

## EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE NEUMÁTICA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE SEMILLAS EN SEMBRADORAS “AIR DRILL”

G. Bourges<sup>1</sup>, M. Medina<sup>2</sup>

1: Escuela de Ingeniería Mecánica. Fac. de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. UNR.  
Beruti 2109, (2000) Rosario, Argentina.  
e-mail: [gbourges@fceia.unr.edu.ar](mailto:gbourges@fceia.unr.edu.ar)

2: Consejo de Investigaciones. Universidad Nacional de Rosario.  
Escuela de Formación Básica. Fac. de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. UNR.  
Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina.  
e-mail: [mmmedina@fceia.unr.edu.ar](mailto:mmmedina@fceia.unr.edu.ar)

**Palabras clave:** sembradoras air drill, semillas, transporte neumático, simulación numérica.

**RESUMEN:** El presente trabajo de investigación trata sobre la evaluación de la performance neumática del sistema de transporte de semillas con distintas longitudes de tubo alimentador vertical. En este tipo de sembradoras, las semillas son transportadas desde un tanque que las contiene y 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. En general, el ingreso de la mezcla aire-semillas al distribuidor se realiza por medio de un tubo vertical, cuya longitud es variable en cada máquina. Estas máquinas son generalmente utilizadas para granos finos (trigo, arroz, centeno, cebada). Para evaluar la uniformidad en la llegada de semillas a cada cuerpo de siembra, en este trabajo, se llevan a cabo simulaciones numéricas del flujo de aire en el sistema de distribución de semillas. Se analiza la influencia de distintas longitudes del tubo de entrada, para un tipo de distribuidor neumático de semillas, en la distribución de estas últimas. Se utiliza para el análisis un modelo de distribuidor desarrollado en un trabajo anterior de los autores. Se realizan comparaciones de campos de velocidades para las distintas configuraciones geométricas. Se utiliza CFD para modelizar flujos turbulentos. El modelado de la geometría, la resolución numérica de las ecuaciones y el postproceso de resultados se realizan mediante software de uso profesional. Se puede concluir que la presencia de un tubo vertical no es necesaria a los fines de homogeneizar el caudal de aire, dado que el distribuidor cumple la función de repartir en forma pareja en cada tubo de salida. La longitud del tubo podrá quedar fijada por las necesidades del sistema de distribución de semillas en la sembradora. Queda por verificar experimentalmente estos resultados.

# 1 INTRODUCCION

## 1.1 Estado actual del conocimiento

El presente trabajo de investigación trata sobre el sistema de transporte de semillas por medio de flujo de aire en las sembradoras air drill. Este tipo de sembradoras son generalmente utilizadas para granos finos (trigo, arroz, centeno, cebada siendo la distribución espacial de las semillas en el surco del tipo “chorrillo en líneas” (Maroni, 2001). Las semillas son transportadas desde un tanque que las contiene y 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 (Bragachini, 2005), como se esquematiza en la Figura 1.

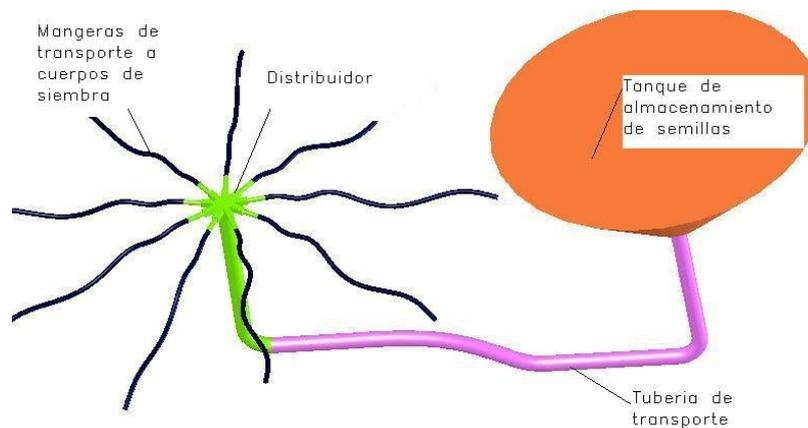


Figura 1: Esquema del sistema de distribución de semillas

Para lograr la uniformidad en la llegada de semillas a cada cuerpo de siembra, en trabajos anteriores (Bourges, 2006a; Bourges, 2006b) se hizo un estudio del distribuidor, ya que un correcto diseño del mismo es el núcleo de una distribución uniforme. Para ello, se llevaron a cabo simulaciones numéricas bi y tridimensionales del flujo de aire en el distribuidor de semillas. En el caso bidimensional se tomó un plano de simetría y en el tridimensional se simuló un noveno del sistema. Se realizaron comparaciones de campos de velocidades para distintas configuraciones geométricas propuestas, basándose en estudios previamente realizados de configuraciones existentes (Kumar, 2000). Se determinaron los de mejor performance en la distribución de semillas de acuerdo a la menor cantidad y dimensiones de zonas muertas y recirculaciones. De los resultados obtenidos se deduce que es necesaria la simulación tridimensional completa debido a que los mismos no son satisfactorios por la falta de simetría del sistema.

Entre los modelos propuestos se encuentra el distribuidor de plato paralelo que, si bien resulta ser el de menor rendimiento aerodinámico, es muy simple desde el punto de vista constructivo. Basándonos en este modelo, se hará un estudio de la influencia de la longitud del conducto de alimentación del distribuidor en el caudal de aire que sale por cada boca del distribuidor. Se toma como hipótesis que la distribución del flujo de aire se corresponderá con la distribución de semillas.

Se realizarán simulaciones tridimensionales completas del modelo de distribuidor de platos paralelos con distintas longitudes de tubo de alimentación o de entrada.

## 1.2 Objetivo del presente trabajo

El objetivo de este trabajo es verificar la cantidad de flujo de aire que sale por cada boca del distribuidor para diferentes longitudes de tubo de alimentación ya que al existir un cambio brusco de dirección en la entrada del tubo de alimentación podría producirse una distribución no homogénea del flujo entre las bocas del distribuidor. Mayores longitudes en el tubo de alimentación podrían brindar una distribución de flujos más homogéneo en las salidas del distribuidor, por consiguiente una distribución más regular de semillas en el surco.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN AIRE SEMILLA.

Este distribuidor toma como referencia el desarrollado en el trabajo anterior (Bourges, 2006b), llamado de discos paralelos. En ese modelo la distribución de flujo se realizaba a través de placas separadoras, las cuales son modeladas en este trabajo por los conductos de sección rectangular como se observa en la Figura 2. Con esta nueva configuración se visualiza mejor el camino del aire, evitando componentes innecesarios cuando se modelice.

El sistema simulado consta de los siguientes componentes:

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

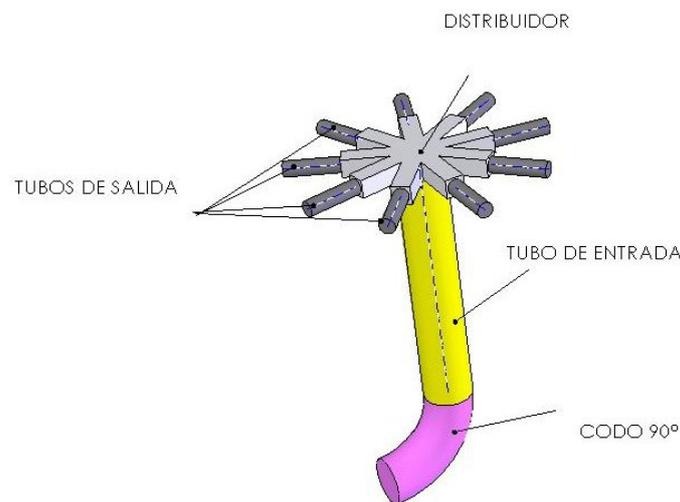


Figura 2: Componentes del sistema de distribución de semillas

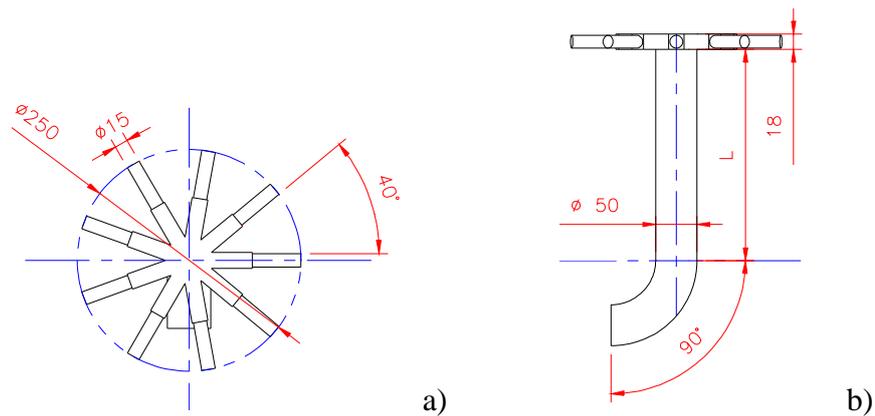


Figura 3: a) Planta. b) Corte del sistema de distribución de semillas. Medidas en [mm].

Se estudiarán cuatro configuraciones de longitudes de tubos de entrada. En el primer caso se toma una longitud de tubo de entrada nula y los casos siguientes se tomarán longitudes crecientes de 0.25 m, 0.50 m y 1.00 m, como se muestra en la [Figura 4](#).

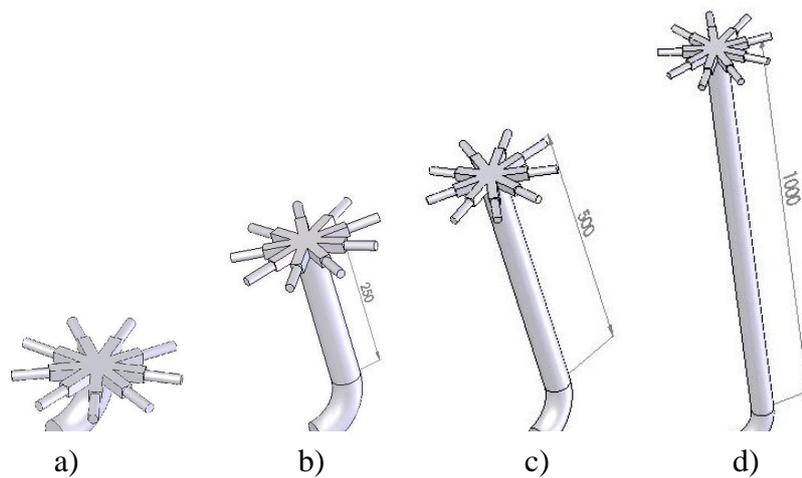


Figura 4. Axonometrías de los modelos considerados. a) Tubo de longitud nula, b) Tubo de 0.25 m de longitud. c) Tubo de 0.50 m de longitud. d) Tubo de 1.00 m de longitud

### 3 MODELO NUMÉRICO

Para la simulación del flujo de aire del distribuidor se utiliza un modelo tridimensional completo. El modelo numérico es el mismo que el plantean los autores en trabajos anteriores ([Bourges, 2006a](#); [Bourges, 2006b](#)). Las ecuaciones son las de Navier Stokes, resueltas con una técnica de Reynolds Average Navier-Stokes (RANS) standard, con un modelo de turbulencia  $k-\varepsilon$  ([Wilcox, 1994](#)). El algoritmo utilizado es estacionario. Se supone que el gradiente de velocidades del aire no se verá afectado por la presencia de partículas del tamaño de las semillas.

La condición de borde en las cercanías de las paredes se toma como la variación, en el sentido normal a la pared, de las velocidades tangenciales con una ley logarítmica y velocidad

normal a la pared nula. La condición de borde impuesta en la entrada de aire en la sección inferior del codo es una velocidad de 6 m/s. Esta velocidad de entrada del aire fue elegida como una media de los valores máximos y mínimos utilizados para asegurar el transporte de las semillas y a la vez impedir el impacto violento de las mismas en la parte superior del distribuidor (Bourges, 2006a). La otra condición de borde impuesta es la presión nula de salida en los tubos de salida, como se muestra en la Figura 5.

Las características del aire utilizadas para el cálculo son: densidad  $\rho = 1.17 \frac{kg}{m^3}$  y viscosidad dinámica  $\mu = 1,983 \cdot 10^{-5} \frac{Kg}{m s}$ .

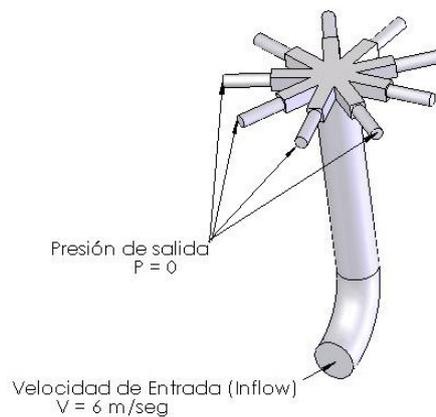


Figura 5: Condiciones de borde

Se emplea el método de los elementos finitos para la simulación numérica a través de un software profesional. Los elementos utilizados fueron tetraedros de segundo orden en velocidades y de primer orden en presiones.

El mallado automático que realiza el software no resulta adecuado a los modelos analizados. Estos presentan zonas conflictivas en los cambios bruscos de dirección, puntos angulosos, o cambios de sección (rectangular a circular), como puede observarse en la Figura 6. Se debió realizar un refinamiento de malla en esos sectores.

Este refinamiento se hizo de forma tal que la dimensión máxima en los elementos en sectores conflictivos (como las superficies de contorno de los tubos de salida del distribuidor) fuesen las mismas para todos los modelos. Para ello se tomó como referencia la mayor dimensión de cada modelo y se la multiplicó por distintos valores según el modelo y el sector de interés. Esto se debió a que por limitaciones en los recursos informáticos resultó imposible un refinamiento completo del modelo, que hubiera sido una solución más práctica.

Por ejemplo, en el caso del modelo con longitud nula de tubo de entrada, la dimensión máxima del mismo es el diámetro del distribuidor (0.25 m) y las zonas conflictivas son las mostradas en la Figura 6 b y c. En el caso del cambio de sección (Figura 6 b), debido al refinamiento se obtuvo un tamaño máximo de elemento de 3.3 mm, valor que se respetó para el mismo sector en los otros modelos. Otro factor de influencia en el mallado fue la tasa de crecimiento que determinó la variación de tamaño entre elementos vecinos, que en este caso es de 1.3, y fue tomada variable según el sector considerado. Todo este trabajo logró acotar la cantidad de elementos por modelo y que las simulaciones de los diferentes modelos sean comparables entre sí. Con estas discretizaciones se ha alcanzado el límite de la capacidad computacional disponible por el grupo.

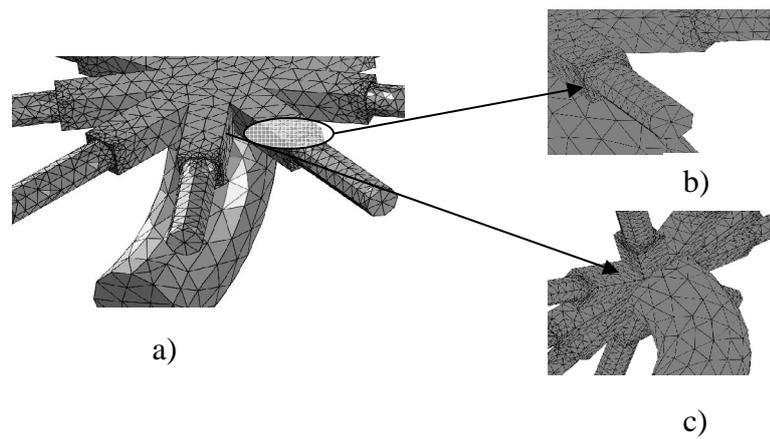


Figura 6: a) Mallado del modelo de longitud de tubo de entrada nula. b) Detalle de cambio de sección rectangular a circular. c) Detalle de cambio de dirección.

#### 4 RESULTADOS

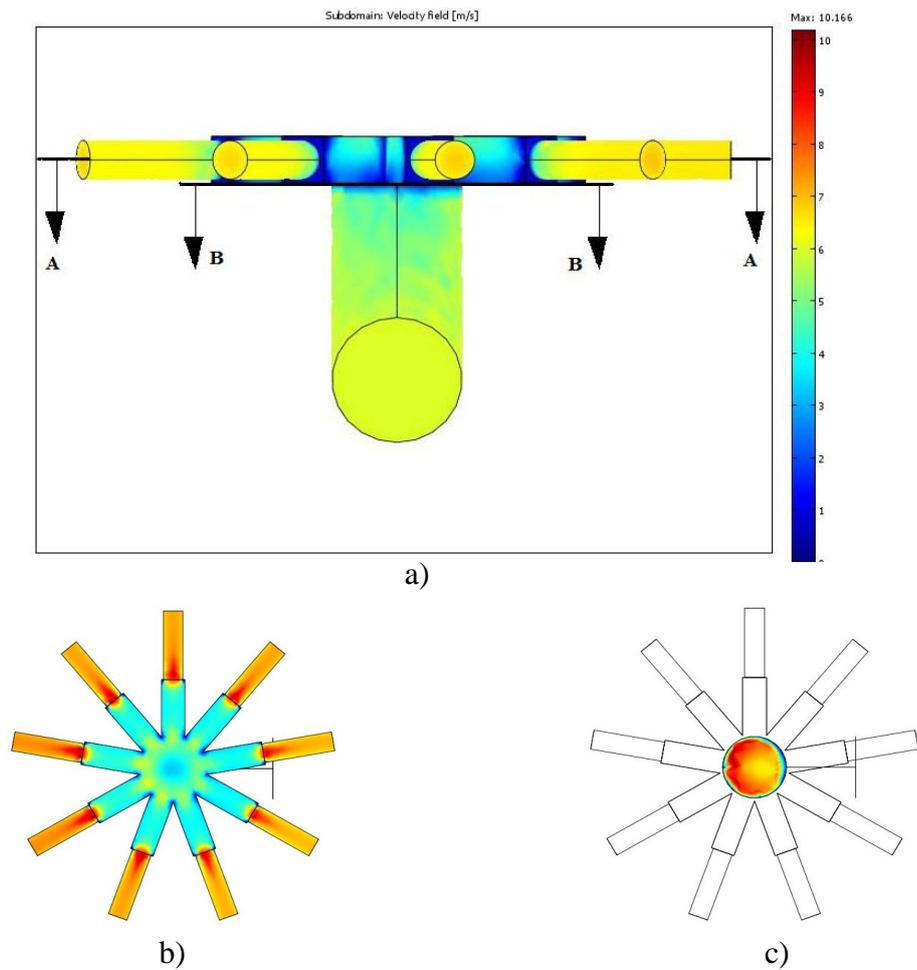


Figura 7: a) Alzada del módulo de campo de velocidad en distribuidor con tubo de ingreso de longitud nula. b) Corte A-A. Módulo de campo de velocidades dentro del distribuidor. c) Corte B-B. Módulo de campo de velocidades al final del codo.

En este párrafo se muestran los resultados de la simulación completa tridimensional de los cuatro casos correspondientes a las cuatro longitudes de tubo de entrada. Se observa en las [Figura 7](#), [Figura 8](#), [Figura 9](#) y [Figura 10](#) la distribución de módulo de campo de velocidades, el modelo completo y en los cortes

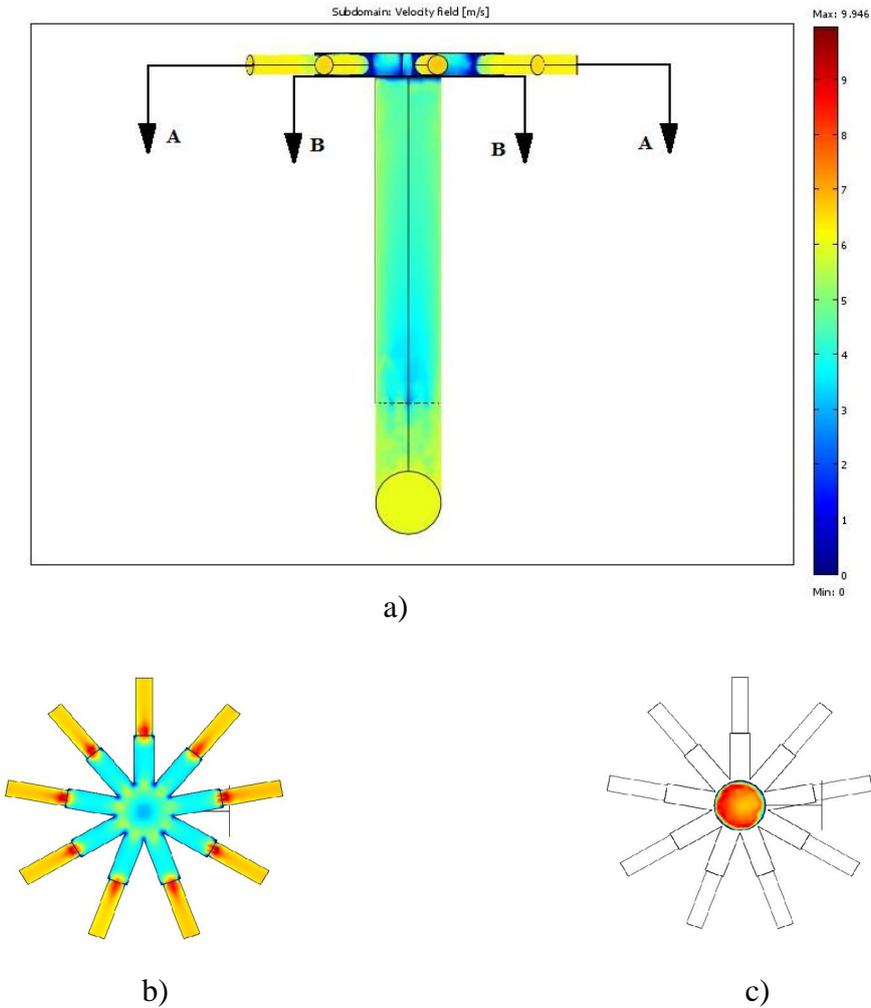


Figura 8: a) Alzada del módulo de campo de velocidad en distribuidor con tubo de ingreso 0.25 m de longitud. b) Corte A-A. Módulo de campo de velocidades dentro del distribuidor. c) Corte B-B. módulo de campo de velocidades al final del codo.

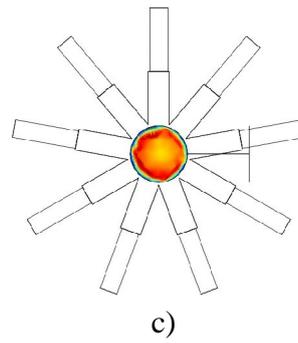
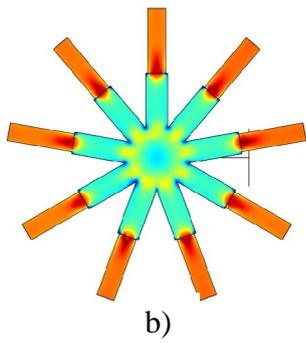
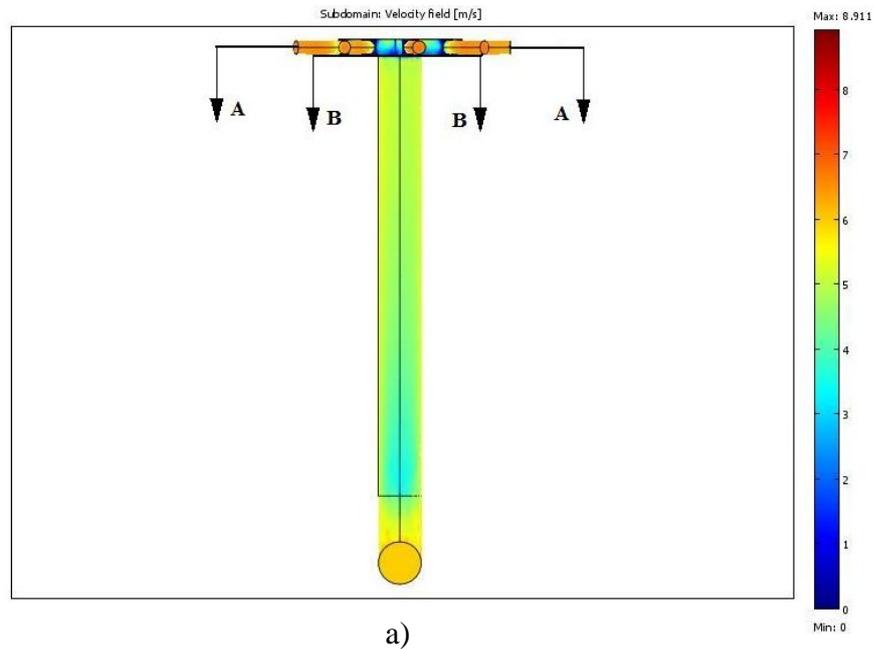


Figura 9: a) Alzada del módulo de campo de velocidad en distribuidor con tubo de ingreso 0.50 m de longitud. b) Corte A-A. Módulo de campo de velocidades dentro del distribuidor. c) Corte B-B. módulo de campo de velocidades al final del codo.

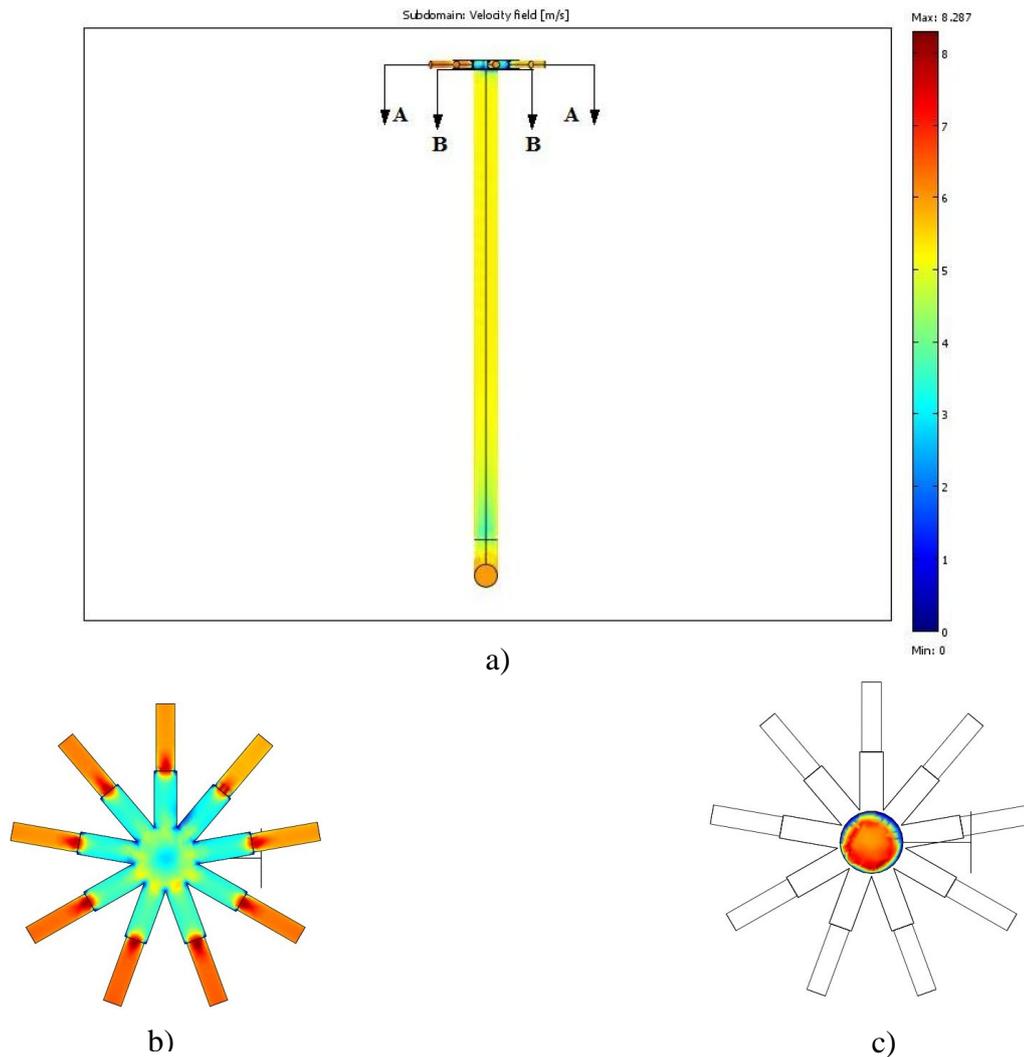


Figura 10: a) Alzada del módulo de campo de velocidad en distribuidor con tubo de ingreso 1.00 m de longitud. b) Corte A-A. Módulo de campo de velocidades dentro del distribuidor. c) Corte B-B. módulo de campo de velocidades al final del codo.

En las figuras anteriores, en el corte c, se observa la distribución de módulo de velocidades. En el caso de longitud nula (Figura 7 c) esta distribución no es homogénea y presenta una zona de mayor velocidad en la parte posterior del distribuidor. Por el contrario, en la Figura 10 c, la distribución de módulo de velocidades resulta homogénea. A pesar de este fenómeno los resultados muestran en las salidas de los tubos se logra una distribución de flujo casi uniforme, como se muestra en las figuras anteriores y en las tablas siguientes.

En las siguientes tablas se muestra el caudal de ingreso al distribuidor así como los caudales salientes en los tubos de salida, y su porcentaje respecto del total. En el caso de longitud nula, tabla 1, el porcentaje de salida máximo es de 11,70% (superficie Cs4 y Cs5 en Figura 11) y se obtiene en un tubo de salida correspondiente a la parte posterior del codo, mientras que el porcentaje mínimo (11.10 %) se obtiene en una salida correspondiente a la parte anterior del codo (superficie Cs1). Un resultado de este tipo era de esperarse ya que por efecto del cambio de dirección el fluido tiene a ir más rápido en la parte posterior del codo. Sin embargo esta diferencia de flujos no es importante (menor al 1 %). Por otro lado, los caudales en el resto de los tubos posteriores no mantienen esa relación de mayor caudal

respecto de los anteriores. Esto podría deberse a que el distribuidor genera una homogenización en el caudal de los tubos de salida.

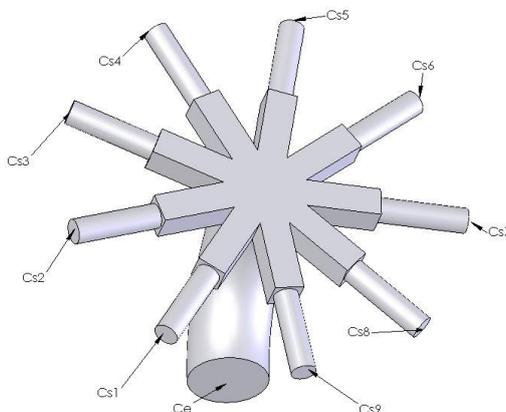


Figura 11. Codificación de superficies

	Superficie	Caudal prom. en c/ sup. [m <sup>3</sup> /seg]	Porcentaje resp. del caudal de ing. [%]
Entrada	Ce	0.0105117	100.00%
Salida	Cs1	0.0011540	10.9783%
	Cs2	0.0011650	11.0829%
	Cs3	0.0011920	11.3398%
	Cs4	0.0012300	11.7013%
	Cs5	0.0012300	11.7013%
	Cs6	0.0011930	11.3493%
	Cs7	0.0011950	11.3683%
	Cs8	0.0011900	11.3208%
	Cs9	0.0011670	11.1020%

Tabla 1: Resultados numéricos para tubo de entrada de longitud nula.

	Superficie	Caudal prom. en c/ sup. [m <sup>3</sup> /seg]	Porcentaje resp. del caudal de ing. [%]
Entrada	Ce	0.0103210	100.00%
Salida	Cs1	0.0011500	11.1423%
	Cs2	0.0011500	11.1423%
	Cs3	0.0011220	10.8710%
	Cs4	0.0011460	11.1036%
	Cs5	0.0011560	11.2005%
	Cs6	0.0011400	11.0454%
	Cs7	0.0011400	11.0454%
	Cs8	0.0011440	11.0842%
	Cs9	0.0011730	11.3652%

Tabla 2: Resultados numéricos para tubo de entrada de 0.25 m de longitud.

	Superficie	Caudal prom. en c/ sup. [m <sup>3</sup> /seg]	Porcentaje resp. del caudal de ing. [%]
Entrada	Ce	0.0103720	100.00%
Salida	Cs1	0.0011430	11.0201%
	Cs2	0.0011680	11.2611%
	Cs3	0.0011540	11.1261%
	Cs4	0.0011340	10.9333%
	Cs5	0.0011440	11.0297%
	Cs6	0.0011470	11.0586%
	Cs7	0.0011420	11.0104%
	Cs8	0.0011730	11.3093%
	Cs9	0.0011670	11.2514%

Tabla 3: Resultados numéricos para tubo de entrada de 0.50 m de longitud.

	Superficie	Caudal prom. en c/ sup. [m <sup>3</sup> /seg]	Porcentaje resp. del caudal de ing. [%]
Entrada	Ce	0.0096540	100.00
Salida	Cs1	0.0010930	11.3217
	Cs2	0.0011230	11.6325
	Cs3	0.0011250	11.6532
	Cs4	0.0011080	11.4771
	Cs5	0.0010510	10.8867
	Cs6	0.0010730	11.1146
	Cs7	0.0010400	10.7727
	Cs8	0.0010070	10.4309
	Cs9	0.0010340	10.7106

Tabla 4: Resultados numéricos para tubo de entrada de 1.00 m de longitud.

En las tablas 2, 3 y 4, correspondientes a las otras longitudes de tubo de entrada se observan resultados similares al modelo de longitud nula (tabla 1). En los casos de las longitudes de 0.25 m, 0.50 m y 1 m (tablas 2, 3 y 4) el mayor caudal se registra también en tubos posteriores al codo. Igual que en el caso anterior las diferencias entre máximos y mínimos son del orden del 1 %.

En todos los resultados obtenidos se puede observar que las diferencias de caudal entre cada uno de los tubos de salida no es significativo, es decir el distribuidor cumple la función de homogeneizar el flujo de aire.

## 5 CONCLUSIONES

Se han realizado simulaciones numéricas en modelos tridimensionales completos de sistemas neumáticos de transporte de semillas en sembradoras “air drill” compuestos por un distribuidor de flujo, codo de cambio de dirección y tubo de entrada. La simulación se realiza utilizando aire, tomándose como hipótesis que la presencia de semillas no incidirá en la distribución de flujo.

De acuerdo con estas simulaciones, tratándose de aire y para las velocidades y presiones del orden de estos cálculos, se puede concluir que la presencia de un tubo vertical no es necesaria a los fines de homogeneizar el caudal de aire, dado que el distribuidor cumple la función de repartir en forma pareja en cada tubo de salida. La longitud del tubo podrá quedar fijada por las necesidades del sistema de distribución de semillas en la sembradora. Queda por verificar experimentalmente estos resultados.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto PID SECYT UNR ING144 “Optimización del sistema de distribución de semillas en sembradoras air drill” al cual pertenecen los autores.

### **REFERENCIAS**

- Bourges, G., Eliach, J., Balbastro, E., Medina, M., Evaluación numérica del distribuidor de semillas por medio de flujo de aire en sembradoras “air drill”. Actas en formato electrónico CD del XXVII Cilamce - Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Belém, Pará, Brazil, September 2006.
- Bourges, G., Eliach, E., Medina, M., Diseño utilizando CAE (Computer Aided Design) del distribuidor neumático en el sistema de transporte de semillas en sembradoras air drill. *Mecánica Computacional*. Vol. XXV, pp 1297-1312, Noviembre 2006, Santa Fe, Argentina.
- Bragachini, M., Sembradoras de Grano Fino / Soja. Tendencias. *INTA Manfredi*. <http://www.agriculturadeprecision.org/>.2005
- 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*. Vol. 75, pp. 81-95.
- Kumar V. J. F., Durairaj C. D., 2001. Influence of distributor head on the seed trajectory within the feeder plenum of an air drill. *International Agricultural Engineering Journal* Vol. 10, Issue 3-4, pp. 255-267.
- Maroni, J., 2001. Un concepto diferente en sembradoras: las AIR DRILL. *Agromensajes*, Número 5.
- Wilcox, D. C., 1998. Turbulence Modeling for CFD. *DCW Industries Inc.*