

## COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS EXPERIMENTALES Y NUMÉRICOS EN UN CABEZAL DISTRIBUIDOR DE SEMBRADORA “AIR DRILL”

G. Bourges<sup>a</sup>, J.Eliach<sup>b</sup>, M. Medina<sup>c</sup>

<sup>a</sup> FCEIA-UNR. Riobamba 2109. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Ocampo y Esmeralda.  
2000 Rosario, Argentina. [gbourges@fceia.unr.edu.ar](mailto:gbourges@fceia.unr.edu.ar).

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Ocampo y Esmeralda. 2000 Rosario, Argentina.  
[jeliach@inti.gob.ar](mailto:jeliach@inti.gob.ar).

<sup>c</sup> Esc. Formación Básica. FCEIA-UNR. CIUNR, Pellegrini 250. 2000 Rosario, Argentina.  
[mmedina@fceia.unr.edu.ar](mailto:mmedina@fceia.unr.edu.ar).

**Keywords:** transporte neumático, fase diluida, flujo a dos fases, air drill, banco de ensayos.

**Resumen.** En sembradoras “air drill”, el transporte de semillas se realiza por medio de Corrientes de aire. En estos equipos se utilizan mangueras flexibles para transportar los granos, desde el almacenamiento hasta los cabezales distribuidores, y de allí a los cuerpos de siembra. Un componente clave en estos sistemas es el distribuidor. En el presente trabajo se comparan los resultados de experiencias realizadas sobre un banco de ensayos para cabezales distribuidores de semillas, con modelos numéricos del flujo aire-semillas realizados en condiciones equivalentes a las experimentales. El banco de ensayos consta de una tolva de semillas, un ventilador, y un cabezal distribuidor comercial. En cuanto al modelo numérico, se utiliza un modelo de transporte de partículas lagrangiano, en un flujo turbulento no homogéneo. La mezcla aire-partículas se considera como flujo en fase diluida, y se utiliza un acople doble entre ambas fases. Las simulaciones son realizadas con el software comercial ANSYS Fluent ®. Para la simulación del flujo de aire se utilizan las ecuaciones de Navier-Stokes, resueltas con la técnica estándar de Reynolds Average Navier-Stokes, con el modelo de turbulencia k-ε. Las partículas se consideran como esferas de tamaño uniforme.

## 1. INTRODUCCION

Un proceso de siembra correcto es el primer paso para obtener un resultado exitoso de la implantación. El objetivo de una sembradora es entregar la cantidad de semillas por hectárea prefijada, separadas entre sí a una distancia uniforme y colocándoles en el suelo en el ambiente adecuado para que germinen y emerja la planta (profundidad uniforme; contactado semilla-suelo; tapado). Dado la pluralidad de factores intervinientes, no siempre es fácil obtener una siembra correcta. En cuanto a los sistemas de siembra de granos, los mismos pueden dividirse según el tipo de labranza que se realice, entre sistemas de siembra directa y sistemas tradicionales. Por sistema de siembra directa se entiende al proceso en el cual se realiza una mínima labranza de la tierra, en contraste con los sistemas tradicionales de siembra. La forma en que se dosifican los granos en la tierra puede ser mediante sistemas de siembra de precisión y de siembra a chorrillos. Las sembradoras air drill pueden estar constituidas por dos unidades separadas y cada una de ellas puede ser usada independientemente en combinación con otro equipo: a) Unidad carro o tanque que contiene y dosifica las semillas y/o fertilizantes. b) Unidad sembradora que localiza las semillas y/o el fertilizante en el suelo. Entre la unidad tanque y la unidad sembradora, se encuentran una serie de mangueras y cabezales distribuidores, por donde circulan las semillas (o fertilizantes) impulsadas por la corriente de aire que produce una turbina. Los dosificadores instalados en la parte inferior de las tolvas son del tipo mecánico y son accionados por un tren cinemático apto para regular la cantidad del material que se desea aplicar. Un ventilador genera la corriente de aire que transporta la semilla y/o el fertilizante hasta la otra unidad que los localiza en el suelo en diferentes formas, según la configuración de los sistemas abre surcos. Las mangueras conductoras salen desde los dosificadores de la unidad tanque y culminan en un cabezal distribuidor, desde allí, y por conductos de menor sección, se traslada la semilla y/o fertilizante a cada uno de los cuerpos de siembra. Este tipo de sembradoras permite sembrar a elevadas velocidades, lo que no ocurre con las sembradoras convencionales a causa de la inercia mecánica de los dispositivos de dosificación. En cuanto a desarrollos específicos relacionados con las sembradoras air drill o sembradoras por aire se pueden nombrar, entre otros, los estudios realizados en el cabezal distribuidor. Kumar (et, al, 1999) desarrollaron una maquina sembradora tipo air drill para granos finos como trigo, avena, cebada y sorgo. En sus experimentos determinó la influencia de la velocidad de avance de la máquina y la orientación del tubo de salida para los granos ensayados que fueron sésamo, mijo y sorgo. Kumar (et, al, 1999) estudió también la influencia de la geometría del cabezal en la performance distributiva de estas sembradoras (Kumar & Durairaj, 2000). Las configuraciones de cabezales estudiadas fueron las siguientes: de disco paralelo (“parallel disc”), de embudo cerrado (“closed-funnel”) y el distribuidor aerodinámico (“streamedlined flow”). De los tres cabezales distribuidores estudiados el aerodinámico resultó ser el de mejor performance de distribución para los tres tipos de semillas probadas (sorgo, sésamo y mijo). Otro estudio de Kumar se centró en la influencia del cabezal distribuidor y el tubo de alimentación del cabezal en la trayectoria de las semillas en las sembradoras air drill (Kumar & Durairaj, 2001). En este trabajo, Kumar muestra la importancia de la performance neumática del tubo alimentador vertical de semillas respecto a su capacidad de transportar las semillas desde el dosificador hacia la cabeza del distribuidor.

En trabajos previos, los autores analizaron la distribución de flujo de aire en los tres cabezales distribuidores de semillas propuestos por Kumar & Durairaj (2000), mediante un análisis bidimensional por medio del método de elementos finitos (Bourges, et al. 2006)

posteriormente se realizaron 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 (Bourges & Medina, 2007). De acuerdo con estas simulaciones, tratándose de aire y para las velocidades y presiones del orden de los utilizados, 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. En Bourges (et al., 2009) 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 casos analizados 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 agro partes locales, los cuales afirman que las abolladuras son factibles de mejorar la uniformidad en la distribución de flujo. Se han realizado también simulaciones de trayectorias de granos de soja, con diferentes condiciones de velocidad inicial de aire en el conducto. Se evidencia la influencia de los coeficientes de restitución en las fuerzas actuantes sobre el grano. Las fuerzas de sustentación de Magnus y Saffman son despreciables respecto de las aerodinámicas (arrastre) y gravitatorias (Bourges & Medina, 2010).

En el presente trabajo se comparan los resultados experimentales realizadas sobre un banco de ensayos para cabezales distribuidores de semillas (Bourges & Medina, 2013), con modelos numéricos del flujo aire-semillas realizados en condiciones equivalentes a las experimentales

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **2.1 Descripción del banco de ensayos**

Se realizaron ensayos de laboratorio en un banco de ensayos de cabezales distribuidores de sembradoras “air drill”, el cual se encuentra emplazado en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. El equipo de ensayos ( Figura 1 (a) y (b)) está compuesto por los siguientes elementos: Un ventilador capaz de proveer hasta 12 m<sup>3</sup>/seg. a una presión de 1400 Pa; una tolva receptáculo de semillas con capacidad aproximada para 3,5 Kg de semillas de soja, y un dosificador tipo rodillo incorporado en la tolva; un cabezal distribuidor de semillas, provisto por un fabricante local de sembradoras “air drill”. El flujo aire semillas ingresa al distribuidor a través de un conducto flexible de 60 mm de diámetro interno, y 2 m de longitud. Los conductos de salida se acoplan al distribuidor por las conexiones correspondientes, y descargan las semillas en recipientes plásticos.

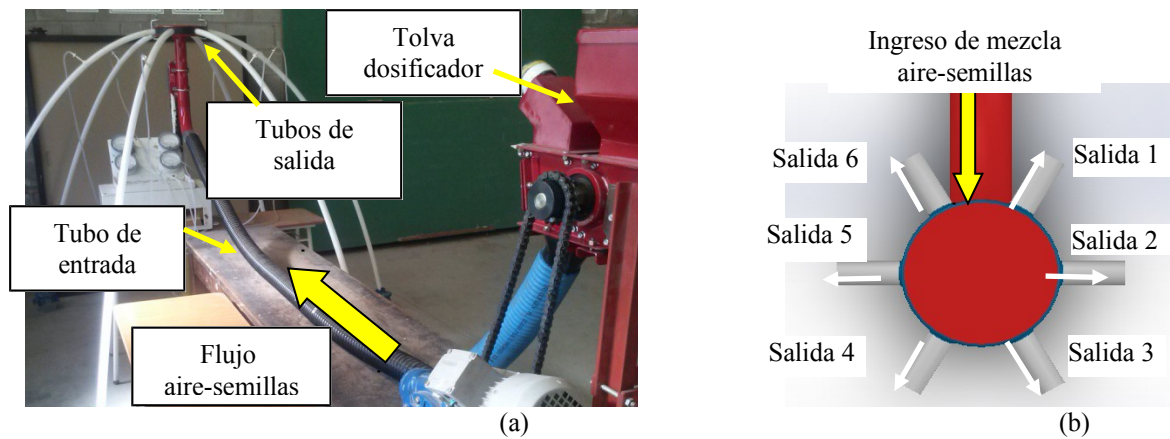


Figura 1. (a) Banco de ensayo de distribuidores. (b) Esquema de flujo.

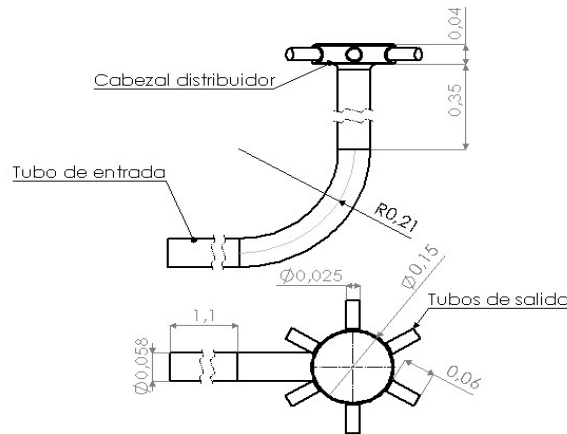


Figura 2. Corte y planta del distribuidor estudiado. Dimensiones en metros.

## 2.2 Modelo numérico

Para la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes del flujo de fluidos, se utiliza la técnica estándar de Reynolds Average Navier-Stokes, con el modelo de turbulencia Realizable k- $\epsilon$ . El algoritmo es estacionario, y se resuelve por el software de volúmenes finitos ANSYS Fluent®. Se utiliza un resolutor basado en presiones, con acople entre velocidad y presión. En cuanto a la discretización del dominio, se utilizan una malla no estructurada de 434215 elementos tetraédricos y 87318 nodos. Las condiciones de contorno se describen en la figura 3 y la tabla 1.

Las propiedades adoptadas para la fase continua son: densidad  $\rho = 1,17 \frac{kg}{m^3}$  y viscosidad dinámica  $\mu = 1,983 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m s}$ .

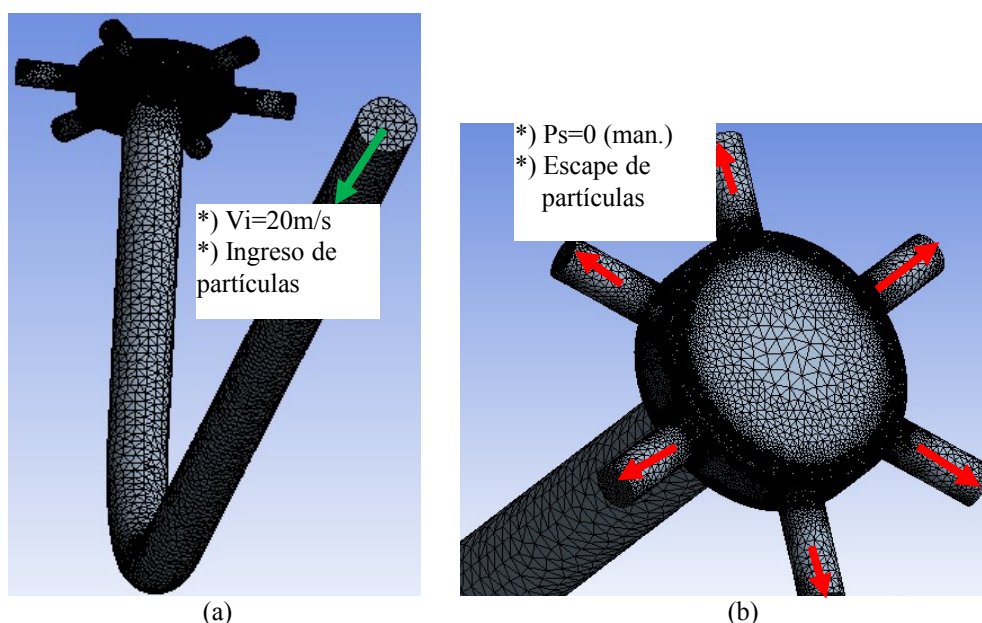


Figura 3. Condiciones de contorno del modelo de distribuidor estudiado. (a) Vista general. (b) Zona de distribución.

	Sup. de entrada	Paredes internas	Sup. de salida
Fase continua (fluido)	Velocidad normal $V_i = 20 \text{ m/seg}$	Gradiente de velocidad logarítmica	Presión manométrica nula
Fase discreta (partículas)	Velocidad normal $V_{ip} = 1 \text{ m/seg}$	Reflexión especular	Escape

Tabla 1: Condiciones de borde de los modelos de las fases continua y discreta.

En este modelo no se consideran los conductos de salida en su longitud completa, aunque se mantiene el diámetro de los mismos.

En cuanto al modelado de trayectorias de semillas de soja (ANSYS Fluent 15.0 Help, a), se supone a las mismas como partículas esféricas, de tamaño uniforme e indeformable. Su trayectoria se calcula utilizando un enfoque lagrangiano. Se analiza la mezcla aire-semillas como un flujo en fase diluida, considerando la iteración entre ambas fases como acople de doble vía. Las fuerzas actuantes consideradas son la fuerza de gravedad y la fuerza de arrastre aerodinámica. El balance de fuerzas por unidad de masa sobre la partícula es el siguiente:

$$\frac{d}{dt}(u_p) = F_{Drag} + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} \quad (1)$$

Donde  $F_{Drag}$  es la fuerza de Resistencia aerodinámica por unidad de masa de partícula, dada por:

$$F_{Drag} = \frac{18 \mu C_D Re_p}{24 \rho_p D_p^2} (u - u_p) \quad (2)$$

Siendo  $u$  la velocidad de la fase continua (fluido),  $u_p$  la velocidad de la partícula,  $\rho$  y  $\mu$  la densidad y la viscosidad dinámica del fluido respectivamente,  $\rho_p$  la densidad de la partícula y  $D_p$  el diámetro de la partícula.  $R_{ep}$  es el número de Reynolds de partícula, dad por:

$$R_{ep} = \frac{\rho D_p |u_p - u|}{\mu} \quad (3)$$

El término  $g(\rho_p - \rho)$  representa la fuerza gravitatoria por unidad de masa de la par.

El coeficiente de arrastre  $C_D$ , viene dado por la ecuación:

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{R_{ep}} + \frac{a_3}{R_{ep}^2} \quad (4)$$

Siendo  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  constantes que dependen de los valores de  $R_{ep}$ , de acuerdo con lo descrito por Morsi & Alexander (1972).

Se consideran los rebotes de las partículas contra las fronteras del sistema como colisiones elásticas de reflexión especular (ANSYS Fluent 15.0 Help, b). Respecto al modelo de rebote, se considera el cambio de cantidad de movimiento a través del coeficiente de restitución, de la forma:

$$e_n = \frac{V_{s,n}}{V_{i,n}} \quad (5)$$

Donde  $e_n$  es el coeficiente de restitución normal,  $V_{s,n}$  y  $V_{i,n}$  son las velocidades de incidencia y escape de la superficie, respectivamente (Figura 4). El coeficiente de restitución normal define la cantidad de movimiento que es absorbida en cada rebote de la partícula. Lo mismo se considera para el caso del coeficiente de restitución tangencial  $e_t$ . Para el presente trabajo, se adoptaron coeficientes de restitución normal y tangencial igual a 0.7 (Zhang & Vu-Quoc, 1999).

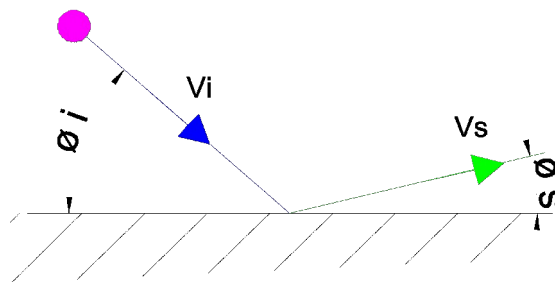


Figura 4. Esquema de rebote de partículas contra las paredes.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Resultados numéricos

En las simulaciones se observó la dificultad de las partículas a escapar por los conductos de salida debido a la elevada cantidad de rebotes que sufren en la zona de expansión del distribuidor, como se visualiza en las Figuras 5 (a) y (b). En la Figura 5 (a) se muestra una imagen frontal de las trayectorias de partículas en la zona de expansión, en donde los tiempos de residencia de las mismas varían entre 0,6 y 1,25 segundos, mientras que en el conducto horizontal, y parte del vertical, los tiempos de residencia son inferiores a 0,3 segundos (Figura 5 b).

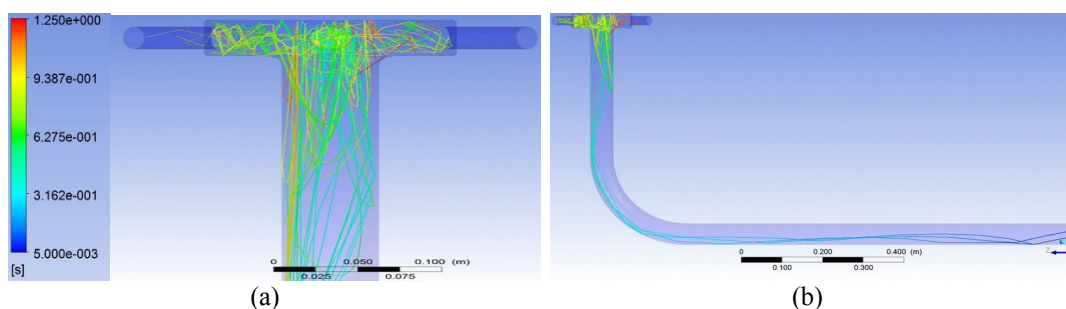


Figura 5. Trayectoria de partículas. Tiempo de residencia en segundos.

En cuanto a la distribución de partículas entre las fronteras de salida, de las pruebas numéricas se desprende que las salidas frontales poseen mayor caudal de partículas que las posteriores, en especial las salidas 1 y 6 (Figura 6).

Respecto al flujo de aire, los valores de número de Reynolds varían entre 34000 y 81000. Respecto al número de Reynolds por celda, su variación se observa en la figura 5.

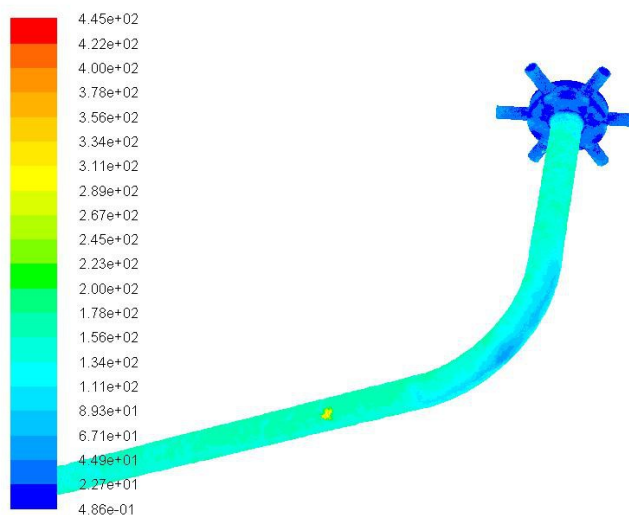


Figura 6. Número de Reynolds de celda.

Por último, en la figura 7 se muestra la distribución de partículas entre salidas, en porcentaje. Como se observa, las salidas 1 y 6 son las que poseen mayor porcentaje de partículas, siendo la salida 6 la que mayor porcentaje posee (21% del total).

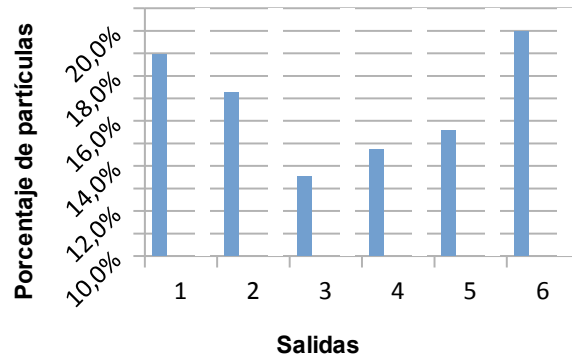


Figura 7. Distribución en porcentaje (%) de partículas por salida.

### 3.2 Resultados experimentales

En el experimento se utilizan dos kilos de semillas en la tolva de dosificación de semillas, las cuales son inyectadas en la corriente de aire que posee una velocidad promedio de 20 m/s, en el conducto de ingreso al distribuidor de 60 mm de diámetro interno (Figura 2). Cada ensayo consiste en hacer ingresar, a través de la tolva de alimentación, dos kilos de semillas de soja en el tubo de ingreso del distribuidor donde hay una corriente de aire producida por el ventilador, en bloques de seis con diez repeticiones cada uno. Las semillas son arrastradas por dicha corriente, y salen por los seis caños del distribuidor. Después de 4 minutos, cuando todas las semillas han terminado de rebotar en el sistema, se pesan las semillas que han salido por cada boca.

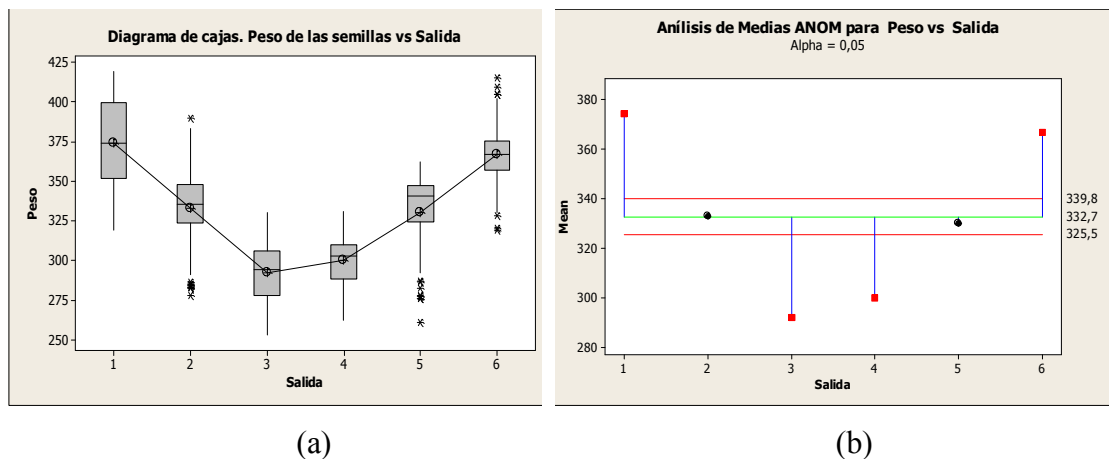


Figura 8 – (a) Masa de semillas (kg.) por salida. (b) Análisis de medias Peso de semillas [gr] vs Salida.

En la Figura 8 (a) se muestran los diagramas de cajas de los pesos de las semillas que se obtuvieron por cada “salida”. Las líneas horizontales en las cajas corresponden a las medianas y los círculos a las medias. Se observa que las salidas 1 y 6 poseen medias más grandes, mientras que las salidas 3 y 4 presentan valores inferiores. Esto indica que las salidas anteriores envían más semillas que las posteriores. Esto se ve afirmado en el análisis de medias (Figura 8 b), donde se rechaza la hipótesis nula que las medias son iguales y se vuelve a poner en evidencia la diferencia entre medias.



#### 4. CONCLUSIONES

Se realizaron experimentos numéricos y de laboratorio en un cabezal distribuidor de semillas. Las trayectorias obtenidas a través de las simulaciones numéricas, realizadas con el software ANSYS Fluent, dieron resultados consistentes con los obtenidos en ensayos controlados. En ambos casos los mayores caudales de semillas se producen en las salidas frontales (salidas 1 y 6), siendo las salidas posteriores las que menor caudal presentan. Estos resultados coinciden con las observaciones de fabricantes de este tipo de maquinaria agrícola.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores pertenecen al proyecto Secyt –UNR 11NG287 “Optimización del diseño en maquinarias e instalaciones agrícolas orientado a la manipulación de granos” agradecen al Profesor Mg. Raúl Katz por su ayuda en el tratamiento de datos estadísticos. También agradecen la colaboración del Ing. Gustavo Elvira y su equipo de trabajo, del área de construcciones mecánicas del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, por la colaboración prestada en el uso del software ANSYS.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- ANSYS Fluent 15.0. User's Guide. Physical Models for the Discrete Phase Model. Cap.24.2.5.
- ANSYS Fluent 15.0. User's Guide. Discrete Phase Boundary Condition Types. Cap. 24.4.1.
- Bourges G., Eliach J., Balbastro E., Medina M. Evaluación numérica del distribuidor de semillas por medio de flujo de aire en sembradoras “air drill”. *XXVII CILAMCE*. Brazil. num: 04-525, 2006.
- Bourges G., Medina M. Evaluación de la performance neumática del sistema de transporte de semillas en sembradoras “air drill”. *Mecánica Computacional*, Vol XXVI. pp 1131-1142. ISSN: 1666-6070, 2007.
- Bourges G., Mattara M., Ponso R., Medina M. Determinación de la Pérdida Energética en Distribuidores de Semillas de Sembradoras. *Revista AVERMA*. Vol. 13. ISSN 0326-5184. pp.8.27- 8.33, 2009.
- Bourges G., Medina M. Modelización numérica de flujo aire semilla en conductos de máquinas agrícolas. *II CAIM*. CD ISSN 978 950 605 633, 2010.
- Bourges G., Medina M. Verificación experimental en banco de ensayos de cabezales distribuidores de sembradoras “air drill”. *XI CIBIM*. ISBN 978-950-34-1025-7- parte 2, pp. 1174-1181. 2013.
- Kumar, V.J.F., Durairaj, C.D., Balasubramanian, M. Air assisted drill for small seeds. *Journal of Agricultural and Engineering Research*. Vol. 8, Issue 4, pp. 259-265, 1999.
- Kumar V. J. F., Durairaj C. D.. Influence of Head Geometry on the Distributive Performance of Air-assisted Seed Drills. *Journal of Agricultural and Engineering Research*. Vol. 75, pp. 81-95, 2000.
- Kumar V. J. F., Durairaj C. D.. 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, 2001.
- Morsi S. A., Alexander A. J. An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems. *J. Fluid Mech*. Vol. 55(2). 193–208, 1972.
- Zhang X., Vu-Quoc L. Simulation of chute flow of soybeans using an improved tangential force displacement model. *Mechanics of Materials*. 32, 115-129, 2000.