

03-031

**MODELLING AND VALIDATION OF THE AIR FLOW GENERATED BY AN AIR-ASSISTED SPRAYER
AIR DIFFUSER USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

Malón Litago, Hugo ⁽¹⁾; Vigo Morancho, Alba ⁽¹⁾; Videgain Marco, María ⁽¹⁾; Vidal Cortés,
Mariano ⁽¹⁾; García-Ramos, Javier ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Zaragoza

The pneumatic system of a commercial air-assisted sprayer, Twister S6 of the Mañez Lozano brand, has been analysed. The equipment, used in the application of plant protection products (PPP) in fruit orchards, consists of 12 twist-type grid diffusers located at the air outlet. Diffusers have been designed with the aim of generating a turbulent regime for a better penetration of the PPP into the crop. The pneumatic system of the equipment consists of an axial fan that directs the air to the diffusers, with working flow rates varying between 51193 and 65467 m³/h. To evaluate the performance of this system, simulations were carried out using computational fluid dynamics software for one air flow and the effect of using the twist-type diffusers was compared with conventional open outlets. Air velocity values have been estimated at different distances and, subsequently, which has allowed conclusions to be drawn about the differentiated operation of the twist system compared to conventional open outlet systems.

Keywords: twist; CFD; pesticide; spraying

**MODELIZACIÓN Y VALIDACIÓN MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL DEL
FLUJO DE AIRE GENERADO POR UN DIFUSOR DE UN PULVERIZADOR HIDRONEUMÁTICO**

Se ha analizado el sistema neumático de un pulverizador hidroneumático comercial, concretamente del modelo Twister S6 fabricado por Mañez Lozano. El equipo, utilizado en la aplicación de productos fitosanitarios en plantaciones frutales y arbustivas consta de 12 difusores de rejilla tipo twist ubicados en la salida de aire con el objetivo de generar un régimen turbulento que permita el transporte del líquido pulverizado y consiga una mejora penetración en el cultivo. El sistema neumático del equipo consta de un ventilador axial que dirige el aire hasta los difusores, con caudales de trabajo variables entre 51193 y 65467 m³/h. Para valorar el funcionamiento de este sistema se han realizado simulaciones utilizando software de dinámica de fluidos computacional para un caudal de aire y se ha comparado el efecto de utilizar los difusores tipo twist frente a salidas abiertas convencionales. Se han estimado los valores de velocidad de aire a diferentes distancias, que ha permitido obtener conclusiones acerca del funcionamiento diferenciado del sistema twist frente a los sistemas convencionales de salida abierta.

Palabras clave: twist; CFD; fitosanitario; pulverización

Agradecimientos: Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto PID2019104289RB-C43, financiado por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033/.



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El análisis de los tratamientos realizados por los equipos de aplicación de productos fitosanitarios se ha realizado tradicionalmente mediante ensayos de campo que implican un elevado coste y, frecuentemente, poca repetitividad de los ensayos (Da Silva et al., 2006). En las últimas décadas ha surgido como alternativa la aplicación de técnicas numéricas que permiten simular los tratamientos realizados por equipos de aplicación de productos fitosanitarios. (Da Silva et al., 2006; Baetens et al., 2007; Baetens et al., 2009; Nuyttens et al., 2011). Este tipo de análisis numérico permite optimizar las condiciones de regulación de los equipos de aplicación (Svensson 2001, Ako 2011, DEFRA 2011), aportando al mismo tiempo información muy útil para la mejora del diseño de dichos equipos. Entre las técnicas numéricas más empleadas en el análisis de este tipo de máquinas se encuentra la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).

En la actualidad se continúa investigando con el fin de mejorar la eficiencia de los equipos de aplicación de los productos sanitarios. En este estudio se analiza un componente de un pulverizador hidroneumático comercial, concretamente del modelo Twister S6 fabricado por Mañez Lozano, utilizado para en la aplicación de productos fitosanitarios en plantaciones frutales y arbustivas. La característica de éste equipo es que va equipado con 12 difusores de rejilla tipo twist (componente a estudiar) ubicados en la salida de aire, con el objetivo de generar un régimen turbulento que permita el transporte del líquido pulverizado y consiga una mejora penetración en el cultivo.

Figura 1: Pulverizador hidroneumático modelo Twister S6



Si bien el modelo comercial existe, únicamente existen ensayos experimentales en campo del modelo Twister S6, los cuales han permitido evidenciar su aplicabilidad. Por el contrario, no existe ningún estudio científico que haya analizado la influencia de los 12 difusores en el aire de salida del pulverizador, y en consecuencia no se conoce como se comporta al aire al atravesarlos, ni cómo afectan estos componentes al flujo de aire una vez han sido atravesados. Conocer este comportamiento es fundamental con el fin de poder analizar el transporte del líquido pulverizado, así como para poder desarrollar posibles mejoras en el diseño del difusor de rejilla tipo twist, o en el diseño de nuevos difusores.

En la fecha de realización del estudio no se conoce ningún pulverizador hidroneumático, a excepción del analizado, que este equipado con difusores en las salidas de aire, ni ningún estudio científico que analice el efecto de difusores de rejilla en las salidas de aire de pulverizadores hidroneumáticos.

2. Objetivo

El objetivo principal del trabajo realizado es analizar la influencia de los difusores de rejilla tipo twist diseñados y desarrollados por la empresa Mañez Lozano, frente a una salida abierta convencional de aire.

Con el fin de alcanzar el objetivo del estudio, se ha definido un objetivo técnico específico que consiste en el análisis, mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), dos configuraciones de salida de aire, una equipada con el difusor de rejilla tipo twist y otra con salida abierta convencional.

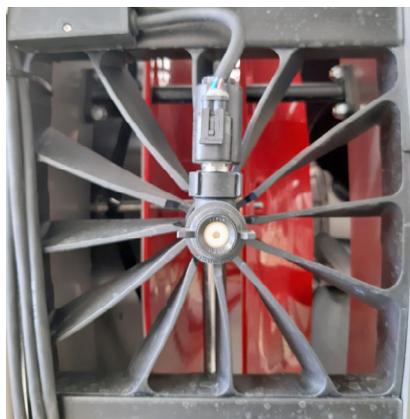
Con ello, se pretende analizar las variaciones en el flujo de aire (velocidad y dirección) generadas por la aplicación del difusor de rejilla tipo twist, en comparación con una salida abierta convencional.

3. Difusor de rejilla tipo twist

El difusor de rejilla tipo twist analizado en el estudio, corresponde a los 12 componentes que se instalan en los modelos Twister S6 fabricado por Mañez Lozano. La disposición de los difusores, 6 a cada del pulverizador en las salidas de aire, se muestra en la figura 1.

El difusor analizado en el estudio es de sección cuadrada, de 250mm de lado, y dispone de 12 álabes internos, con curvatura variable, que orientan el aire al pasar a través de ellos. Para finalizar, en su parte central dispone de un soporte para la boquilla, por donde sale el producto fitosanitario. La figura 2 muestra en detalle un difusor de rejilla tipo twist, instalado en un pulverizador Twister S6.

Figura 2: Difusor de rejilla tipo twist analizado



4. Modelos numéricos

Con el fin de analizar la influencia del difusor de rejilla tipo twist en el flujo de aire de salida, mediante CFD, han sido generados dos modelos numéricos de las mismas dimensiones. Se trata de dos modelos tridimensionales que reprecen el espacio de aire que hay dentro de un tubo por el que circula aire, así como el espacio de aire contiguo a la salida del tubo. Ambos modelos, constan de dos secciones. La primera equivale al aire dentro de un tubo hueco de sección cuadrada de 250mm de lado, con una longitud de 270mm, mientras que el segunda, con una longitud de 1.300mm, representa la sección de aire posterior a la salida del tubo hueco. La geometría de los dos modelos numéricos, la cual se muestra en la figura 3, tiene como objetivo reproducir el comportamiento del aire al salir de un tubo de sección cuadrada, como el mostrado en la figura 4.

Figura 3: Dimensiones modelo numérico de aire

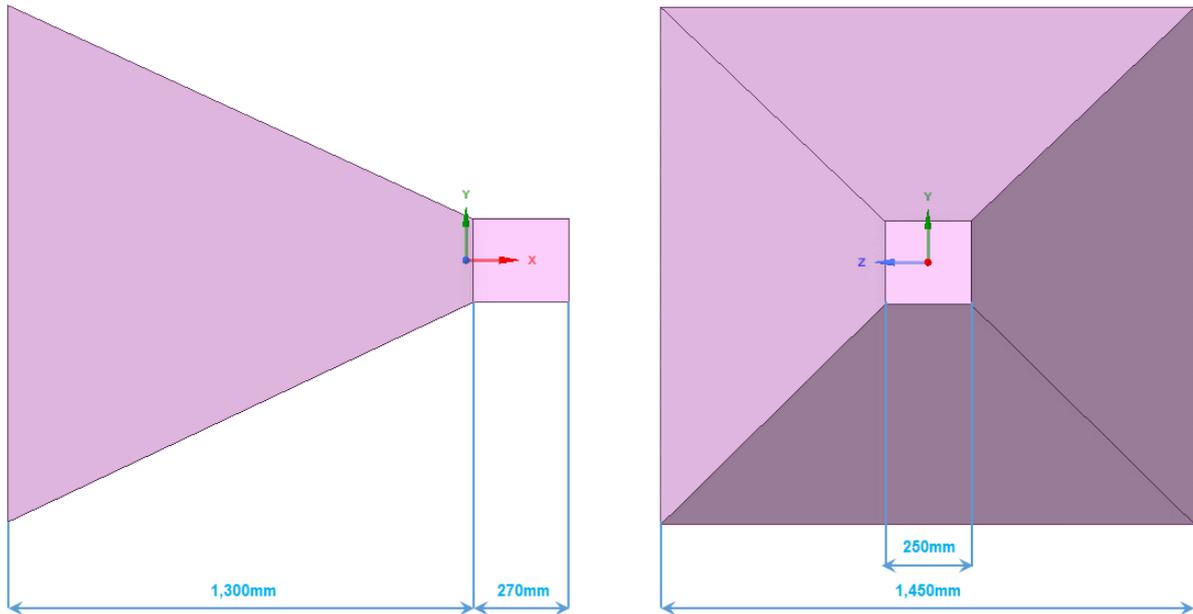


Figura 4: Ensayo de análisis de flujos de aire a la salida de un tubo de sección cuadrada



La diferencia entre los modelos consiste en que en el primer modelo no hay ningún obstáculo al final de la sección del tubo hueco, mientras que el segundo modelo, en dicha zona se ha vaciado el volumen correspondiente al difusor al volumen total de aire. Al quitar el volumen del difusor del volumen de aire total, la simulación numérica reproduce el comportamiento del aire en una salida equipada con el difusor de rejilla tipo twist.

Los parámetros para generar la malla han sido los mismo en ambos modelos, si bien debido a la existencia del difusor, se ha generado una malla más fina en la zona donde se ha realizado el vaciado del difusor. Las figuras 5 y 6 muestran las mallas generadas para los modelos sin y con difusor respectivamente. Adicionalmente, en la figura 6 se muestra un detalle de la malla, en la cual se aprecia al mallado más fino que ha sido necesario generar por el efecto del difusor.

Figura 5: Malla del modelo numérico de aire sin difusor

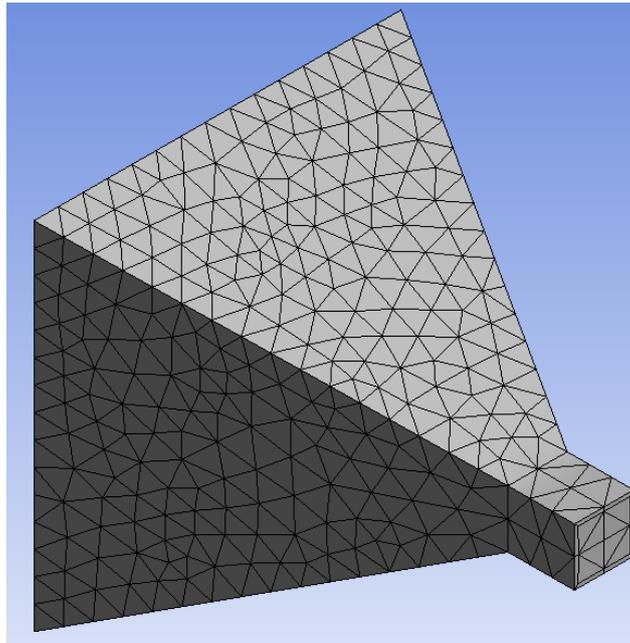
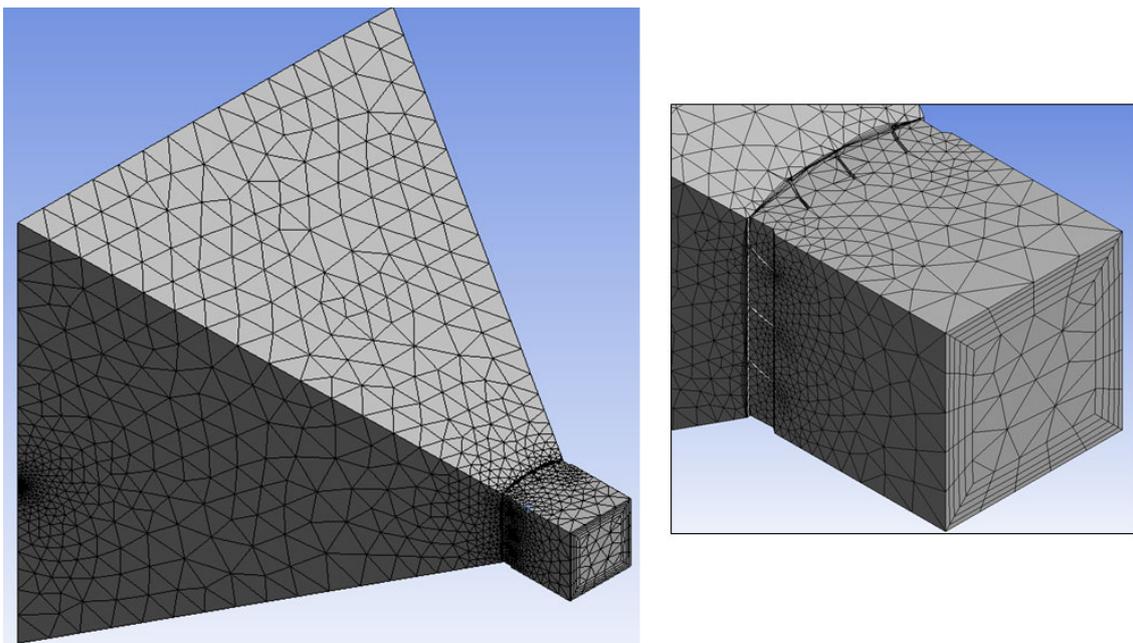


Figura 6: Malla del modelo numérico de aire con difusor



En los modelos han sido consideradas tres tipos de condiciones de contorno. La primera es la entrada de aire, superficie mostrada en azul en la figura 7, que simula el flujo de aire que circula por el interior del tubo. La segunda, corresponde a las salidas de aire a presión atmosférica, mostradas en rojo en la figura 7, que simulan la frontera del modelo tridimensional en contacto con el resto del aire. Y para finalizar, la tercera, son las superficies en gris que conforman a frontera del tubo y del difusor, a través de las cuales no puede fluir el aire. Las condiciones de contorno de entrada y salida de aire son iguales en los dos modelos analizados, siendo diferentes las fronteras del modelo debido a la existencia del difusor en el segundo modelo.

Para definir la velocidad de entrada de las simulaciones se procedió a medir la velocidad del flujo generado en el interior del tubo mostrado en la figura 4, a una distancia de 250mm del final del tubo. Se realizaron mediciones a tres alturas distintas dentro del tubo, en tres puntos equidistantes en una sección transversal al tubo. En la realización de las medidas se empleó un anemómetro de molinete testo 440 (figura 8).

Los datos de velocidad obtenidos del interior del tubo se introdujeron al modelo CFD y se procedió a la realización del análisis numérico mediante el Software ANSYS, concretamente con el módulo FLUENT, en su versión 2021R1. En el análisis numérico se optó por realizar el cálculo con un modelo de viscosidad $k-\omega$ y funciones de pared estándar, para los dos modelos.

La metodología empleada es similar a la descrita y validada en estudios previos realizados relacionados con pulverizadores hidroneumáticos (Badules, 2018).

Figura 7: Condiciones de contorno

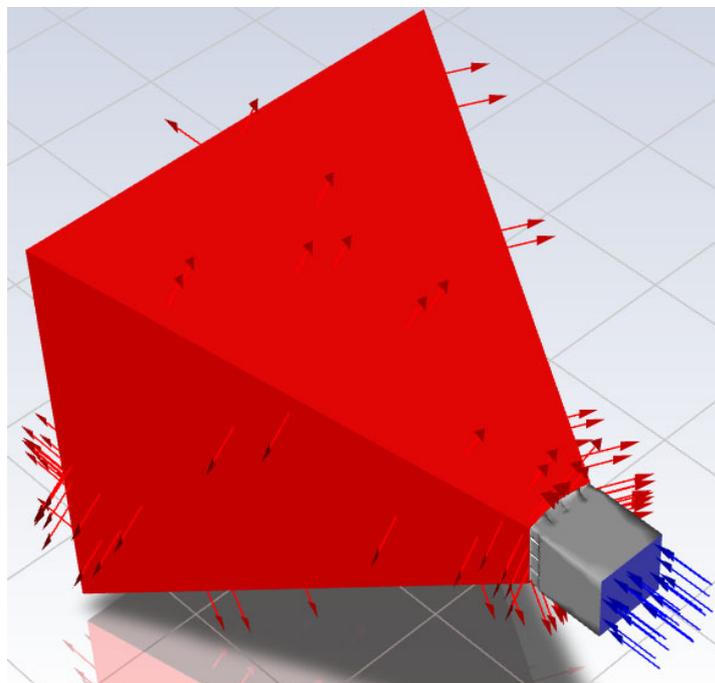


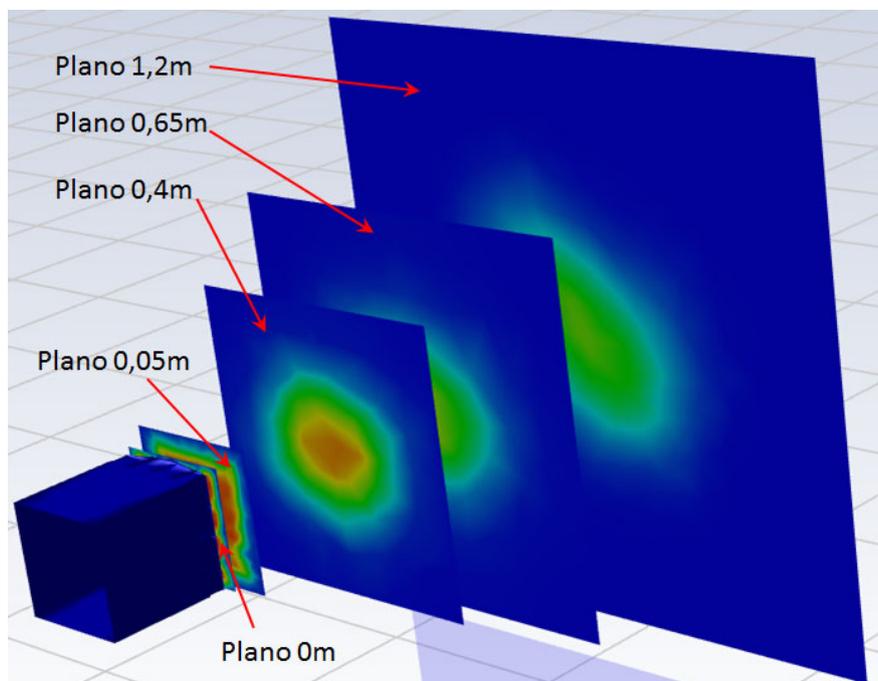
Figura 8: Medida de velocidad el aire en el interior del tubo



5. Resultados

Con de fin de analizar la influencia del difusor de rejilla tipo twist en el flujo de salida de aire, se definieron 5 planos perpendiculares a la dirección dominante del flujo de aire, los cuales fueron denominados por su distancia al difusor. Concretamente el plano 0m, corresponde con un plano que secciona el propio difusor, mientras que los cuatro restantes se ubican a 0,05m, 0,4m, 0,65m y 1,2m, como se muestra en la figura 9.

Figura 9: Planos de resultados



Las figuras 10 a 19 muestran los mapas de velocidad obtenidos para cada uno de los cinco planos definidos, en ambos modelos. Analizando comparativamente los resultados de velocidad obtenidos del plano 0m (figuras 10 y 11), se observa claramente la influencia del difusor al ser atravesado por el aire. En el modelo sin difusor, el aire fluye a través del plano de forma uniforme, con el valor máximo de velocidad en el centro del plano, disminuyendo su valor hasta las paredes del tubo. Por otro lado, en el modelo con difusor, al fluir el aire por el difusor, las regiones con velocidad altas se distribuyen por la totalidad de los 12 huecos generados por los álabes, disminuyendo considerablemente las zonas con velocidades más bajas. Concretamente en el modelo con difusor, la velocidad presenta un valor máximo de 10,71m/s, lo que supone un incremento del 34,7% con respecto a la velocidad máxima alcanzada en el modelo sin difusor.

Esta tendencia se mantiene en el plano situado a 0,05m del difusor, como se muestra en las figuras 12 y 13. En ellas se observa como la región de altas velocidades en el modelo con difusor es mucho mayor que en el modelo sin difusor. Adicionalmente, el incremento de la velocidad máxima obtenida en el modelo con difusor frente al modelo sin difusor es del 29,83%.

Figura 10: Velocidad (m/s) plano 0m sin difusor

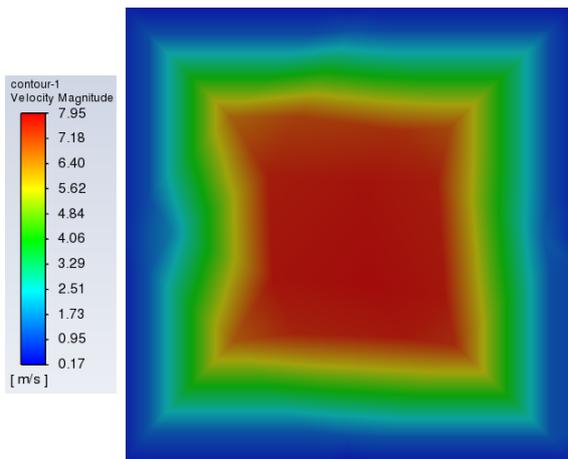


Figura 11: Velocidad (m/s) plano 0m con difusor

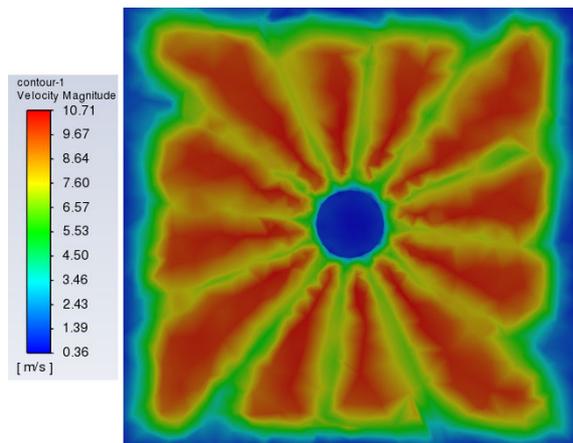


Figura 12: Velocidad (m/s) plano 0,05m sin difusor

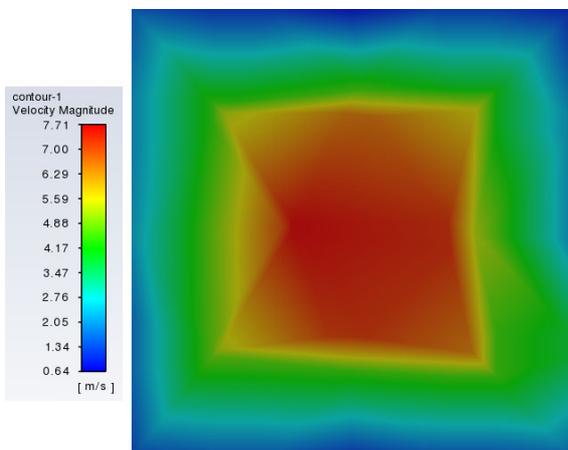


Figura 13: Velocidad (m/s) plano 0,05m con difusor

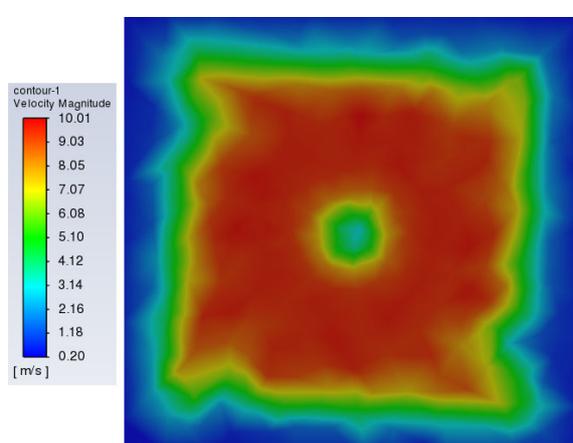


Figura 14: Velocidad (m/s) plano 0,4m sin difusor

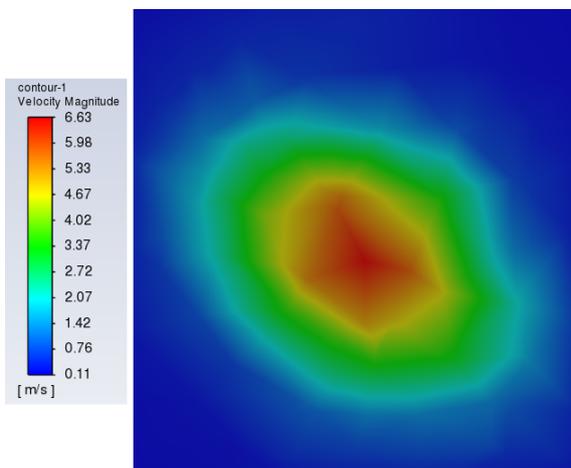


Figura 15: Velocidad (m/s) plano 0,4m con difusor

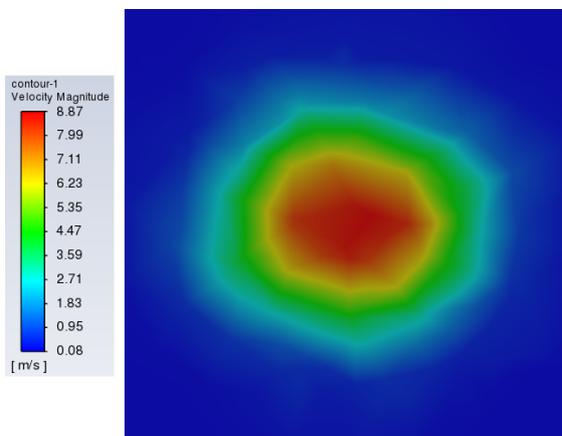


Figura 16: Velocidad (m/s) plano 0,65m sin difusor

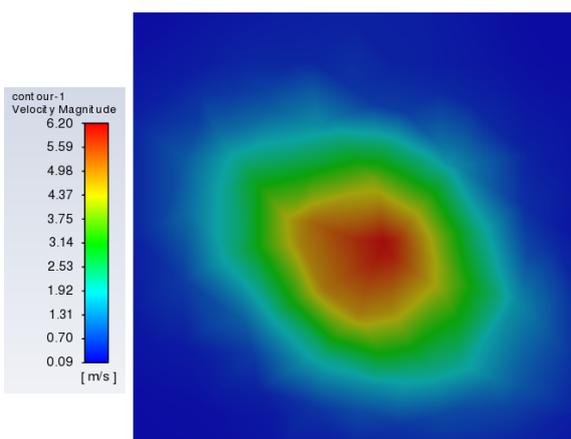


Figura 17: Velocidad (m/s) plano 0,65m con difusor

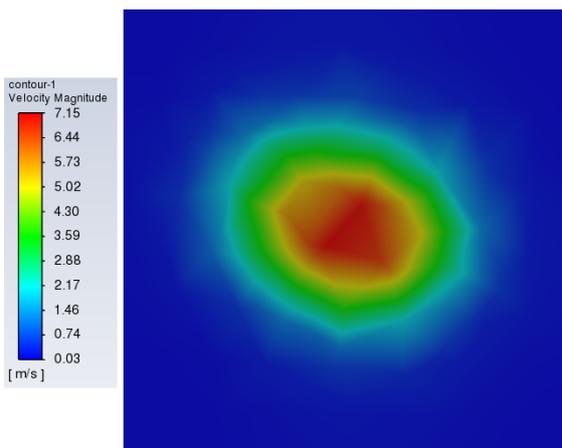


Figura 18: Velocidad (m/s) plano 1,2m sin difusor

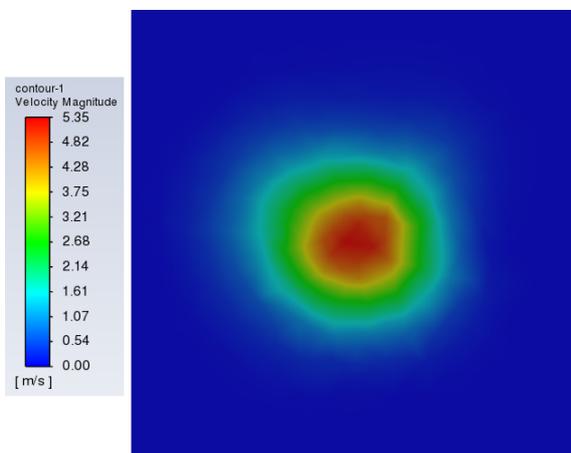
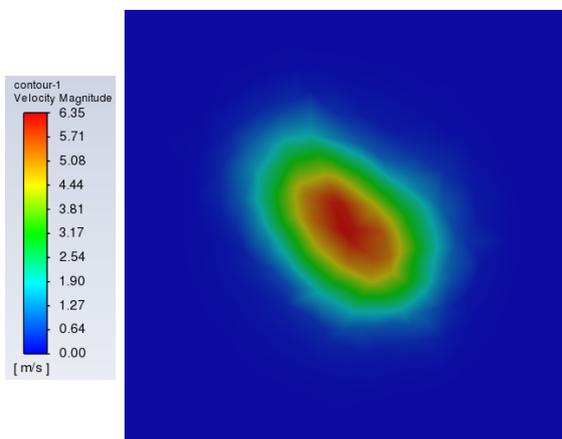


Figura 19: Velocidad (m/s) plano 1,2m con difusor



En los planos 0,4m, 0,65m y 1,2m la tendencia descrita cambia, y los mapas de velocidades obtenidos tienden a ser similares para ambos modelos, con una distribución de velocidades que tiende a ser de forma circular o elíptica. No obstante, los valores de velocidad máxima obtenidos siguen siendo superiores en el modelo con difusor, siendo, por ejemplo, un 18,69% mayor la velocidad máxima obtenida en el plano 1,2m del modelo con difusor frente al modelo sin difusor.

Al analizar las componentes de la velocidad, se observa un efecto significativo en el modelo con difusor frente al modelo sin difusor. Al comparar la velocidad vertical en el plano 0,4m de ambos modelos (figuras 20 y 21), se evidencia una variación del comportamiento del flujo de aire entre los modelos. En el modelo sin difusor la componente vertical de velocidad de aire no sigue un patrón definido, y sus variaciones en magnitud son relativamente pequeñas. Por el contrario, al analizar la velocidad vertical en el modelo con difusor se observa un patrón anti-simétrico de velocidad ascendente y descendente, con valores numéricos similares en magnitud.

Figura 20: Velocidad vertical (m/s) plano 0,4m sin difusor

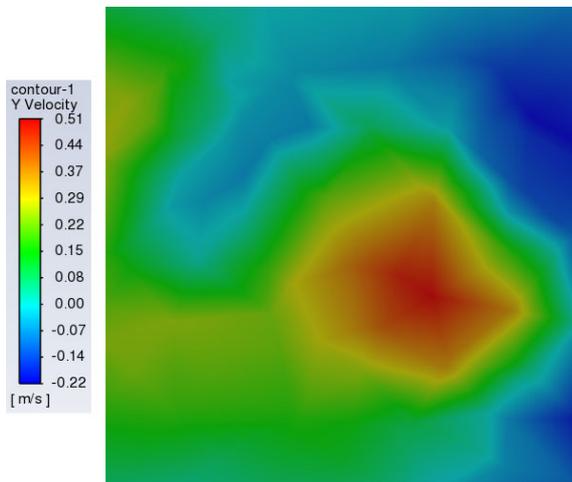


Figura 21: Velocidad vertical (m/s) plano 0,4m con difusor

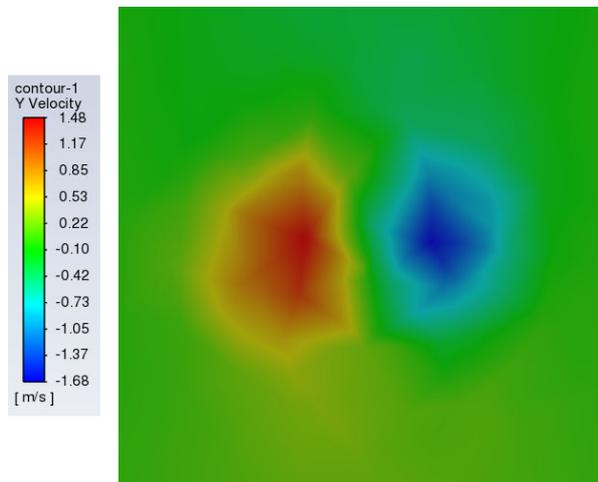


Figura 22: Velocidad horizontal (m/s) plano 0,4m sin difusor

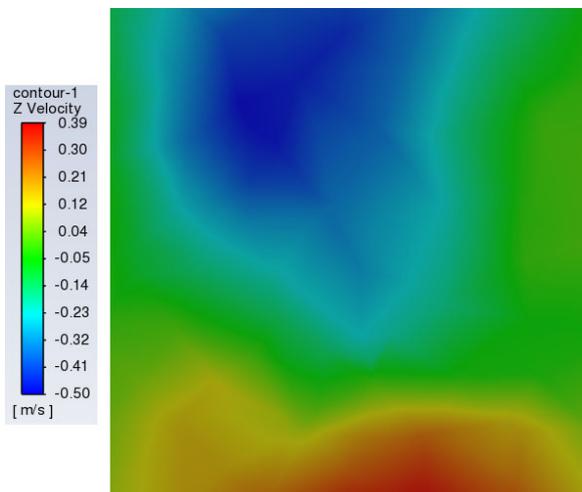
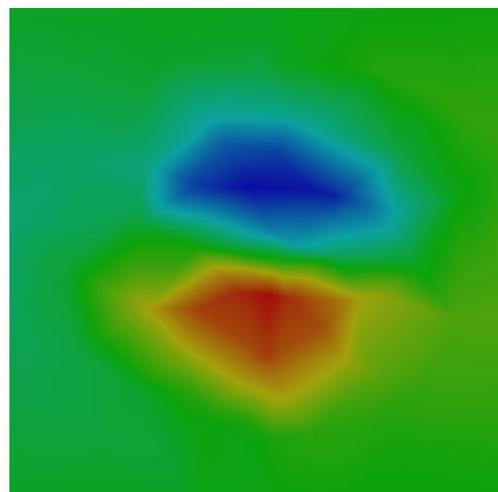


Figura 23: Velocidad horizontal (m/s) plano 0,4m con difusor



De forma análoga, al analizar la velocidad horizontal en el plano a 0,4m (figuras 22 y 23), se vuelve repetir una distribución sin patrón de velocidad en el modelo sin difusor, mientras que en el modelo con difusor presente un patrón anti-simétrico tanto geoméricamente como en magnitud.

Los resultados obtenidos de velocidades verticales y horizontales en el plano situado a 0,4m del difusor permiten confirmar que, en el modelo sin difusor, las velocidades indicadas no presentan un patrón definido en el plano, sino que tienen una distribución aleatoria. Por otro lado, al analizar los patrones obtenidos en el plano 0,4m se puede confirmar que el difusor genera una rotación del aire.

La rotación del aire generado por el difusor, sumada el incremento de la velocidad, permiten aumentar la superficie de las plantas que entra en contacto con el aire impulsado por el pulverizador hidroneumático.

6. Conclusiones

En el trabajo se ha estudiado la influencia de los difusores de rejilla equipados en un pulverizador hidroneumático comercial, concretamente del modelo Twister S6 fabricado por Mañez Lozano, frente a una salida abierta convencional de aire.

En el proceso de diseño se han empleado técnicas numéricas basadas en la dinámica de fluidos computacional (CFD), que han permitido analizar las variaciones en el flujo de aire (velocidad y dirección) generadas por la aplicación del difusor de rejilla tipo twist en comparación con una salida abierta convencional.

Como resultado se ha obtenido que la aplicación de difusores de rejilla tipo twist en la salida de aire de pulverizadores hidroneumáticos genera un incremento de la velocidad el aire, así como una rotación del aire que permite aumentar la superficie de las plantas en contacto con el aire impulsado por la máquina.

El aumento de superficie de las plantas en contacto con el aire impulsado por el pulverizador va a permitir mejorar la eficiencia de los tratamientos realizados.

Para finalizar, indicar que no ha sido posible realizar ningún estudio comparativo de resultados con estudios similares, ya que a fecha de realización del estudio no se conocen estudios, ni diseños, de la aplicación de difusores de rejilla en las salidas de aire de pulverizadores hidroneumáticos, como se ha indicado.

Referencias

- Ako, P. 2011. Development of a model to predict spray deposition in air-carrier sprayer applications. Tesis Doctoral. Universidad de Florida.
- Badules J., Vidal M., Boné A., Llop J., Salcedo R., Gil E., García-Ramos F.J. 2018. Comparative study of CFD models of the air flow produced by an air-assisted sprayer adapted to the crop geometry. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Baetens, K., Nuyttens, D., Verboven, P., De Schampheleire, M., Nicolaï, B., Ramon, H. 2007. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. *Computers and Electronics in Agriculture* 56, 161–173.
- 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 boom sprayers. *Atmospheric Environment* 43, 1674–1682.
- Da Silva, A., Sinfort, C., Tinet, C., Pierrat, D., & Huberson, S. 2006. A Lagrangian model for spray behaviour within vine canopies. *Journal of Aerosol Science* 37, 658-674.

- DEFRA (Department for Environment Food and Rural Affairs, United Kingdom Govern). 2011. Options for the development of a model for evaluation of bystander and resident exposures to pesticides used in orchard, hop and bush fruit application. Research Project Final Report
- Nuyttens, D.; De Schamphelre, M.; Baetens, K. 2011. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study. Transactions of the ASABE 54 (2), 403-408.
- Svensson, S.A. 2001. Converging air jets in orchard spraying – influence on deposition, air velocities and forces on trees. Tesis Doctoral. Universidad Sueca de Ciencias Agrarias. Alnarp, Suecia.

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

