

## Resumen

El interés en reducir el peso y resistencia aerodinámica de vehículos y en desarrollar fuentes de energía renovables se ha incrementado debido a la compleja situación ambiental y los requerimientos legales para reducir las emisiones de contaminantes y el consumo de combustibles. La industria aeronáutica ha propuesto nuevos diseños que integren conceptos como alas de alto alargamiento y materiales con elevada resistencia específica, como los materiales compuestos. Por su parte, conceptos similares se emplean en la generación de energía eólica. El radio de las palas de las turbinas eólicas se incrementa paulatinamente, siendo un ejemplo muy claro las grandes instalaciones off-shore. El uso de estructuras más alargadas y ligeras provoca mayor deformación debida a las cargas aerodinámicas. Este fenómeno se conoce como aeroelasticidad y combina los efectos de las cargas aerodinámicas, los efectos inerciales y las tensiones internas de la estructura. La combinación de las cargas anteriores provoca fenómenos de amortiguamiento de las vibraciones, o por el contrario, inestabilidades aeroelásticas.

Diferentes metodologías pueden ser empleadas para simular los fenómenos aeroelásticos. La metodología más extendida para la simulación de las ecuaciones elásticas del sólido es la conocida como análisis de elementos finitos. Respecto a las ecuaciones de conservación del fluido, la mecánica de fluidos computacional es la herramienta de resolución para un problema arbitrario. La combinación de las metodologías anteriores puede ser empleada para el cálculo de fenómenos aeroelásticos. Sin embargo, el coste computacional de estas simulaciones es inasumible en la mayoría de casos de aplicación. Se requiere una metodología nueva capaz de reducir el coste de cálculo.

Este trabajo se centra en el desarrollo de modelos de orden reducido que permitan resolver el problema acoplado sin pérdidas sustanciales de precisión. En primer lugar, la estructura tridimensional se reduce a una sección equivalente que reproduzca la física del sólido original. La sección equivalente se acopla con dos modelos aerodinámicos. El primero emplea las fuerzas aerodinámicas obtenidas mediante simulaciones de mecánica de fluidos computacional. Posteriormente se utiliza un modelo reducido basado en redes neuronales. Ambos modelos presentan elevada precisión respecto a las simulaciones tridimensionales. Sin embargo, algunos efectos como los efectos aerodinámicos tridimensionales, las distribu-

ciones de carga aerodinámica, la presencia de materiales ortotrópicos y los acoplamientos estructurales no pueden ser simulados.

Con el objetivo de resolver los limitantes del modelo anterior, se propone un segundo modelo de orden reducido. En este caso se trata de un algoritmo basado en elementos de viga. El algoritmo se diseña para ser capaz de incluir el cálculo de materiales ortotrópicos y diferentes tipos de problemas aeroelásticos. Inicialmente, se emplea el software para determinar su precisión en el cálculo de una viga de material compuesto y sección rectangular. Estos resultados se validan con las simulaciones tridimensionales. De este modo se demuestra la capacidad de la herramienta computacional para predecir las inestabilidades y los efectos de acoplamiento estructural provocados por la orientación de las fibras. Posteriormente, el algoritmo se emplea en la simulación de turbinas eólicas, mejorando los rangos de operación de las palas sin que ello suponga una penalización desde el punto de vista del peso de la misma. Finalmente, un ala basada en una estructura de membrana resistente es simulada. El cálculo obtiene una gran precisión en la predicción de la velocidad de flameo respecto a la simulación acoplada, siendo la única limitación del modelo la predicción de la distorsión de la membrana.

El trabajo presente un conjunto de modelos de orden reducido que permiten disminuir el coste computacional de las simulaciones aeroelásticas en órdenes de magnitud. También, se proporcionan directrices para la selección del modelo reducido apropiado para los casos de interés.