

CFD MODELING OF THE AIR FLOW GENERATED BY THE FAN OF AN AIR-ASSISTED SPRAYER

Boné Garasa, Antonio; Vidal Cortes, Mariano; Malón Litago, Hugo;
Puyuelo Baseca, Javier; García Ramos, Francisco Javier

Escuela Politécnica Superior Huesca

The air-assisted sprayers are commonly used to apply chemical products in orchards. The sprayer generates small droplets (around 200 μ m diameter) which are transported to the crop in an air flow generated by a fan powered mechanically.

The computational fluid dynamics (CFD) models can be used to simulate the flow generated by the sprayers and its interaction with the crop, analyzing the theoretical trajectory of the droplets. This tool supplies interesting information to improve the design of the machine in relation to the effects of the configuration of the fan in the air flow generated. In this research the air flow generated by an air-assisted sprayer has been measured according to the standard ISO 9898:2000 and a CFD model has been developed which has been validated with the experimental tests.

Keywords: *Air-assisted sprayer; Modeling; Air flow*

CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO DE AIRE GENERADO POR PULVERIZADORES HIDRONEUMÁTICOS MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

La aplicación de productos fitosanitarios en plantaciones frutales se realiza mediante pulverizadores hidroneumáticos. Son máquinas accionadas por el tractor agrícola que rompen la vena de producto en estado líquido en un haz de pequeñas gotas (diámetro de 200 μ m) y que transportan estas gotas hasta la masa vegetal del árbol mediante una corriente de aire generada por un ventilador que posee el propio equipo.

Este trabajo que se presenta tiene como objetivo validar la simulación mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) del flujo del aire producido por estas máquinas. Esta herramienta de simulación CFD, puede ser muy útil en la fase de diseño de la máquina, para predecir las características del flujo de aire que el equipo de aplicación genera, y por lo tanto, la calidad del tratamiento fitosanitario esperado. Para ello inicialmente se ha caracterizado dicha corriente de aire mediante metodología aportada por la norma ISO 9898:2000 (caudal de aspiración y velocidad de impulsión en módulo y dirección), y a través del diseño de una prueba experimental.

Palabras clave: *Pulverizadores; Modelización; Flujo de aire*

Correspondencia: anbone@unizar.es

1. Introducción

La medida de parámetros de trabajo de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios (velocidad de aire, penetración del producto en el cultivo, deposición de producto real, deriva, etc.) requiere el desarrollo de técnicas experimentales costosas que demandan un elevado consumo de tiempo y mano de obra, sobre todo en ensayos en campo. En este sentido, durante los últimos años, se han desarrollado modelos de predicción mediante la técnica CFD que permiten la simulación de numerosos diseños de equipos y de diferentes condiciones de trabajo y regulaciones (Dekeyser et al., 2013). Esta técnica ha sido aplicada con éxito a diferentes tipos de equipos como pulverizadores de barra para cultivos bajos (Baetens et al., 2009), pulverizadores para equipos en aeronaves (Ryan et al., 2012), pulverizadores tipo túnel para frutales (Molari et al., 2005) y, en mayor medida, en atomizadores para cultivos arbóreos (Farooq and Salyani, 2004; Teske et al., 2011). Dicha técnica también ha sido utilizada para otro tipo de análisis relacionados con los equipos de aplicación de fitosanitarios, como por ejemplo para el estudio del sistema de agitación del producto en el tanque (Ucar et al., 2001).

Las herramientas CFD, comenzaron a utilizarse con modelos 2D y actualmente se ha demostrado la idoneidad de utilizar modelos 3D debido a su mejor ajuste con la realidad (Delele et al., 2004). Estas técnicas permiten determinar la variación de la velocidad de aire con la distancia y con la altura tanto en situaciones de trabajo estático como dinámico (Delele et al., 2005).

El nivel de error de los modelos simulados frente a los datos empíricos es variable en función de los trabajos consultados. En este sentido, Delele et al., (2005) obtuvieron niveles de error en ensayos estáticos del 25% a distancias de 1,75 m de la máquina y demostraron como el error obtenido aumentaba con la velocidad de avance de la máquina. Endalew et al., (2010c) obtuvieron errores menores al 20% en el 95% de las medidas realizadas en tres atomizadores con velocidades de avance de 7,1 km/h, con valores medios de los errores inferiores al 11%.

Los primeros trabajos CFD se centraron en analizar el flujo de aire generado por los equipos sin tener en cuenta al cultivo, sin embargo, actualmente se ha ido avanzando en el estudio de la interacción de dicho flujo con el cultivo (Endalew et al., 2010a) e incluso la influencia en los modelos de parámetros ambientales como la velocidad del viento (Endalew et al., 2010b).

2. Objetivo

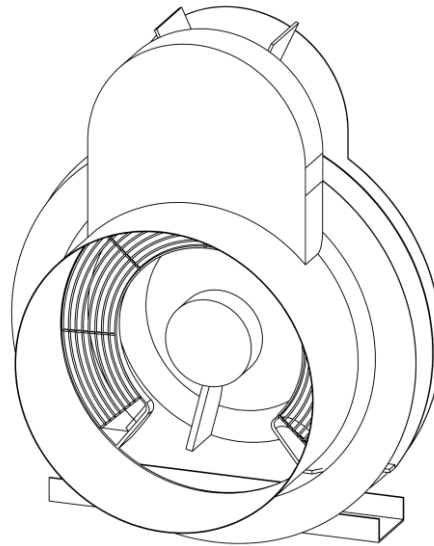
El objetivo de este trabajo ha sido simular mediante dinámica de fluidos computacional el flujo de aire generado por un pulverizador hidroneumático utilizado para aplicar productos fitosanitarios en plantaciones frutales y validar sus resultados con datos empíricos.

3. Materiales y métodos

Para la realización de la simulación del flujo de aire se cuenta con el software de cálculo y diseño SolidWorks 2012. Dicha aplicación, a partir de los datos aportados de modelización de la zona del ventilador posterior de la máquina y condiciones del aire del entorno, analiza el comportamiento de este gas y nos aporta propiedades del mismo en la zona de impulsión teniendo en cuenta las ecuaciones de Navier-Stokes.

Este análisis computacional requiere previamente una toma de datos reales de la máquina, fundamentalmente geometrías de componentes, que se realizaron en la fábrica del modelo ensayado, con los elementos desmontados para poder tomar datos de características geométricas y mecánicas de los mismos.

Figura 1. Modelo de ventilador realizado en SolidWorks



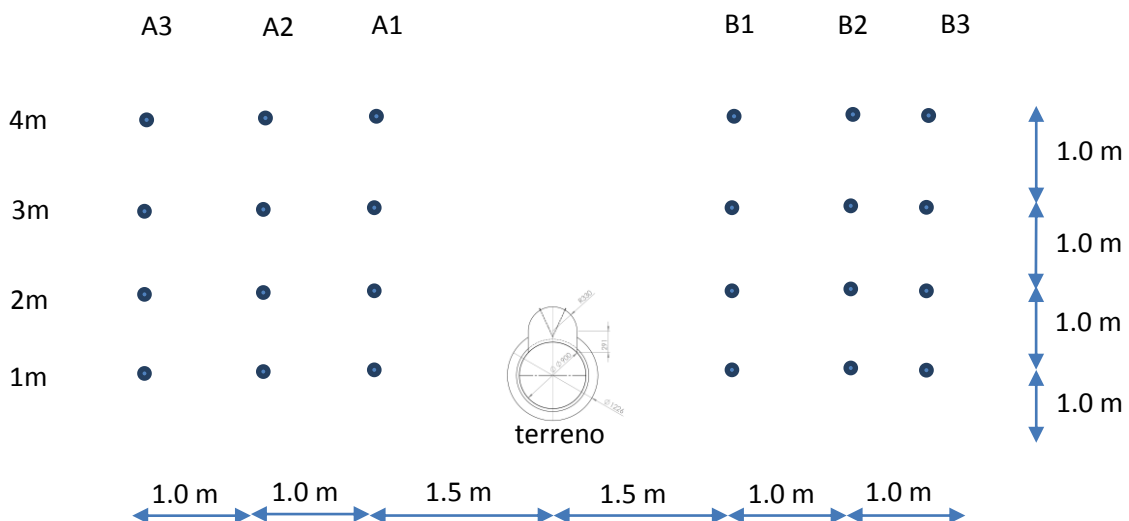
Una vez tomados los datos físicos de los elementos que componen la zona del ventilador se procedió a la modelización en la aplicación informática (figura 1), aportando además datos de presión del aire en aspiración, temperatura y densidad.

Para la simulación se tomó como dato de partida el caudal de aspiración que la experimentación había aportado en el caso de posicionar a los álabes en el número 3 de su escala, teniendo en cuenta además que la rotación de los álabes proporciona una componente rotacional de las moléculas del aire que se procedió a introducir en el software, y que cambia con el ángulo de calado que se da a estas palas del ventilador en cada ensayo.

Por lo tanto los datos en cuanto a características del flujo aportados como entradas al software se utilizó un caudal $Q = 10,74 \text{ m}^3/\text{s}$ y un flujo de aire con componente rotacional de valor 164 rad/s .

En paralelo se realizaron medidas experimentales de velocidad de aire en el entorno de la máquina para la misma configuración en base al esquema de la figura 2.

Figura 2. Puntos de medida de velocidad de modo experimental



4. Resultados

El diagrama de velocidades experimentales correspondiente a la sección del ventilador (figura 3) muestra el efecto de la componente rotacional del aire al pasar por el ventilador, que hace obtener velocidades mayores en el lado derecho de la máquina para el caso de componente rotacional de la velocidad y por lo tanto distribución total carente de simetría (caso B). Hay que hacer notar que en el diagrama de velocidades experimental, las líneas de isovelocidad son obtenidas por ajuste a partir de los valores de velocidad de aire tomados en los distintos puntos de medida (figura 4).

Figura 3. Distribución de velocidades obtenido mediante CFD con velocidad de rotación 164 rad/s

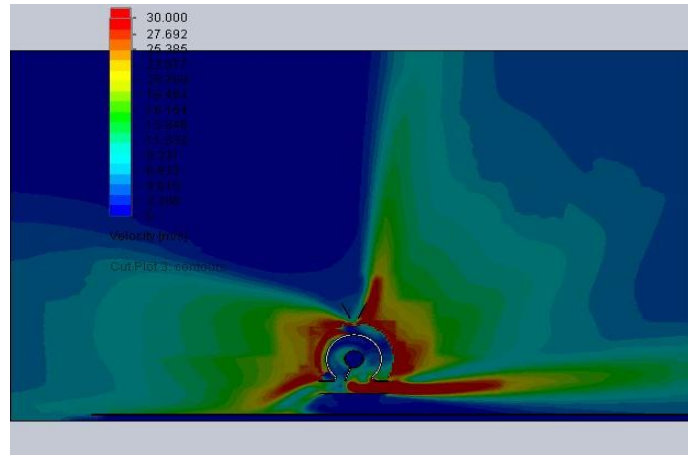
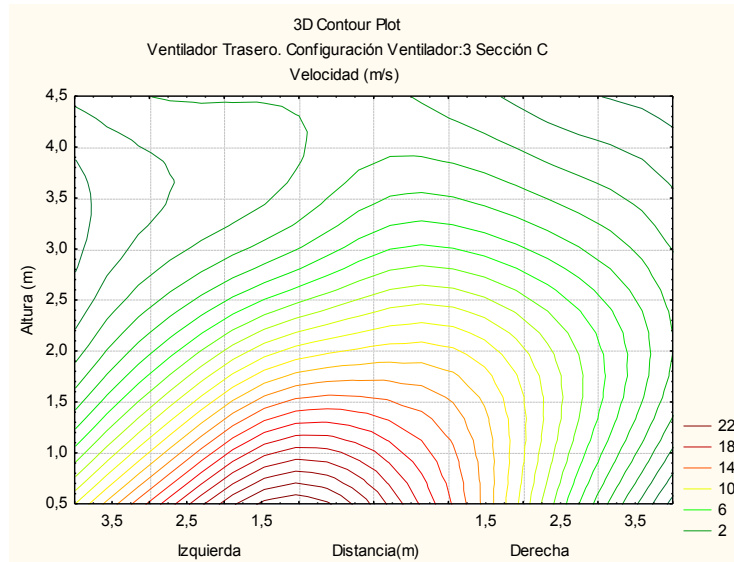


Figura 4 Diagramas de velocidades experimental



Los datos de las velocidades obtenidas experimentalmente en cada punto y su correspondiente obtenida en la simulación, así como los errores absolutos y porcentuales se indican en la tabla 1.

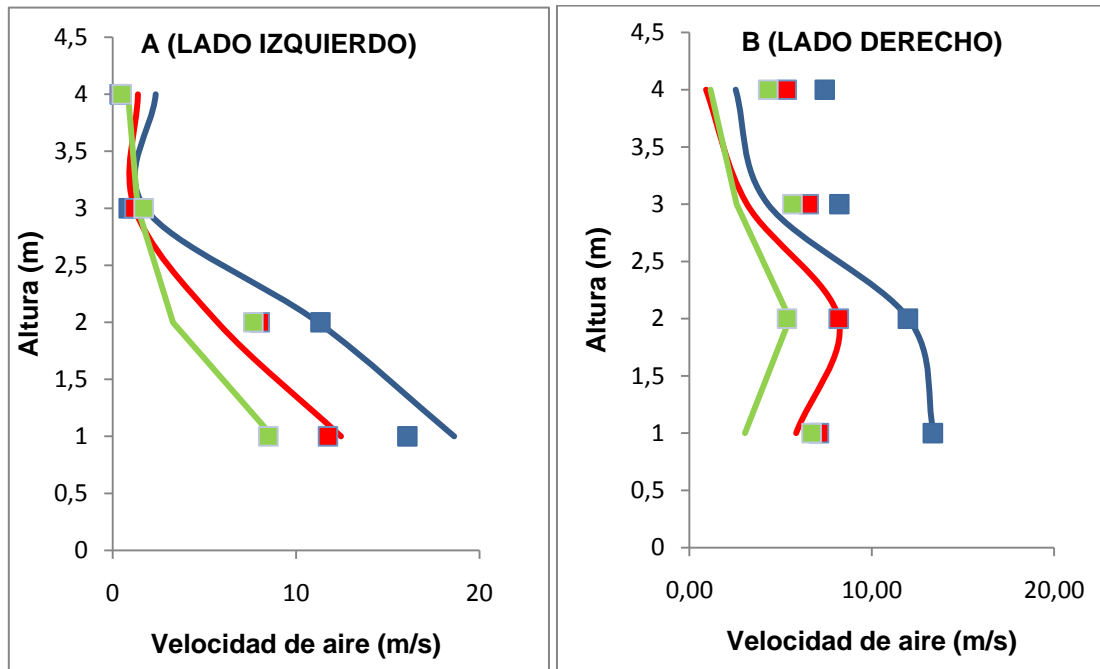
Tabla 1. Velocidades experimentales y simuladas, con sus errores

Posición del punto de medida		Velocidad (m/s)		Error	
Dist. a máquina	Altura (m)	Experimental	Simulación	m/s	%
A1	1	18,62	16,07	2,55	13,69
	2	11,20	11,33	-0,13	-1,16
	3	1,77	0,88	0,89	50,35
	4	2,35	0,40	1,95	82,97
A2	1	12,45	11,74	0,71	5,73
	2	5,72	8,02	-2,30	-40,15
	3	1,21	1,19	0,02	1,33
	4	1,38	0,39	0,99	71,83
A3	1	8,72	8,49	0,23	2,62
	2	3,29	7,67	-4,38	-133,14
	3	1,37	1,69	-0,32	-23,45
	4	0,84	0,50	0,34	40,47
B1	1	13,39	13,35	0,04	0,31
	2	12,01	11,98	0,03	0,23
	3	4,31	8,22	-3,91	-90,91
	4	2,54	7,42	-4,88	-192,03
B2	1	5,85	7,10	-1,25	-21,32
	2	8,18	8,19	-0,01	-0,11
	3	3,16	6,54	-3,38	-107,06
	4	0,91	5,34	-4,43	-484,47
B3	1	3,05	6,70	-3,65	-119,90
	2	5,51	5,35	0,16	2,85
	3	2,59	5,65	-3,06	-118,14
	4	1,16	4,32	-3,16	-271,87

Se puede observar como los errores porcentuales mayores se obtienen en puntos donde los datos de la velocidad experimental y simulada se diferencian en valores de no más de 4,43 m/s, correspondientes a velocidades experimentales bajas de 0,91 m/s.

En la figura 5 se representan los valores de las velocidades obtenidos en la simulación y los experimentales, estando estos resultados de acuerdo con los obtenidos por otros estudios (Dekeyser et al., 2013) similares realizados sobre pulverizadores hidroneumáticos dotados de un sólo ventilador, así se obtiene los errores comentados en el párrafo anterior en alturas comprendidas entre 3 y 4 metros en el lado derecho e izquierdo de la máquina.

Figura 5. Comparación gráfica de los valores de las velocidades experimentales y analíticas



A.1_B1 (x=1,5 m)
 A.2_B.2 (x=2,5 m)
 A.3_B.3 (x=3,5 m)

Líneas: valores de velocidad experimental

Puntos: valores de velocidad analítica

Con objeto de obtener una correlación entre los resultados experimentales con los obtenidos en las simulaciones llevadas cabo se consideran los valores del coeficiente de correlación (R) y determinación (R^2).

Se obtuvieron los coeficientes de correlación R y R^2 para el conjunto de valores de velocidad de aire medidos experimentalmente y calculados analíticamente de valores:

$$R = 0.893$$

$$R^2 = 0.797$$

Esto confirma la adecuación de la metodología seguida en la simulación, con los datos experimentales medidos, en cuanto a velocidades de aire generadas por el ventilador trasero en puntos contenidos en el plano de impulsión. Así, en la tabla 2 se observan los coeficientes de correlación para distintos anchos de calle de la plantación arbórea donde va a trabajar el pulverizador y para alturas hasta 2, hasta 3 y hasta 4 metros. Como se puede apreciar los valores de R^2 disminuyen tal como se aumenta el ancho de calle y la altura, es decir, distancia al ventilador, tomando valores mayores de 0,89 para alturas de hasta 3 metros y anchos de calle de 3 y 5 metros. Estas dimensiones de paso de calle (3 y 5 m) y altura (3 m) son las más habituales que se utilizan en cultivos arbóreos, por lo que podemos considerar que la simulación realizada manifiesta un comportamiento análogo al ensayo experimental. No es habitual encontrarnos con plantaciones con anchos de calle de 7 metros, y en estos casos los trabajos de tratamientos fitosanitarios se realizan con sendas pasadas por ambas líneas de árboles de la calle, tratando con un solo lado de la máquina (derecho o izquierdo), que se desplaza próxima al árbol.

Tabla 2. Coeficientes R y R² para distinto ancho de calle (3, 5 y 7 m) y altura (hasta 2, 3 y 4 m)

Coeficientes de correlación entre A.1, B.1 (ancho de calle: 1,5 + 1,5 = 3 m)		
Altura (m)	R	R²
1, 2	0,990	0,981
1, 2, 3	0,943	0,890
1, 2, 3, 4	0,910	0,827
Coeficientes de correlación entre A.1, B.1, A.2, B.2(ancho de calle: 2,5 + 2,5 = 5 m)		
Altura (m)	R	R²
1, 2	0,972	0,946
1, 2, 3,	0,944	0,892
1, 2, 3, 4	0,907	0,822
Coeficientes de correlación entre A.1, B.1, A.2, B.2, A.3, B.3(ancho de calle: 3,5 + 3,5 = 7 m)		
Altura (m)	R	R²
1, 2	0,948	0,899
1, 2, 3,	0,923	0,852
1, 2, 3, 4	0,893	0,797

5. Conclusión

La técnica CFD permite simular de forma adecuada el flujo de aire generado por un pulverizador hidroneumático permitiendo obtener coeficientes de correlación superiores a 0,9 de forma generalizada. Este hecho posibilita su utilización como herramienta de diseño en gabinete evitando así la realización de numerosas medidas empíricas en campo.

6. Bibliografía

- Baetens K., Ho Q.T., Nuyttens D., De Schampheleire M., Endalew A.M., Hertog M.L.A.T.M., Nicolaï B., Ramon H., Verboven P. 2009. A validated 2-D diffusion–advection model for prediction of drift from ground. *Atmospheric Environment* 43: 1674–1682.
- Dekeyser D., Duga A.T., Verboven P., Endalew A.M., Hendricks N., Nuyttens D. 2013. Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling *Biosystems Engineering* 114: 157-169.
- Delele M.A., De Moor A., Verboven P., Ramon H. R., Sonck B., Nicolaï B. M. 2004. CFD modelling of airflow patterns from an air-assisted orchard sprayer. *Aspects of Applied Biology* 71: 303–310.
- Delele M.A., De Moor A., Sonck B., Ramon H., Nicolaï B.M., Verboven P. 2005. Modelling and validation of the air flow generated by a cross flow air sprayer as affected by travel speed and fan speed. *Biosystem Engineering* 92: 165–174.
- Endalew A.M, Debaer C., Rutten N., Vercammen J., Delele M.A., Ramon H., Nicolaï B.M., Verboven P. 2010a. Modelling pesticide flow and deposition from air-assisted orchard spraying in orchards: A new integrated CFD approach. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 1383–1392.
- Endalew A.M, Debaer C., Rutten N., Vercammen J., Delele M.A., Ramon H., Nicolaï B.M., Verboven P., 2010b A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying. Part I. Model development and effect of wind speed and direction on sprayer airflow. *Computers and Electronics in Agriculture* 71, 128–136.
- Endalew A.M, Debaer C., Rutten N., Vercammen J., Delele M.A., Ramon H., Nicolaï B.M., Verboven P. 2010c. A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted

- orchard spraying—Part II: Validation for different sprayer types. *Computers and Electronics in Agriculture* 71: 137–147.
- Farooq M., Salyani M. 2002. Spray penetration into the citrus tree canopy from two air-carrier sprayers. *Transactions of the ASAE* 45 (5): 1287-1293.
- Farooq M., Salyani M. 2004. Modeling of spray penetration and deposition on citrus tree canopies. *Transactions of the ASAE* 47 (3): 619-627.
- Molari G, Benini L, Ade G. 2005. Design of a recycling tunnel sprayer using CFD simulations. *Transactions of the ASAE* 48 (2): 463-468.
- Ryan S.D., Gerber A.G., Holloway A.G.L. 2012. A computational study of sprays produced by rotary cage atomizers. *Transactions of the ASABE* 55 (4): 1133-1148.
- Teske M. E., Thistle H. W., Schou W. C., Miller P. C. H., Strager J. M., Richardson B., Ellis M. C.B., Barry J. W., Twardus D. B., Thompson D. G. 2011. A review of computer models for pesticide deposition prediction. *Transactions of the ASABE* 54 (3): 789-801.
- Ucar T., Fox R.D., Ozkan, H.E., Brazee R.D. 2001. Simulation of jet agitation in sprayer tanks: Comparison of predicted and measured water velocities. *Transactions of the ASAE* 44 (2): 223-230.