

# Aerodinámica Civil y Energía Eólica

Asignatura optativa del Programa:  
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INFRAESTRUCTURAS AEROESPACIALES  
E.T.S.I. Aeronáuticos

José Meseguer Ruiz, Angel Sanz Andrés, Alvaro Cuerva Tejero

Profesores colaboradores  
Isabel Pérez Grande, Santiago Pindado Carrión,  
Gustavo Alonso Rodrigo y Sebastián Franchini

## PRÓLOGO

La finalidad de este curso de postgrado es establecer las bases que permitan comprender las acciones del viento atmosférico sobre los distintos tipos de edificaciones y estructuras que se pueden encontrar sobre la superficie terrestre, a fin de facilitar su correcto diseño, y evitar en lo posible los desperfectos, por no hablar de fallos totales, que el viento ocasiona a veces en tales cuerpos.

Esta rama de la aerodinámica relacionada con la interacción entre un flujo fluido y cuerpos romos y no fuselados, que se ha dado en llamar aerodinámica civil, presenta dos características en cierta forma antagónicas. Por una parte el tratamiento de los problemas en consideración, sea analítico o numérico, resulta ser en extremo difícil (el flujo incidente es turbulento y las capas límites suelen estar desprendidas), pero por otra la obtención de resultados experimentales ensayando con modelos a escala en túneles aerodinámicos suele ser más fácil que cuando se trata de cuerpos de carácter aeronáutico. La situación no es exactamente la inversa en el caso de la aerodinámica aeronáutica, pues aunque en esta otra vertiente los ensayos en túnel con modelos a escala presentan no pocas dificultades, no se puede decir que el tratamiento matemático de los problemas de interés, sea analítico o numérico, esté exento de dificultades.

Así pues la aerodinámica civil descansa en gran medida en la experiencia fundamentada en los ensayos en túnel y en la actividad profesional, pero incluso aunque se posea esa experiencia, a la hora de cuantificar los efectos del viento, en muchos casos hay que acudir a la experimentación específica con modelos a escala del cuerpo en consideración para determinar los valores de los coeficientes de cargas de viento que afectan al conjunto o a las partes de una edificación en particular.

Los objetivos del curso se considerarían alcanzados si al finalizarlo el alumno ha conseguido entender las particularidades del flujo alrededor de cuerpos no fuselados, en particular el modo en que un flujo no estacionario puede afectar a una estructura más o menos flexible. Para ello el curso está estructurado de modo que en primer lugar se presentan algunas ideas básicas y generales sobre aerodinámica, especialmente las relativas a capa límite y desprendimiento de la corriente, así como aquellas relacionadas con la caracterización matemática del viento atmosférico. Posteriormente se abordan los problemas de las cargas estáticas y dinámicas sobre edificaciones y estructuras y, finalmente, se incluyen también algunas nociones relativas a la energía eólica.

Dada la limitación del tiempo disponible y la extensión de los contenidos se impone una selección de éstos, a fin de centrar la atención en aquellos aspectos realmente relevantes para los objetivos docentes del curso. Enseña la experiencia que en un curso de esta naturaleza es preciso establecer un cierto equilibrio entre formación e información, y esa es la razón por la que en el material docente del curso hay una parte que se puede etiquetar como de corte clásico, que corresponde a los contenidos seleccionados del texto de referencia adoptado [12], y otra que corresponde a desarrollos específicos sobre aerodinámica civil realizados en el Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva" de la Universidad Politécnica de Madrid (IDR/UPM) [10, 11, 16, 17], y que en razón de su carácter no confidencial han sido publicados total o parcialmente en la literatura científica abierta [1-9, 13-15] (véase también <http://www.idr.upm.es>, donde se puede encontrar una relación de los trabajos experimentales en túnel aerodinámico realizados en IDR/UPM en los últimos diez años).

De acuerdo con el índice del curso, gran parte del material docente está incluido en el texto antes citado [12], por lo que no se recogen aquí tales contenidos. Por tanto, el material docente de referencia para el curso son los capítulos correspondientes de [12] según la equivalencia de la tabla siguiente. Los contenidos relativos a energía eólica se recogen en el anexo A (aún no disponible), y en los anexos B, C, D y E se incluyen los ejemplos de aplicación relacionados el primero con cargas estáticas en edificaciones (la aparición de succiones muy elevadas en cubiertas y tejados debido a torbellinos cónicos y formas de aliviar tales cargas elevadas), el segundo con un problema clásico aeroelástico como es el de galope de cuerpos bidimensionales de sección no circular (centrado aquí en obstáculos de sección triangular), y un tercero donde se aborda el problema fluido-dinámico asociado al aprovechamiento energético de las fachadas acristaladas con dos cristales separados por un canal por el que puede circular el aire (fachadas de doble piel). También se ha añadido otro anexo, el E, donde se muestra el estado de la anemometría sónica.

TEMARIO	Capítulos, Ref. [8]
1 Capa límite y desprendimiento de la corriente	1. Conceptos básicos
2 El viento atmosférico: capa límite terrestre, caracterización del viento atmosférico	2. El viento atmosférico 3. Caracterización del viento
3 Cargas estáticas sobre edificaciones: formas básicas, influencia de los parámetros de forma, interferencias	4. Cargas estáticas sobre edificaciones
4 Fenómenos dinámicos en estructuras: calle de torbellinos de Karmán, galope, divergencia a torsión, flameo, bataneo, formas de reducir la vibración inducida por el viento	5. Fenómenos dinámicos en estructuras
5 Ensayos en túnel: semejanza dinámica, instrumentación, ensayos estáticos y dinámicos	7. Ensayos en túnel aerodinámico
Aprovechamiento energético de la energía del viento: aerogeneradores	ANEXO A En preparación
Cargas en cubiertas debidas a torbellinos cónicos	ANEXO B
Galope de cuerpos de sección triangular	ANEXO C
Análisis térmico y fluidodinámico de fachadas de doble piel	ANEXO D
Anemometría sónica	ANEXO E

#### NOTA

**Aunque el contenido de los anexos corresponde a material elaborado con anterioridad para otros propósitos, es posible que en el proceso de adaptación a este curso se hayan deslizado erratas e inconsistencias no detectadas por el momento. Para consultar la posible lista de erratas véase <http://www.idr.upm.es/sita>**

## REFERENCIAS

- 1 Alonso, G., Meseguer, J., A parametric study of the galloping instability of two-dimensional triangular cross-section bodies, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 94 (2006) 241-253.
- 2 Alonso, G., Meseguer, J., Pérez-Grande, I., Galloping instabilities of two-dimensional triangular cross-section bodies, *Experiments in Fluids*, Vol. 38 (2005 a) 789-795.
- 3 Alonso, G., Meseguer, J., Pérez-Grande, I., Galloping stability of triangular cross-sectional bodies: a systematic approach, en *Proceedings (on CD) of the 4th European, African Conference on Wind Engineering (EACWE-4) 11-15 July 2005, Prague, 2005 b*.
- 4 Cuerva, A., Sanz-Andrés, A., On the sonic anemometer measurement theory, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 88 (2000) 25-55.
- 5 Cuerva, A., Sanz-Andrés A., Sonic anemometry of planetary atmospheres, *Journal of Geophys. Research*, Vol. 108 (2003) 10-1-10-7.
- 6 Cuerva, A., Sanz-Andrés, A., Navarro, J., On multiple-path sonic anemometer measurement theory, *Experiments in Fluids*, Vol. 34 (2003) 345-357.
- 7 Cuerva, A., Sanz-Andrés A., Lopez, O., Singularities and undefinitions in the calibration functions of sonic anemometers, *Journal of Atmos. Ocean Technology*, Vol. 21 (2004) 1868-1875.
- 8 Franchini, S., Pindado, S., Meseguer, J., Sanz-Andrés, A., A parametric, experimental analysis of conical vortices on curved roofs of low-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 93 (2005) pp. 639-650.
- 9 Meseguer, J., Fairbanks, B., Montero, E., Pindado, S., La nueva torre de control del aeropuerto de Tenerife-Norte, *Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica*, No. 2/2002 (2002 a) 13-20.
- 10 Meseguer, J., Pindado, S., Túneles aerodinámicos para medida de las cargas del viento, *Mundo Científico*, No. 235 (2002) pp.70-75.
- 11 Meseguer, J., Sanz, A., Perales, J. M., S. Pindado, Túneles aerodinámicos para aplicaciones de ingeniería civil, *Revista de Obras Públicas* 3.419, Año 149 (2002 b) Marzo 2002.
- 12 Meseguer, J., Sanz, A., Perales, J.M., Pindado, S., *Aerodinámica Civil. Cargas de viento en las edificaciones*, McGraw-Hill, Madrid, 2001.
- 13 Pérez-Grande, I., Meseguer, J., Alonso, G., Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25 (2005) 3163-3175.
- 14 Pindado, S., Meseguer, J., Wind tunnel study on the influence of different parapets on the roof pressure distribution of low-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 91 (2003) pp. 1133-1139.
- 15 Pindado, S., Meseguer, J., Martínez, A., Franchini, S., Wind tunnel analysis on the influence of

- cantilever parapets on the wind loads of curved roofs, en "Advances in Fluid Mechanics V", V.A. Mendes, M. Rahman, C.A. Brebbia Eds., WIT Press, Wessex (2004) pp. 405-413.
- 16 Sanz, A., Perales, J.M., Meseguer, J., Laverón, A. & Bezdenejnykh, N.A., Las instalaciones de aerodinámica experimental de la E.T.S.I. Aeronáuticos. Parte I: 1960-1993, Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica, No. 358 (1/2000), pp. 27-35.
- 17 Sanz, A., Perales, J.M., Meseguer, J., Laverón, A. & Bezdenejnykh, N.A., Las instalaciones de aerodinámica experimental de la E.T.S.I. Aeronáuticos. Parte II: 1994-, Ingeniería Aeronáutica y Astronáutica, No. 360 (3/2000), pp. 2-8.