

VALIDACIÓN DE P-DNS PARA LA SIMULACIÓN AERODINÁMICA DE PALAS DE AEROGENERADORES.

VALIDATION OF P-DNS FOR AERODYNAMIC SIMULATION OF WIND TURBINE BLADES.

Sabrina Montaña^a, Sergio Idelsohn^b, Alberto Cardona^a y Juan Gimenez^{a,b}

^a*Centro de Investigación de Métodos Computacionales, Universidad Nacional del Litoral - CONICET, Argentina, msabrina@santafe-conicet.gov.ar, <https://santafe.conicet.gov.ar/cimec/>*

^b*International Centre for Numerical Methods in Engineering CIMNE, Spain, <https://www.cimne.com/>*

Palabras clave: Dinámica de fluidos computacional, Modelado de la turbulencia, Aerogeneradores, Simulación numérica pseudodirecta.

Resumen. Predecir con precisión la aerodinámica de las aspas de los aerogeneradores es crucial para mejorar su diseño y rendimiento. Fenómenos como la separación de la capa límite turbulenta afectan significativamente la eficiencia y generan efectos aeroelásticos por la interacción fluido-estructura. Los métodos numéricos de baja fidelidad no capturan estos comportamientos con precisión, y las simulaciones de alta fidelidad son costosas debido a los requisitos de la malla. Este trabajo valida el método P-DNS (Pseudo-Direct Numerical Simulation), que equilibra precisión y coste computacional. Se comparan resultados de simulaciones P-DNS con modelos clásicos de turbulencia contra datos experimentales de túnel de viento para diversos perfiles aerodinámicos (NACA0015, FFA-W3-301, FFA-W3-201) y condiciones de modelado (2D, 3D). Los coeficientes aerodinámicos muestran mejor ajuste con P-DNS debido a su mejor predicción de la adherencia del flujo, incluso en ángulos de ataque críticos y con mallas relativamente gruesas. Finalmente, se resuelve un modelo completo del generador Siemens 2,3 MW, confirmando la viabilidad y eficacia de P-DNS en la simulación de turbinas eólicas.

Keywords: Computational fluid dynamics, Turbulence modelling, Wind turbines, Pseudo-Direct Numerical Simulation

Abstract. Predicting the aerodynamics of wind turbine blades accurately is crucial for improving their design and performance. Phenomena such as the separation of the turbulent boundary layer significantly affect efficiency and generate aeroelastic effects due to fluid-structure interaction. Low-fidelity numerical methods do not capture these behaviors accurately, and high-fidelity simulations are costly due to mesh requirements. This work validates the P-DNS (Pseudo-Direct Numerical Simulation) method, which balances accuracy and computational cost. P-DNS simulation results are compared with classical turbulence models against experimental wind tunnel data for various aerodynamic profiles (NACA0015, FFA-W3-301, FFA-W3-201) and modelling conditions (2D, 3D). The aerodynamic coefficients show better alignment with P-DNS due to its superior prediction of flow adherence, even at critical angles of attack and with relatively coarse meshes. Finally, a complete model of the Siemens 2.3 MW wind turbine is resolved, confirming the feasibility and effectiveness of P-DNS in wind turbine simulations.