

Resumen (Castellano)

El cultivo protegido bajo invernadero tiene altos costes energéticos derivados de la ventilación forzada. En cambio, la ventilación natural puede ser una solución barata que reduzca el consumo energético. No obstante, un diseño que permita la ventilación natural del invernadero supone un reto debido a la complejidad del fenómeno físico. Frente a otros métodos de diseño, como los métodos experimentales o analíticos, en los últimos tiempos la dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) se ha convertido en la herramienta más utilizada para estudiar este tipo de fenómenos, gracias a su relativo bajo coste y a la rapidez en la obtención de resultados. No obstante, los modelos CFD deben refrendarse mediante validaciones realizadas a través de datos experimentales. Un análisis bibliográfico detallado del uso de la CFD aplicada a invernaderos muestra, en general, que los trabajos carecen de suficientes datos experimentales, seguramente debido al alto coste de los sensores para adquirirlos y la dificultad que conlleva el trabajo en condiciones de campo. Además, se observa que las simulaciones CFD en invernaderos no se realizan con un procedimiento sistematizado. Por ello, la presente tesis, por un lado describe un dispositivo y unos métodos sencillos y baratos para obtener datos atmosféricos, y por otro, propone una visión crítica sobre la investigación realizada hasta el momento, con el fin de sistematizar la manera de generar modelos CFD aplicados a la ventilación natural de invernaderos. Finalmente, la tesis se complementa con un ejemplo sobre un caso práctico.

Para ello, en primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de las diferentes guías de buenas prácticas en diferentes campos de la tecnología,

principalmente en edificación, para sistematizar y adaptar las recomendaciones para generar modelos CFD en invernaderos. En segundo lugar, se desarrolló un sistema de adquisición de datos sencillo, consistente en una red de sensores, que permite medir simultáneamente la velocidad y dirección de viento en 20 puntos. Este sistema de sensores fue calibrado y probado en campo satisfactoriamente obteniendo una precisión similar a los anemómetros comerciales con un precio 30 veces superior. En tercer lugar, se generaron 24 modelos del flujo de aire alrededor del invernadero, resultantes de la combinación de cuatro modelos de turbulencia ($k-\varepsilon$; RNG $k-\varepsilon$; $k-\omega$ y RSM); dos esquemas de discretización (primer orden y segundo orden) y tres velocidades de viento exterior (3; 3,5 y 4 m/s) con el fin de analizar sus diferencias y demostrar sus ventajas e inconvenientes. Por este motivo, en cuarto lugar, se comprobó su capacidad de ajustarse a los datos de campo, validando los modelos con un análisis de regresión lineal sobre los datos experimentales. Con este estudio se reveló que los modelos SST $k-\omega$ y el RSM (segundo orden) son los que mejor representan el flujo de ventilación y se demostró que el modelo $k-\varepsilon$ estándar (primer orden), el más utilizado en la bibliografía, no sólo ofrece resultados diferentes al resto de modelos, sino que su rendimiento es pobre para predecir el flujo de ventilación.