

INFLUENCIA DE ABOLLADURAS EN EL TUBO DE ALIMENTACION DEL DISTRIBUIDOR DE SEMILLAS.

G. Bourges¹; G. Nardon¹, M. Medina²

¹ Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario. Berutti 2109. 2000 Rosario. gbourges@fceia.unr.edu.ar, gnardon@fceia.unr.edu.ar

² Consejo de Investigaciones. Escuela de Formación Básica. Fac. de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario. Pellegrini 250. S2000FKO Rosario. mmedina@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: Las sembradoras air drill se caracterizan por realizar el transporte de las semillas por medio de corrientes de aire. En visitas realizadas a exposiciones de maquinaria agrícola surgió la pregunta de si la incorporación de abolladuras en el tubo de ingreso del distribuidor de semillas de una sembradora air drill es una mejora en la distribución del caudal de aire. El objetivo del presente trabajo es evaluar numéricamente la influencia de las mismas y la eficiencia energética de cada configuración. Se plantean tres casos, uno con tubo de alimentación sin abolladuras, y otros dos con abolladuras distribuidas lineal y helicoidalmente. Las configuraciones son modelizadas a través del método de elementos finitos y resueltas con el software COMSOL Multiphysics 3.5a®. Se concluye que la configuración sin abolladuras posee mejor performance en la distribución de flujo de aire, además las configuraciones con abolladuras presentan una mayor pérdida de carga.

Palabras claves: Distribuidor de semillas, tubo de alimentación, sembradoras, pérdida energética, simulación numérica.

INTRODUCCIÓN

Las sembradoras air drill se caracterizan por realizar el transporte de las semillas desde el tanque que las contiene, conducidas por una corriente de aire a través de mangueras hasta un distribuidor y de allí a través de otras mangueras a los cuerpos de siembra, y depositadas finalmente en el suelo (Bragachini, 2005). Este tipo de sembradoras son generalmente utilizadas para granos finos (trigo, arroz, centeno, cebada) y la distribución espacial de las semillas en el surco es del tipo “chorrillo en líneas”. En Argentina ha comenzado la introducción de este tipo de máquinas siendo la zona pampeana el área ideal para su difusión. La gran capacidad de trabajo es una condición muy interesante para los planteos productivos nacionales. El ancho de labor que se alcanza equivale al que se obtendría apareando no menos de tres equipos convencionales.

En visitas realizadas a exposiciones de maquinaria agrícola, se observa una búsqueda constante de parte de los fabricantes locales (Tanzi S.A., Pierobon S.A., entre otras) de una mejora en el diseño de los componentes del sistema de distribución de semillas. En particular se detectaron modificaciones en los tubos de alimentación de los distribuidores de semillas de sembradoras air drill. Las modificaciones se caracterizan por abolladuras semi esféricas en el tubo de alimentación. Los fabricantes manifestaron que dichas abolladuras producen mejoras en la uniformidad de salida de semillas en los caños del distribuidor basados en pruebas empíricas. Surge, entonces, la pregunta si a través del análisis de flujo se pueden comprobar las diferencias mencionadas por los fabricantes, y de ser así, cuantificarlas.

Antecedentes

En un trabajo anterior (Bourges et al, 2009) se analizaron cuatro modelos de distribuidor, tres de ellos existentes en la bibliografía (Kumar et al., 2000) y un cuarto propuesto por los autores. Se realizaron pruebas numéricas con aire, midiéndose la pérdida de energía en cada distribuidor. Se concluyó que el modelo propuesto presenta los mejores resultados en cuanto a performance energética, en comparación con el resto de los modelos estudiados.

En trabajos previos (Bourges, 2006 a, b) se analizó la distribución de flujo de aire en tres cabezales distribuidores de semillas propuestos por (Kumar et al., 2000). Por medio del método de elementos finitos, se determinaron los de mejor performance en la distribución de semillas de acuerdo a la menor cantidad y dimensiones de zonas muertas y recirculaciones. Las simulaciones fueron realizadas sobre modelos bidimensionales y tridimensionales. Posteriormente (Bourges & Medina, 2007) los autores estudiaron la influencia de la longitud del tubo de alimentación en la distribución de flujo en un modelo de distribuidor. Se propuso un nuevo diseño desarrollado en base a los modelos de Kumar (et al, 2000). Se utilizó como criterio de diseño velocidades uniformes y líneas de flujo suaves, sin recirculaciones teniendo, además, como objetivo la factibilidad y simplicidad constructiva de los mismos.

Objetivo:

El objetivo del presente trabajo es evaluar numéricamente la influencia de las abolladuras del tubo de alimentación en la distribución del flujo de aire. Se busca obtener la eficiencia energética de las tres configuraciones estudiadas. Las simulaciones se realizan sobre el modelo de distribuidor Parallel Disk (Kumar, 2000) a raíz de su similitud con los modelos utilizados por los fabricantes anteriormente mencionados.

Configuraciones consideradas.

En este trabajo se analiza numéricamente el comportamiento del aire dentro del conjunto caño de entrada-distribuidor (Figura 1). Las configuraciones consideradas son: el tubo de alimentación sin abolladuras, con abolladuras linealmente distribuidas y con abolladuras helicoidalmente distribuidas. La geometría de las abolladuras corresponde a lo observado en los dispositivos que se encuentran en el mercado (Figura 2).

De acuerdo con la Figura 1, el sistema simulado consta de los siguientes componentes:

- Un cambio de dirección en ángulo recto (codo a 90°)
- Un tubo de alimentación del distribuidor o tubo de entrada
- El distribuidor propiamente dicho donde se produce el cambio de una sección circular única a nueve tubos de sección rectangular perpendiculares al eje del tubo anterior.
- Los caños de salida de sección circular (figura 2 y 3) que llevan la mezcla aire semilla a cada cuerpo de siembra.

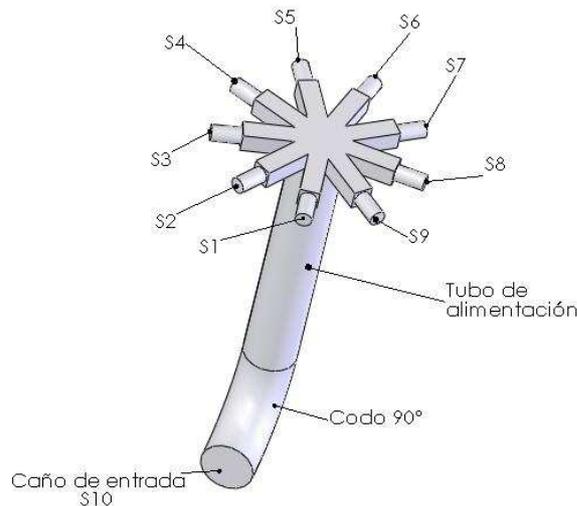


Figura 1. Distribuidor de semillas y tubo de alimentación.

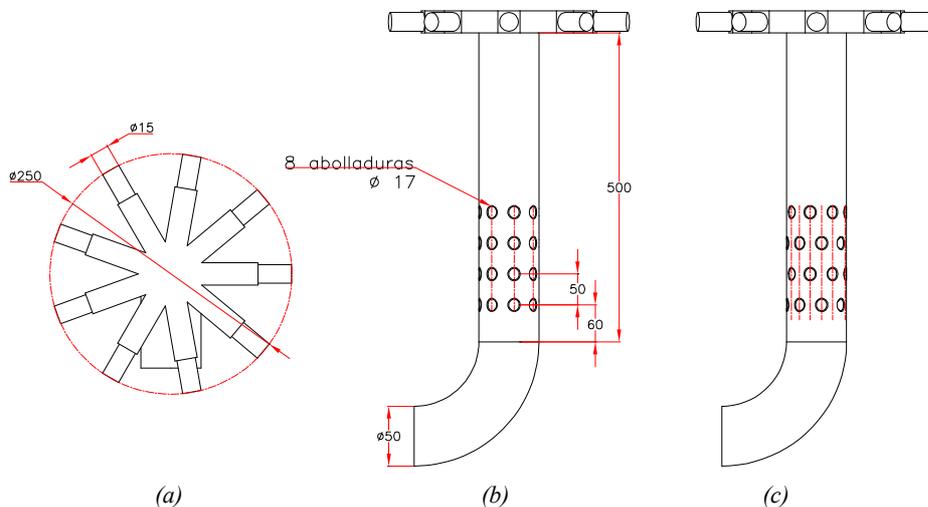


Figura 2. Distribuidor de semillas y tubo de alimentación con abolladuras. a) Planta. b) Configuración lineal. c) Configuración helicoidal. Medidas en [mm].

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Se utilizaron, para la simulación del flujo de aire dentro de los distribuidores, modelos tridimensionales. Las ecuaciones de Navier-Stokes corresponden al caso de flujo viscoso turbulento e incompresibles. Las mismas son resueltas con la técnica estándar de Reynolds Average Navier-Stokes (RANS), con un modelo de turbulencia k- ϵ (Wilcox, 1994). El algoritmo utilizado es estacionario, y se resuelve con el software de Elementos Finitos COMSOL Multiphysics 3.5a ®. El modelado de la geometría, la generación de malla, la resolución numérica de las ecuaciones y el post-proceso, son resueltos también con COMSOL Multiphysics 3.5a ®.

En las siguientes ecuaciones se utiliza notación indicial.

Ecuación de continuidad,

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Ecuación promediada de Reynolds - Navier Stokes,

$$\rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [2\mu S_{ij} - \tau_{ij}] \quad (2)$$

Tensor de tensiones medio,

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

Tensor de tensiones de Reynolds,

$$\tau_{ij} = 2\mu_T S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

Viscosidad turbulenta,

$$\mu_T = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

Ecuación para la energía cinética turbulenta k,

$$\rho U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (6)$$

Ecuación para la tasa de disipación de energía ε ,

$$\rho U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (7)$$

Donde,

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44, \quad C_{\varepsilon 2} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

La condición de borde en las cercanías de las paredes se toma como la variación de las velocidades en sentido normal con una ley logarítmica. La condición de borde impuesta en la sección entrada del aire en el tubo inferior es de una velocidad uniforme. La otra condición de borde impuesta es la presión en los tubos de salida, la cual se toma como relativa nula. Las características del aire utilizadas para el cálculo son: densidad $\rho = 1,17 \text{ kg/m}^3$ y viscosidad cinemática $\nu = 1,983 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$. Los elementos utilizados para la discretización del continuo son elementos tetraédricos de segundo orden en velocidades, y de primer orden en presiones.

La caída de presión en la cañería vendrá dado por la diferencia entre la presión al ingreso del distribuidor y a la salida del mismo. La misma se calculará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\Delta P = \underbrace{\frac{\rho}{2} (v_e^2 - v_s^2)}_A + \underbrace{(p_e - p_s)}_B + \underbrace{\rho g (z_e - z_s)}_C \quad (8)$$

Donde

ρ	[Kg/ m ³]	Es la densidad del aire
g	[m/seg ²]	Es la aceleración de la gravedad
$v_{e,s}$	[m/seg]	Son las velocidades de entrada y salida, respectivamente.
$P_{e,s}$	[Pa]	Son las presiones estáticas a la entrada y salida del distribuidor, respectivamente.
$Z_{e,s}$	[m]	Son los niveles entrada y salida del distribuidor, respectivamente.

El término $C = \rho g (Z_e - Z_s)$ se desprecia respecto a los términos A y B , debido a que la diferencia de niveles entre la entrada y la salida es $(Z_e - Z_s)$ es despreciable. Los términos A y B representan las diferencias de presión dinámica y estática, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

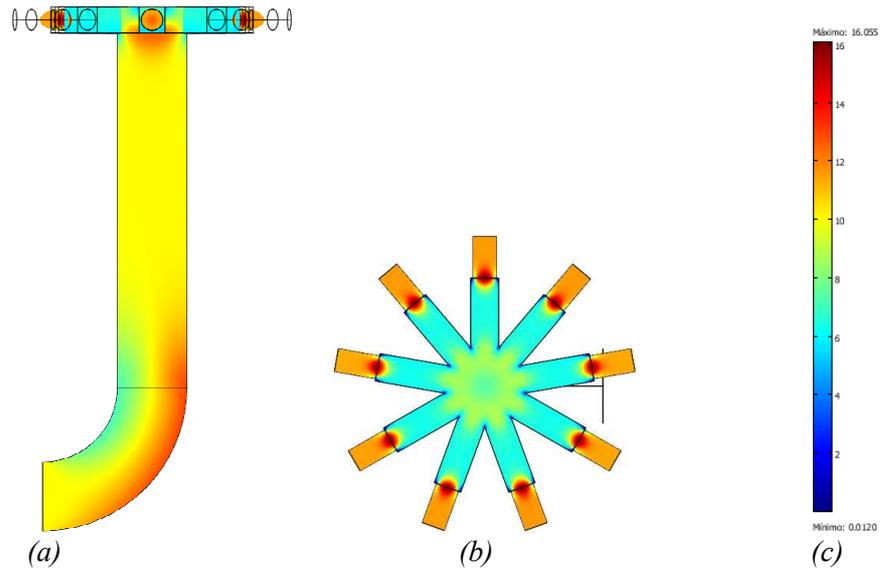


Figura 3. Distribuidor con tubo de alimentación sin abolladuras. (a) Campo de velocidades en corte vertical, (b) Campo de velocidades en sección transversal. (c) Escala de velocidades. Simulaciones realizadas para una velocidad de ingreso de 10 m/s

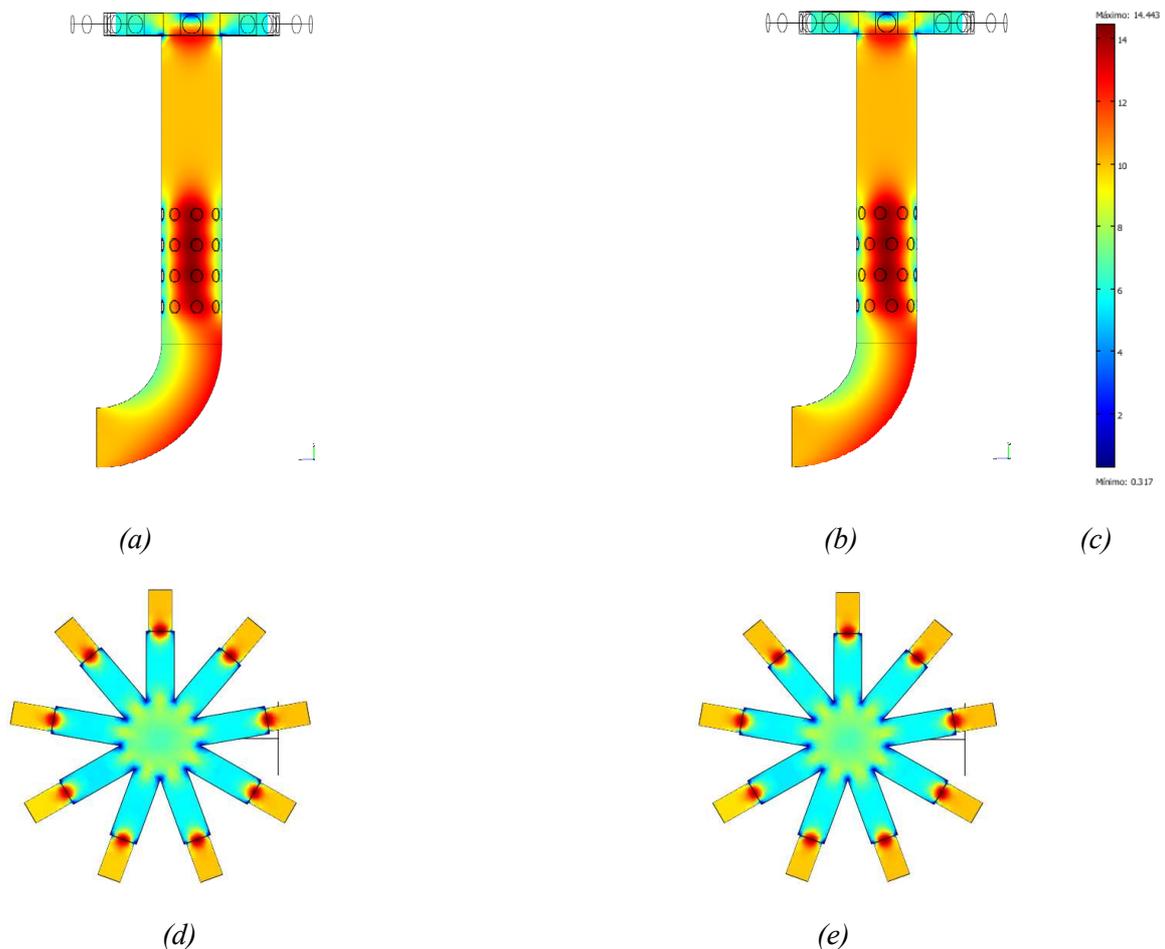


Figura 4. (a) Corte vertical del modulo de velocidades de la configuración con abolladuras linealmente distribuidas. (b) Corte vertical del modulo de velocidades de la configuración con abolladuras helicoidalmente distribuidas. (c) Escala de velocidades. (d) Campo de velocidades en sección transversal correspondiente a la figura a. (e) Campo de velocidades en sección transversal correspondiente a la figura b. Campo de velocidades en corte vertical, (b) Campo de velocidades. Simulaciones realizadas para una velocidad de ingreso de 10 m/s

En la Figura 3 se muestra el módulo de las velocidades en dos cortes, uno vertical (figura 3 a), pasante por la mitad del tubo y otro horizontal, pasante por la mitad del distribuidor (figura 3 b). El aire que ingresa en el tubo desarrolla una velocidad máxima de 16,26 m/s en el borde exterior del codo, visualizada por el color rojo. En el distribuidor, debido al cambio de dirección, se observan una zona central de velocidad importante seguida de otra zona de velocidad nula (color azul, Figura 3a). En la Figura 3b se observan las velocidades entre 6 y 10 m/s dentro del distribuidor, así como las velocidades del tubo de salida. Visualmente se puede decir que las velocidades en los tubos de salida son iguales entre sí, lo que implica que la distribución de flujo de aire es uniforme.

En la figura 4 se muestran los mismos cortes que en la figura anterior, pero para las configuraciones de tubo de entrada con abolladuras distribuidas linealmente (figuras 4 a y d) y helicoidalmente (figuras 4 b y e). Se observan las perturbaciones producidas en el campo de velocidades por las abolladuras en el tubo de ingreso (figuras 4 a y b) donde se desarrolla una zona de mayor turbulencia, con velocidades máximas del orden de 17 m/s. Nuevamente, de las figuras 4 d y e, se observa que las velocidades en los tubos de salida son casi iguales entre sí, lo que se confirma con los resultados expuestos en Tabla 1. Las simulaciones correspondientes a las figuras 3 y 4 fueron hechas con una velocidad uniforme de entrada de 10m/s.

Tipo de sección	Tubo sin abolladuras –A			Tubo c/ abolladuras linealmente distribuidas – B			Tubo c/ abolladuras helicoidalmente distribuidas – C		
	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal	Dif. De presión [Pa]	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal	Dif. De presión [Pa]	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal	Dif. De presión [Pa]
Entrada S10	0,0183196	100%	1465,3	0,0183196	100%	2218,1	0,0183196	100%	2214,2
Salida S1	0,0020271	11,081%		0,0020618	11,269%		0,0020579	11,244%	
Salida S2	0,0020183	11,033%		0,0020289	11,089%		0,0020441	11,169%	
Salida S3	0,0020448	11,177%		0,0020509	11,209%		0,0020501	11,202%	
Salida S4	0,0020390	11,146%		0,0020122	10,998%		0,0020260	11,070%	
Salida S5	0,0020339	11,118%		0,0019603	10,714%		0,0019566	10,691%	
Salida S6	0,0020093	10,983%		0,0020111	10,991%		0,0020111	10,988%	
Salida S7	0,0020559	11,238%		0,0020589	11,253%		0,0020456	11,177%	
Salida S8	0,0020295	11,094%		0,0020607	11,263%		0,0020530	11,217%	
Salida S9	0,0020364	11,131%		0,0020520	11,215%		0,0020573	11,241%	
Diferencia % máxima		0,255%		0,555%		0,553%			

Tabla 1. Valores promedio de caudal de aire, y diferencias de presión entre el de ingreso y egreso en cada sección de los distribuidores, para velocidad de entrada de 10 m/s.

En la Tabla 1 se observan los valores de caudales de aire en la sección de ingreso (Entrada_S10) y las secciones de egreso (Salidas_Si). Es claro que la variabilidad entre los caudales de salida, para las diferentes configuraciones de tubo de entrada, es despreciable. En cuanto a la distribución porcentual del caudal de salida, en el modelo sin abolladuras se observan diferencias entre los caudales de salida del orden de 0,25%. En el caso de los modelos con abolladuras estas diferencias son del orden de 0,55%. De esto último se puede concluir que la presencia de abolladuras en el tubo de entrada produce una distribución de mayor irregularidad, aumentando las diferencias entre los caudales máximos y mínimos en cada caso. Sin embargo las diferencias son lo suficientemente pequeñas como para considerar una buena distribución de flujo en los tres casos. En cuanto a las caídas de presión en cada configuración (Tabla 1) se observa que los modelos con abolladuras generan una caída de presión por arriba del 50% de la producida por el modelo sin abolladuras.

Tubo de entrada sin abolladuras						
Tipo de sección	Resultados para velocidad de entrada de 10m/s		Resultados para velocidad de entrada de 20m/s		Resultados para velocidad de entrada de 30m/s	
	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal	Caudal promedio [m ³ /s]	% de Caudal
Entrada S10	0,0183196	100%	0,0366393	100%	0,0549595	100%
Salida S1	0,0020271	11,081%	0,0040343	11,034%	0,0060903	11,086%
Salida S2	0,0020183	11,033%	0,0040407	11,211%	0,0060794	11,066%
Salida S3	0,0020448	11,177%	0,0041057	11,160%	0,0061276	11,154%
Salida S4	0,0020390	11,146%	0,0040867	11,091%	0,0061115	11,124%
Salida S5	0,0020339	11,118%	0,0040618	10,970%	0,0061107	11,123%
Salida S6	0,0020093	10,983%	0,0040172	11,160%	0,0060100	10,940%
Salida S7	0,0020559	11,238%	0,0040869	11,169%	0,0061300	11,158%
Salida S8	0,0020295	11,094%	0,0040903	11,189%	0,0061543	11,202%
Salida S9	0,0020364	11,131%	0,0040973	11,034%	0,0061245	11,189%
Diferencia % máxima		0,255%		0,24%		0,26%

Tabla 2. Valores promedio de caudal de aire el de ingreso y egreso en cada sección de los distribuidores, para las velocidad de entrada de 10,20 y30 m/s.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las simulaciones realizadas sobre la configuración sin abolladuras, para tres velocidades de aire de entrada: 10, 20 y 30 m/s. En los tres casos no se detectan diferencias significativas entre los caudales de los conductos de salida cuyas diferencias porcentuales se mantiene por debajo del 0,3%.

CONCLUSIONES

Este trabajo se originó a partir de la pregunta de si la incorporación de abolladuras en el tubo de ingreso del distribuidor de semillas de una sembradora air drill es una mejora en la distribución del caudal de aire. De las simulaciones realizadas se concluye que la configuración sin abolladuras posee mejor performance en la distribución de flujo de aire en comparación con las configuraciones con abolladuras. En los tres casos se observan una buena distribución de flujo, pero los casos con abolladura presentan mayores pérdidas de presión, además de la complejidad constructiva. Estos resultados se contradicen con las modificaciones propuestas por fabricantes de agropartes locales, los cuales afirman que las abolladuras son factibles de mejorar la uniformidad en la distribución de flujo. Será necesario contrastar estos resultados numéricos con pruebas experimentales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto PID SECYT UNR 11NG287 "Optimización del diseño en maquinarias e instalaciones agrícolas orientado a la manipulación de granos" al cual pertenecen los autores.

REFERENCIAS

- Bourges G; Eliach J; Balbastro E; Medina M. (2006, a) Evaluación numérica del distribuidor de semillas por medio de flujo de aire en sembradoras air-drill. XXVII Cilamce. Proceedings. Septiembre 2006. Belém, Brazil. P.C.: 04-525.
- Bourges G; Eliach J; Medina M. (2006,b) Diseño utilizando CAE (Computer Aided Design) del distribuidor neumático en el sistema de transporte de semillas en sembradoras air-drill. Mecánica Computacional. Argentina. Vol. XXV, pp 1297-1312.
- Bourges, G; Mattara, M.; Ponso, R.; Medina, M.; (2009). Determinación de la Pérdida Energética en Distribuidores de Semillas de Sembradoras. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 13. pp. 8.27- 8.33.
- Bourges G.; Medina M.(2007) Evaluación de la performance neumática del sistema de transporte de semillas en sembradoras "air-drill". Mecánica Computacional. Octubre 2007, Córdoba, Argentina. Vol. XXVI, pp 1131-1142, , 1297-1312.
- Bragachini M (2005). Sembradoras de Grano Fino / Soja (Small grain / soybean seeder). Tendencias. INTA Manfredi. <http://www.agriculturadeprecision.org/>.
- Kumar, V J F; Durairaj C D (2000). Influence of Head Geometry on the Distributive Performance of Air-assisted Seed Drills. Journal of Agricultural and Engineering Research. 75, 81-95.
- Wilcox D C (1998). Turbulence Modeling for CFD. DCW Industries Inc.

ABSTRACT: Air drill seeders are characterized by conveying the seeds by mean of air current. Visiting agricultural machinery shows it arose the question that if adding dents on the inlet tube the air flow distribution can be improved. The aim of the present work is evaluate to numerically the influence of dents on the inlet tube, and the energetic efficiency of each configuration. Three cases of inlet tube are presented, one without dents, and the others with lineally and helically distributed dents. These configurations are modeled using the finite elements method and resolved with the software Multiphysics 3.5a®. It is conclude that the configuration without dents has the best air flow distribution performance, and that the configurations with dents present higher pressure losses.

Keywords: Seeds distributor, inlet tube, seeders, pressure losses, numerical simulation.