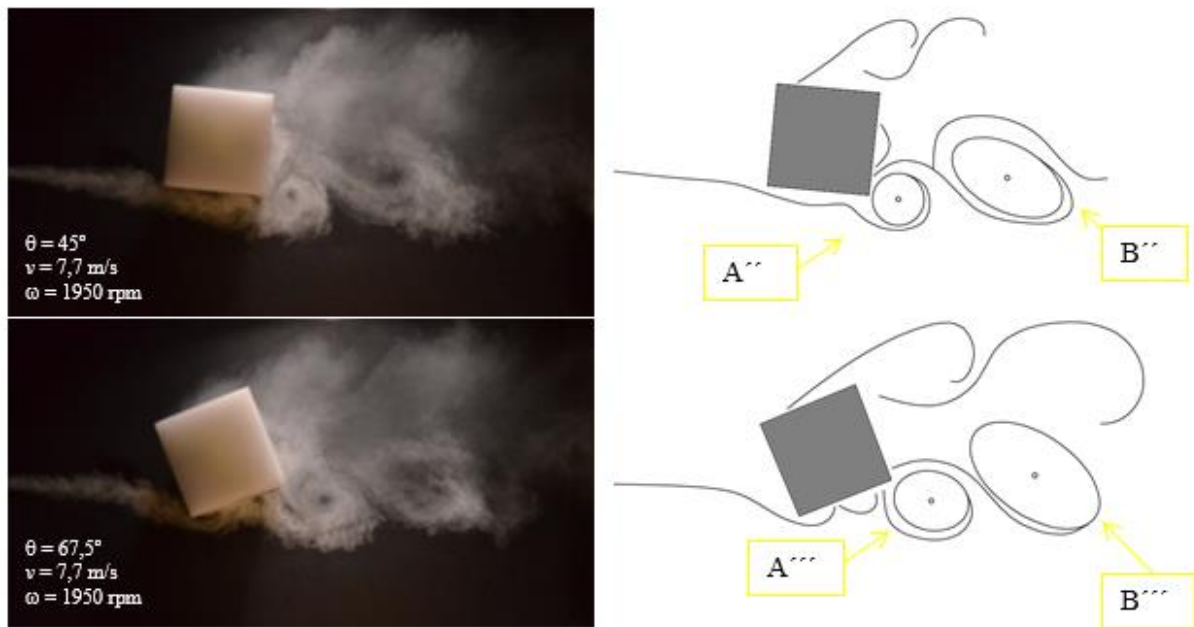


Figura 6 – Resultados de ensayo de visualización de un cuerpo cilíndrico de sección cuadrada en rotación y análisis de la posición de los torbellinos.

Este mismo ensayo se ha realizado en cuerpos cilíndricos de diferente sección (decágono, octógono, hexágono, cuadrado, triangular y placa plana (griosa y fina)). A continuación, se presentan algunos resultados a modo de ejemplo:



Figura 7 – Ejemplos de resultados de ensayo de visualización de un cuerpo cilíndrico de sección triangular y otro de una placa plana.

Ensayos relacionados a estudio de placas planas oscilando con vibración forzada a torsión

Los ensayos de visualización de placas planas oscilando se realizaron a partir del trabajo previo que se vienen llevando a cabo en el instituto IDR del ETSIAE de la Universidad Politécnica de Madrid. En dicho instituto se realizaron ensayos de medición de fuerzas y vibraciones, donde se pudieron detectar diversos comportamientos asociados a la estabilidad de la placa en función de la velocidad del viento y el ángulo de inclinación de esta [3, 4]. Para un mejor entendimiento de los fenómenos físicos que dan lugar a esos comportamientos se requieren ensayos de visualización de flujo.

Por tal razón se diseñó un sistema de vibraciones sinusoidales forzadas, descrito en la figura 8, y un modelo acorde a la instalación de visualización de referencia y se realizaron diversos ensayos de visualización para diferentes velocidades de la corriente libre, ángulos de inclinación y vibraciones cíclicas definidas con un motor de corriente continua y un regulador de voltaje. El montaje se realizó sobre las paredes exteriores del túnel y dentro de la sección de prueba sólo se montó la placa plana. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el IDR correlacionados con las visualizaciones.

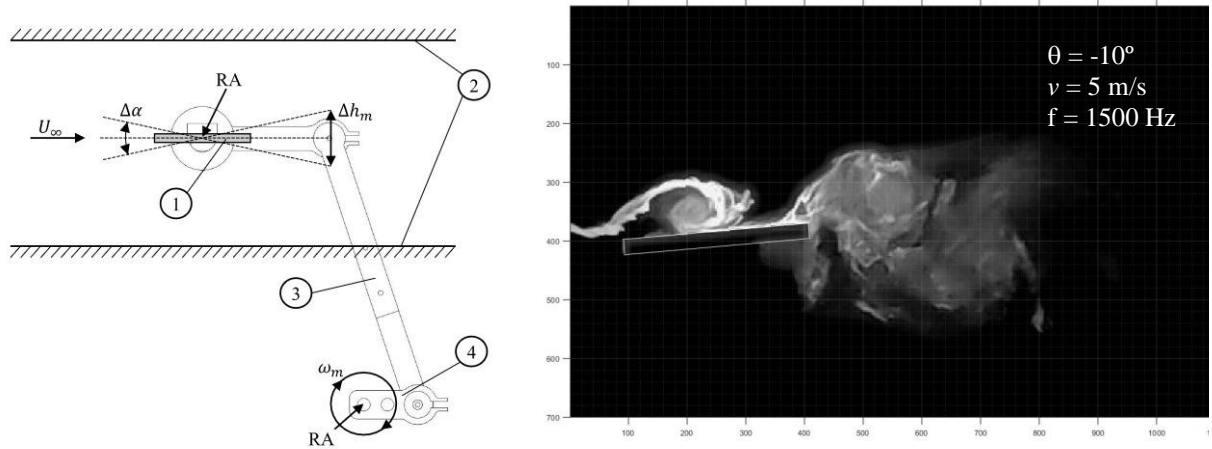


Figura 8 – Izquierda: esquema de la vista en planta del montaje de vibraciones forzadas para visualización con humo, 1) modelo de placa plana, 2) paredes del túnel, 3) biela, 4) manivela conectada al motor. Derecha: ejemplos de resultados de ensayo de visualización de una placa plana oscilando sinusoidalmente.

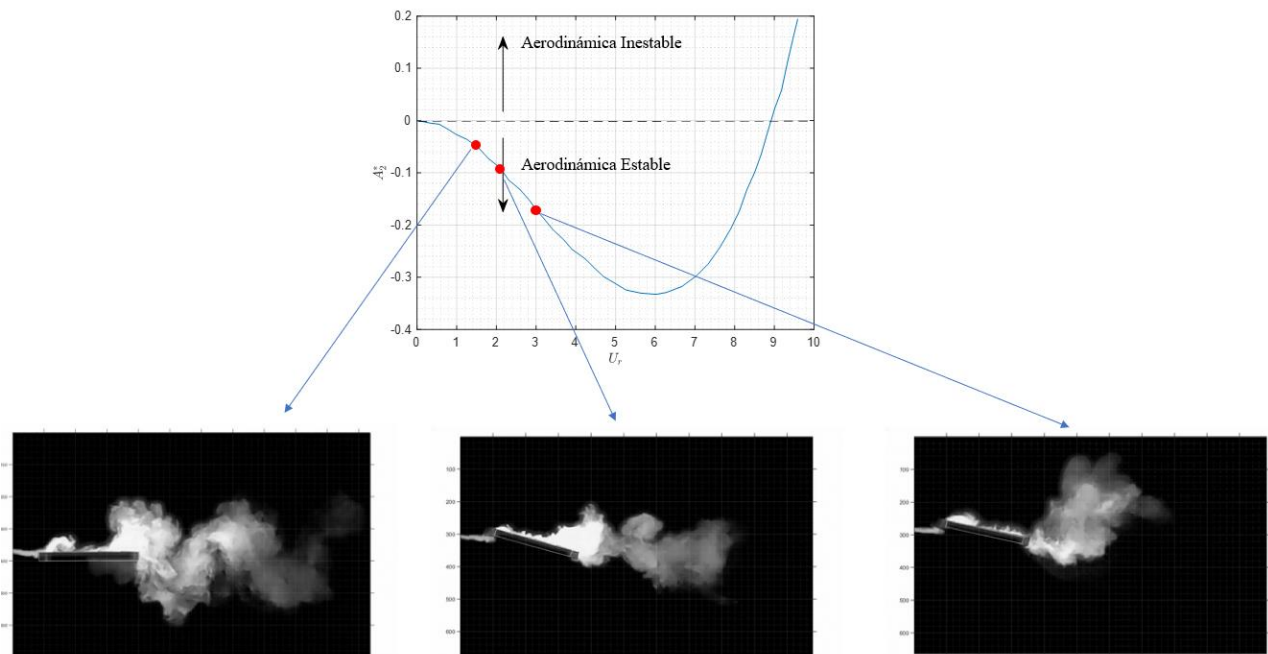


Figura 9 – Ejemplos de resultados de ensayo de medición de fuerzas y vibraciones correlacionado con los ensayos de visualización. (Gráfico: Eje x: Velocidad reducida, Eje y: derivativa aerodinámica)



7º Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Conclusiones

Los ensayos de visualización permiten identificar y entender los comportamientos de un cuerpo con movimiento cíclico a partir de analizar el flujo entorno al mismo. En este caso, el túnel fue utilizado con el propósito de medir fuerzas aerodinámicas y visualizar los desprendimientos que expliquen el comportamiento, en el caso del efecto Magnus de la sustentación y en el caso de las placas planas oscilantes de comportamientos dinámicos (amortiguado, sub amortiguado y crítico).

Gracias a las fotografías y videos se pudo comprender el comportamiento de la generación de sustentación oscilante producida por el efecto Magnus en cuerpos de sección roma (cuadrados, triángulos) cuyos bordes afilados generan desprendimientos y torbellinos claros. Así mismo, estos estudios han permitido fundamentar los ensayos realizados en otro túnel aerodinámico y poder correlacionarlos para poder comprenderlos.

La presente instalación experimental para la visualización con humo es una herramienta que, sumada a la medición de fuerzas y vibraciones, permite completar los ensayos experimentales útiles para cualquier estudio de fenómenos no estacionarios cíclicos.

Trabajos futuros

Se prevé trabajar en la medición de la distancia de los torbellinos asociados en un mismo ensayo, y a la medición de sustentación y resistencia aerodinámicas en frecuencia con el objeto de determinar cuánto afecta la distancia de separación del desprendimiento respecto al cuerpo.

Así mismo, continuar colaborando con los ensayos en la línea que lleva el IDR asociada a la placa plana oscilando.

Referencias:

- [1] Pezzotti, S. (2016). Estudio experimental del efecto Magnus en cuerpos cilíndricos de secciones transversales diversas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata.
- [2] Pezzotti, S., Nadal Mora, V., Sanz Andrés, A., Franchini, S. (2019). Experimental study of the Magnus effect in cylindrical bodies with 4, 6, 8 and 10 sides. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, pp 1-13.
- [3] Cárdenas-Rondón, J.A., Martínez-Cava, A., Franchini, S., López-Núñez, E., Navarro, A. Rodríguez, C. (2023). Parametric analysis of a flat solar tracker stability curve using aerodynamic derivatives. 16th international Conference on Wind Engineering.
- [4] Cárdenas-Rondón, J.A., Franchini, S., Ogueta-Gutiérrez, M., Marín-Coca, S., Martínez-Cava, A., (2022). Experimental study of the relationship between the power spectral density of the incident wind and buffeting moment on a two-dimensional single-axis flat solar tracker, in: *International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics*, pp. 1–5.