



TRAYECTORIA DE SEMILLAS EN CONDUCTOS HORIZONTALES EN SEMBRADORAS AIR DRILL

GASTÓN BOURGES¹, MABEL MEDINA²

¹Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM)-FCEIA (UNR)
Beruti 2109, (S2000FFI), Rosario, Argentina

²Consejo de Investigaciones. Universidad Nacional de Rosario. Escuela de Formación Básica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Pellegrini 250, (S2000BTP), Rosario, Argentina

(Recibido 10 de junio de 2011, revisado 8 de agosto de 2011, para publicación 10 de agosto de 2011)

Resumen – En la actualidad, el transporte de granos por medio de corrientes de aire (transporte neumático) se encuentra muy difundido. En el caso particular de máquinas agrícolas, como sembradoras *air-drill*, se utilizan tubos flexibles para trasladar las semillas y/o fertilizante desde la tolva de almacenamiento al distribuidor y desde este último a cada cuerpo de siembra. Un problema habitual en este tipo de transporte es la acumulación de semillas en sectores conflictivos del sistema, por ejemplo en lugares de cambio de dirección o cambios bruscos de sección del tubo (reducción o aumento). En el presente trabajo se analiza mediante simulación numérica las trayectorias de las semillas en un conducto horizontal. Se estudia la influencia de las fuerzas actuantes sobre las partículas. El fluido es modelado a través de las ecuaciones de Navier Stokes utilizando para su resolución una técnica de Reynolds Average Navier-Stokes Standard (RANS), con un modelo de turbulencia k-ε. Las partículas estudiadas son semillas de soja que se considerarán como esferas rígidas de tamaño uniforme. La mezcla aire-partícula es considerada como flujo en fase diluida, utilizándose un acople débil entre ambas fases. Se aplica a las partículas un enfoque lagrangiano, siendo el fluido tratado con un enfoque euleriano.

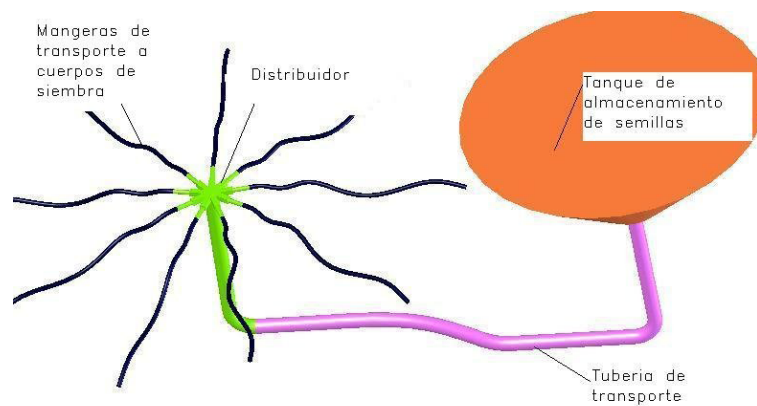
Palabras clave – Transporte neumático, simulación, flujo a dos fases, acople simple.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la actualidad, el transporte de granos por medio de corrientes de aire (transporte neumático) se encuentra muy difundido. En el caso particular de máquinas agrícolas, como sembradoras *air-drill* [1], se utilizan tubos flexibles para trasladar las semillas y/o fertilizante desde la tolva de almacenamiento al distribuidor y desde este último a cada cuerpo de siembra. Un problema habitual en este tipo de transporte es la acumulación de semillas en sectores conflictivos del sistema, por ejemplo en lugares de cambio de dirección o cambios bruscos de sección del tubo (reducción o aumento). Es necesario que el caudal de aire circulante sea el menor posible de manera tal de ahorrar energía, reducir el desgaste de la cañería y la rotura de partículas. En cañerías horizontales, existe una velocidad de saltación que permite una mínima caída de presión por unidad de longitud para un flujo dado de partículas. Se entiende por velocidad de saltación para una partícula como la mínima velocidad de aire requerida para transportar la partícula sin que descienda al fondo de la cañería y quede sedimentada. Con el objetivo de encontrar las velocidades óptimas de transporte de semillas [2], con las cuales no se produzcan atascamientos o acumulaciones, en las geometrías de conductos estudiadas, se analizarán mediante simulación numérica las trayectorias de las semillas.

En el transporte neumático, en el caso de que la concentración de partículas sea lo suficientemente baja, basta con considerar el acople fluido-partículas como simple. Este último significa que las partículas se ven afectadas por el fluido, pero el fluido no es afectado por presencia de las partículas. A medida que crece la concentración de estas últimas, se necesita acoples dobles, en los que ambas fases se afectan entre sí.

Fig. 1. Sembradora *air drill*.Fig. 2. Esquema del sistema de transporte y distribución de semillas en sembradoras *air drill*.

En [3-8] se muestran los resultados de distintas experiencias relacionados con el transporte neumático de partículas esféricas. En cuanto a la influencia de los choques entre partículas podemos mencionar los trabajos [9-12], los cuales realizaron estudios numéricos sobre cañerías verticales y horizontales, utilizando una mezcla bifásica diluida de aire – partículas. En [4] se realizaron ensayos experimentales sobre transporte horizontal de partículas finas (de 55 a 468 micrones) donde se muestra que el gradiente de velocidades no presenta variaciones considerables por la presencia de partículas transportadas con una relación m entre masa de semillas y masa de aire comprendida entre 0.05 y 0.2.

Relacionados con el transporte neumático de granos, los trabajos son en general experimentales donde se obtiene la velocidad terminal como parámetro de diseño para las cañerías [13-16]. Es por ello que es necesaria la realización de estudios sobre el comportamiento de los granos en los conductos. Además, no se registra en la bibliografía una metodología de diseño de componentes del sistema de transporte, distribución y dosificación que tenga en cuenta los fenómenos aerodinámicos que rigen la trayectoria de semillas, ni estudios sistemáticos de la incidencia de factores como geometría, tipo de semillas, tamaño de semilla, relación entre caudal de aire y caudal de semilla.

1.2. Descripción del problema

En la Fig. 1 se puede ver una foto de una sembradora *air drill*. En la Fig. 2 se muestra un esquema del sistema de transporte y distribución de semillas en dicho tipo de sembradora. En trabajos anteriores, los autores, realizaron estudios numéricos de los distribuidores de semillas tomando como base del análisis los diseños propuestos por Kumar & Durairaj [24-25]. En dichos trabajos se analizó el flujo de aire estu-

diando diseños existentes, además se propusieron nuevos modelos de acuerdo a criterios basados en velocidades mínimas de transporte y en líneas de flujo [21–23].

A partir de este trabajo se continúa con el análisis del sistema tomando como objeto de estudio los conductos de transporte de semillas, analizando la trayectoria de una semilla en un conducto horizontal. Se utiliza un enfoque euleriano para el fluido y lagrangiano para la semilla con acople entre las fases de tipo simple, donde la fase predominante (el aire) no se ve afectada por los efectos de la fase diluida (semillas), mientras que estas últimas son afectadas por el campo de velocidades del aire.

2. ECUACIONES DEL MODELO

2.1. Ecuaciones para la simulación del flujo de aire

Para la simulación del flujo de aire en el conducto se plantean las ecuaciones de Navier-Stokes resueltas con una técnica de Reynolds Average Navier-Stokes (RANS) standard, con un modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ [17], siendo el número de Reynolds en el flujo entre 42000 y 170000. Se supone que el gradiente de velocidades del aire no se verá afectado por la presencia de partículas del tamaño de los granos [4]. El algoritmo es estacionario y se resuelve con el software de elementos finitos Comsol®.

Las ecuaciones que caracterizan el fenómeno son las siguientes:

Ecuación de continuidad.

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

Ecuación promediada de Reynolds - Navier Stokes.

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

donde

U_i velocidad media en la dirección de x_i

ρ densidad

P presión media

μ viscosidad dinámica

Tensor de tensiones medio

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

Tensión 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

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

En cercanías de la pared, se considera una variación de las velocidades en dirección normal a la misma como una ley logarítmica. La condición de borde impuesta en la entrada del aire del tubo es de velocidad uniforme. Otra condición de borde impuesta es la presión de salida del conducto, la cual se adoptó como nula. Esto último es así, puesto que el modelo numérico evalúa la diferencia de presiones entre dos puntos y no es necesario utilizar presiones absolutas. Se utilizaron elementos triangulares de segundo orden, con mallas refinadas donde los gradientes de módulos de velocidad son más grandes.

Las características del aire utilizadas para el cálculo son: densidad $\rho_{\text{aire}} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ y viscosidad dinámica $\mu_{\text{aire}} = 1,983 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m s}}$.

2.2. Ecuaciones de la partícula en movimiento

En este trabajo se considera a las semillas de soja como partículas esféricas, rígidas e indeformables. Se supone que las partículas son tan gruesas como para no sufrir la influencia de la turbulencia del fluido y que las semillas son de tamaño uniforme. El movimiento de la partícula es calculado por el enfoque lagrangiano. Las fuerzas actuantes sobre la partícula considerada son: la fuerza de arrastre, la fuerza de gravedad, la fuerza de Magnus y la fuerza de Saffman. El cambio de la velocidad angular a lo largo de la trayectoria de la partícula resulta de la interacción viscosa con el fluido.

$$\frac{d x_{pi}}{d t} = u_{pi} \quad (8)$$

$$m_p \frac{d u_{pi}}{d t} = F_{D i} + F_{L S i} + F_{L M i} + m_p g_i \quad (9)$$

$$I_p \frac{d \omega_{pi}}{d t} = T_i \quad (10)$$

En estas expresiones, x_{pi} son las coordenadas de la partícula, u_{pi} es la componente de la velocidad de la partícula. Las fuerzas que aparecen en el miembro de la derecha de (9) corresponden a la fuerza de arrastre $F_{D i}$, a la fuerza de Saffman $F_{L S i}$ y a la fuerza de Magnus $F_{L M i}$ [6]. D_p es el diámetro de la partícula, m_p es la masa de la partícula e I_p es el momento de inercia y ρ_p es la densidad de la partícula.

$$m_p = \frac{\pi}{6} \rho_p D_p^3 \quad (11)$$

$$I_p = 0.1 m_p D_p^2 \quad (12)$$

La fuerza de arrastre $F_{D i}$ se calcula según [18]

$$F_{D i} = \frac{\pi}{4} D_p^2 \rho_{\text{aire}} |u - u_p|^2 \left(1.84 \text{Re}_p^{-0.31} + 0.293 \text{Re}_p^{0.06} \right)^{3.45} \quad (13)$$

u es la velocidad puntual del fluido y u_p es la velocidad de la partícula.

Re_p es el número de Reynold de la Partícula y su expresión es:

$$Re_p = \frac{\rho_{aire} D_p |u - u_p|}{\mu} \quad (14)$$

Para el cálculo de la fuerza de Saffman, se utiliza la expresión de [2]

$$F_{LSy} = -\frac{\pi}{8} D_p^2 \rho_{aire} \left(4.1(u_x - u_p) \sqrt{\frac{\mu_{aire}}{\rho_{aire}} \left| \frac{\partial u_x}{\partial n} \right|} \right) \quad (15)$$

u_x es la componente de la velocidad del fluido en el sentido del conducto

Por último, la fuerza de Magnus se calcula también de acuerdo a [2]

$$F_{My} = \pi \rho_{aire} V_R D_p^2 \left[C_L \frac{\omega_z}{|\omega|} (u_x - u_p) \right] \quad (16)$$

ω Velocidad angular y ω_z componente de la velocidad angular según z

$V_R = |u - u_p|$ Módulo de la velocidad relativa aire-partícula

Para el cálculo de torque actuando sobre una partícula en rotación se utiliza la expresión:

$$T = \frac{\rho}{2} \left(\frac{D_p}{2} \right)^5 C_R |\Omega| \Omega \quad (17)$$

$$\Omega = 0.5 \nabla \times u - \omega_p \quad (18)$$

donde C_R es el coeficiente de rotación obtenido por [19]

$$C_R = \begin{cases} \frac{64\pi}{Re_T} & Re_T \leq 32 \\ \frac{12.9}{Re_T^{0.5}} + \frac{128.4}{Re_T} & 32 < Re_T < 1000 \end{cases} \quad (19)$$

Re_T es el número de Reynold de rotación de la partícula

$$Re_T = \frac{\rho D_p^2 |\Omega|}{\mu} \quad (20)$$

Para pasos de tiempo suficiente pequeños y suponiendo que las fuerzas se mantienen constantes durante el transcurso del paso de tiempo, de acuerdo con (8) – (10) se pueden obtener por integraciones sucesivas los valores de las coordenadas de la trayectoria de la partícula. Los valores del campo de velocidades del fluido y sus derivadas se obtienen de la simulación del aire en el conducto a través del software Comsol Multiphysics®.

2.3. Modelo del impacto

Cuando la partícula hace contacto con la pared del conducto, se calculan las velocidades lineales y angulares de la misma considerando un choque elástico. Las ecuaciones que describen las velocidades normal y tangencial post impacto de la semilla son las siguientes:

$$u_{pN}(t_2) = -e_N u_{pN}(t_1) \quad (21)$$

$$u_{pT}(t_2) = e_T u_{pT}(t_1) \quad (22)$$

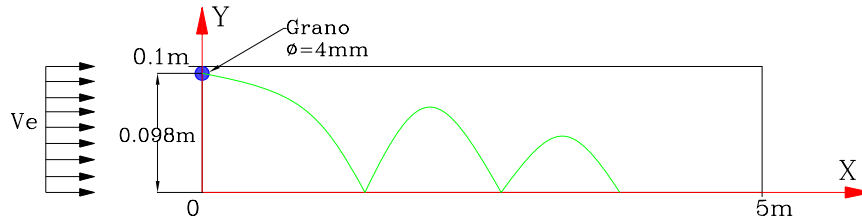
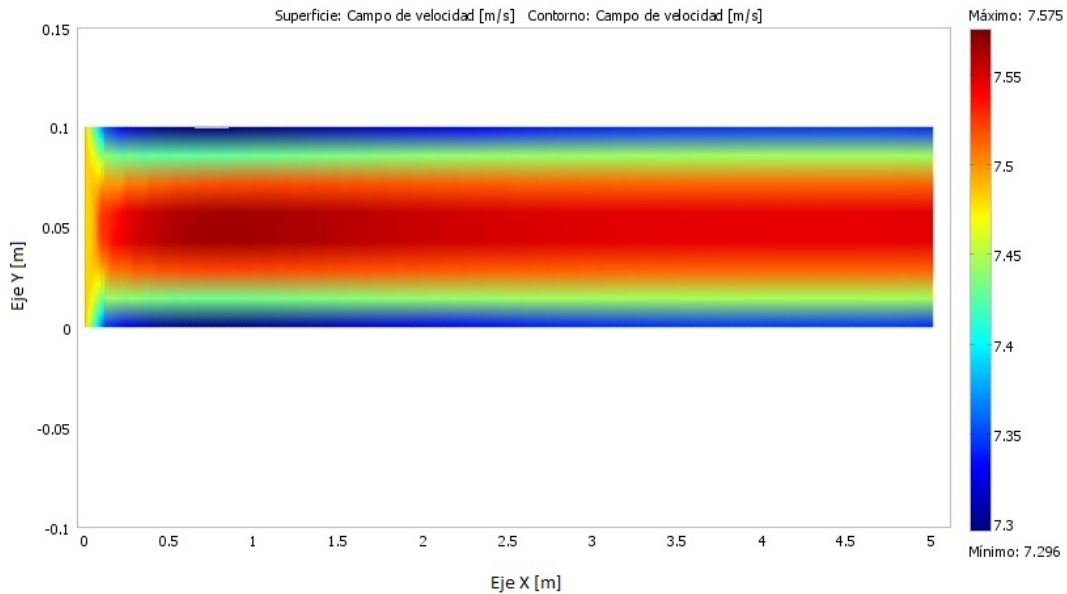


Fig. 3. Posición inicial del grano y dimensiones generales.

Fig. 4. Campo del módulo de velocidad en cañería. Velocidad promedio de entrada $V_e = 7,5$ m/seg.

Siendo t_1 y t_2 los tiempos previo y posterior al impacto, respectivamente. Los parámetros e_N y e_t [20] son los coeficientes de restitución normal y tangencial del grano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como sucede en parte del sistema de transporte de semillas, a modo de ejemplo, se aplica el modelo numérico arriba descrito, para un conducto horizontal donde se deja caer una semilla de soja y se calcula su trayectoria.

Se adoptan como ejes coordenados el eje X en la dirección del eje del conducto, el eje Y en la dirección vertical hacia arriba, y el eje Z normal a aquellos. Se realiza un modelo numérico bidimensional donde la trayectoria se calcula en el plano XY . Las simulaciones se realizan considerando el flujo dentro de un conducto horizontal de diámetro interno $D = 0,1$ m y longitud $L = 5$ m, tal cual se muestran en la Fig. 3. El sistema global de coordenadas se ubica en el vértice inferior izquierdo de la tubería. La semilla se aproxima a una esfera de diámetro $d = 4 \times 10^{-2}$ m (4 mm), siendo su densidad $\rho = 1200$ Kg/m³ y volumen $V_p = 3,35 \times 10^{-8}$ m³. La posición inicial es coincidente con el inicio del conducto en el eje X ($X = 0$ m) y tangente a la pared superior de este último, es decir, el centro de masa de la misma se ubica a $Y = 0,098$ m del centro de coordenadas (Fig. 3).

El aire, fase predominante, se considera como no afectada por la presencia del grano (fase diluida), utilizándose un acople de tipo simple entre ambas fases. En una primera etapa, se realizan las simulaciones de flujo de aire dentro del conducto, sin la presencia del grano para dos velocidades de aire: 7,5 m/seg, y 30 m/seg. En la Fig. 4, se puede ver el campo de velocidades dentro del conducto. A partir del campo de velocidades se obtiene el empuje resultante sobre la semilla, pudiendo calcularse la trayectoria.

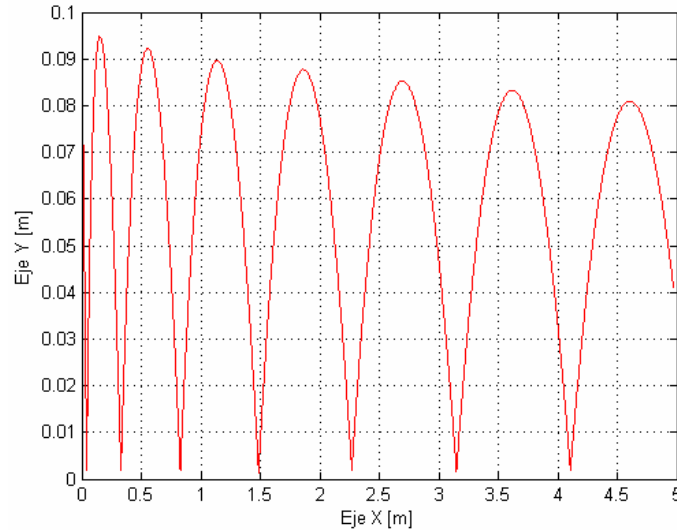


Fig. 5. Trayectoria del grano con coeficientes de restitución $e_n = 1$ y $e_t = 1$. $V_e = 7,5$ m/s.

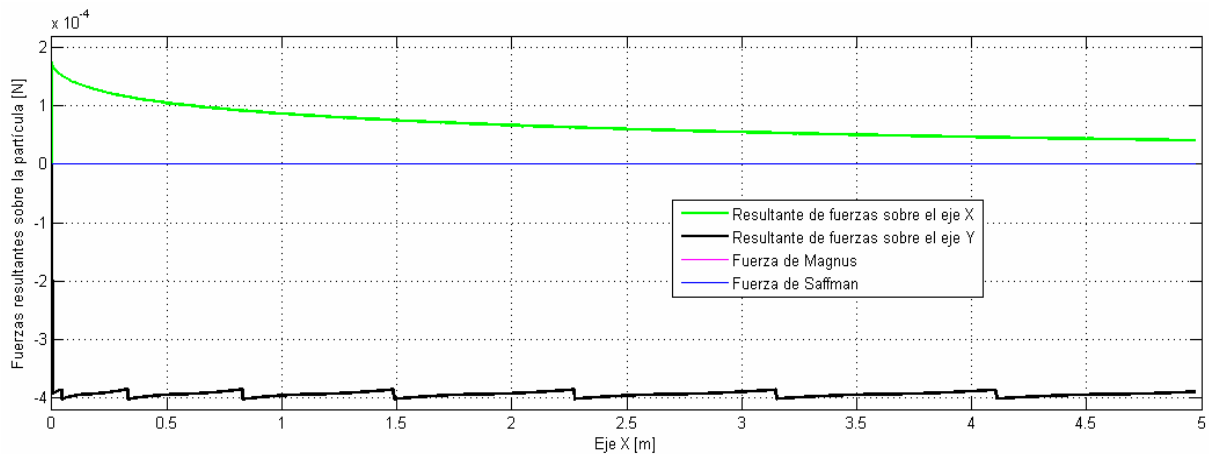


Fig. 6. Fuerzas actuantes sobre el grano a lo largo del conducto. Coeficientes de restitución $e_n = 1$ y $e_t = 1$. $V_e = 7,5$ m/s.

Primer caso: Trayectoria del grano para velocidad de entrada $V_e = 7,5$ m/s

En una primera etapa los cálculos se realizan suponiendo un choque ideal entre el grano y las fronteras del caño (coeficiente de restitución normal $e_n = 1$), y sin rozamiento entre ambos (coeficiente de restitución tangencial $e_t = 1$). La trayectoria obtenida con estas condiciones (Fig. 5) muestra una pérdida en la altura máxima en cada rebote del grano inferior a 2 mm (2×10^{-3} m), así como un aumento en la separación entre los impactos a lo largo del eje X.

En la Fig. 6 se observan las resultantes de fuerzas aplicadas sobre la partícula en la dirección de los ejes globales X e Y, a lo largo del conducto. En color verde se grafica la resultante de fuerzas según el eje X, que es la fuerza de arrastre ejercida por el aire sobre la partícula. En color negro se grafica la resultante de fuerzas según el eje Y, donde las discontinuidades corresponden a las aceleraciones en sentido opuesto a la gravedad producidas durante los rebotes contra las paredes. Se observa en este caso que dicha resultante posee un valor oscilante alrededor de los 4×10^{-4} N, siendo el peso del grano del orden de $3,94 \times 10^{-4}$ N. En la Fig. 7 se muestra una ampliación de las fuerzas de Saffman y Magnus. La fuerza de Magnus es proporcional a la velocidad angular de la partícula, que en este caso se introdujo como nula, y la ganancia en velocidad angular durante la trayectoria no es apreciable. La fuerza de Saffman depende del gradiente de velocidades, que se da en las cercanías de las paredes. Debido a que el orden de magnitud de ambas

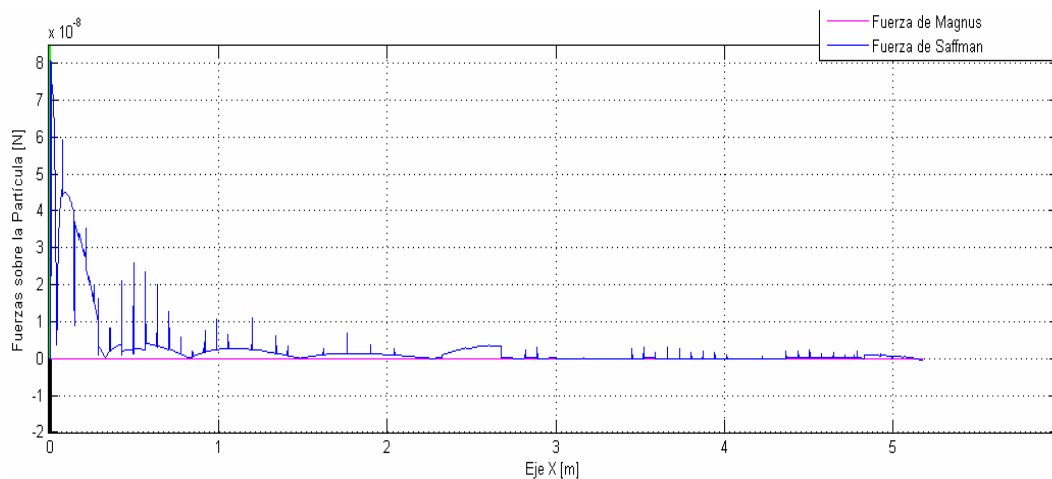


Fig. 7. Fuerzas de Magnus y Saffman sobre el grano a lo largo del conducto. Coeficientes de restitución $e_n = 1$ y $e_t = 1$. $V_e = 7,5$ m/s.

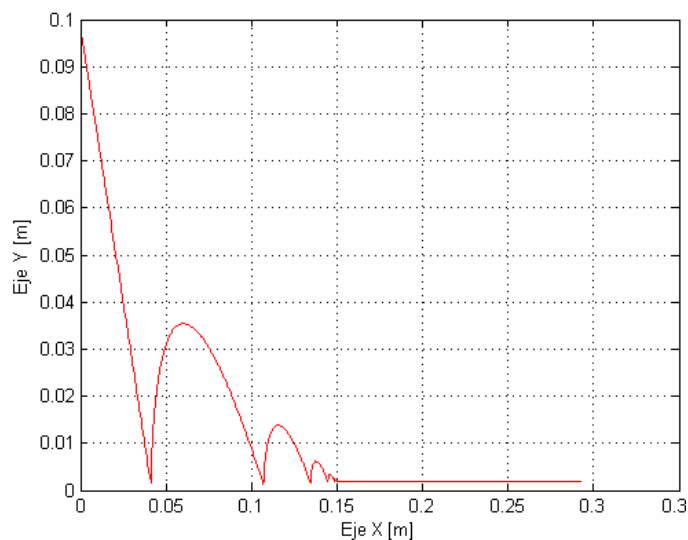


Fig. 8. Trayectoria del grano. Coeficientes de restitución $e_n = 0.6$ y $e_t = 0.1$. $V_e = 7,5$ m/s.

ronda el 1×10^{-8} N, las mismas pueden considerarse despreciables respecto del resto de las fuerzas analizadas (arrastre aerodinámico, peso propio del grano).

Si se tienen en cuenta, ahora, los coeficientes de restitución post-impacto de granos de soja [20]: $e_t = 0.1$ (coeficiente tangencial) y $e_n = 0.6$ (coeficiente normal), el número de impactos a lo largo del conducto disminuye drásticamente, así como la altura máxima alcanzada en cada rebote. En la Fig. 8 se muestra la trayectoria del grano en una porción de la cañería. En esa figura se observa que la partícula deja de rebotar a partir de los 0,15 m desde el inicio del conducto, y el número de impactos con la superficie del caño es 6.

En la Fig. 9 se observa que la fuerza de arrastre posee pendiente descendente con aumentos bruscos de su valor en el momento post-impacto, es decir después del rebote. La disminución de la velocidad según X que se produce en cada rebote se debe al valor 0.1 del coeficiente de restitución tangencial. Al disminuir la velocidad en la dirección X, aumenta la fuerza de arrastre sobre la partícula. Estas variaciones en la fuerza de arrastre se reducen a medida que disminuye la amplitud de cada rebote hasta llegar al valor constante de $1,75 \times 10^{-4}$ N.

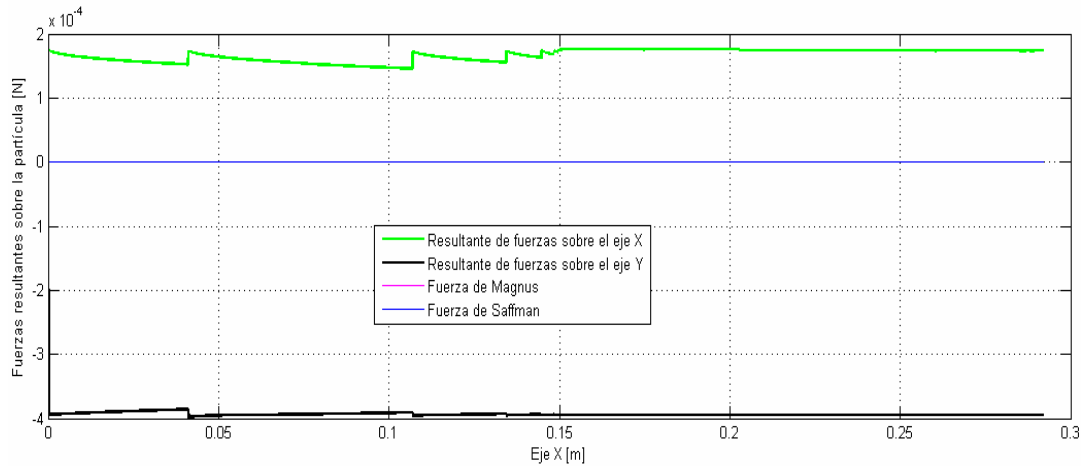


Fig. 9. Fuerzas actuantes sobre el grano a lo largo del conducto. Coeficientes de restitución $e_n = 0,6$ y $e_t = 0.1$. $V_e = 7,5$ m/s.

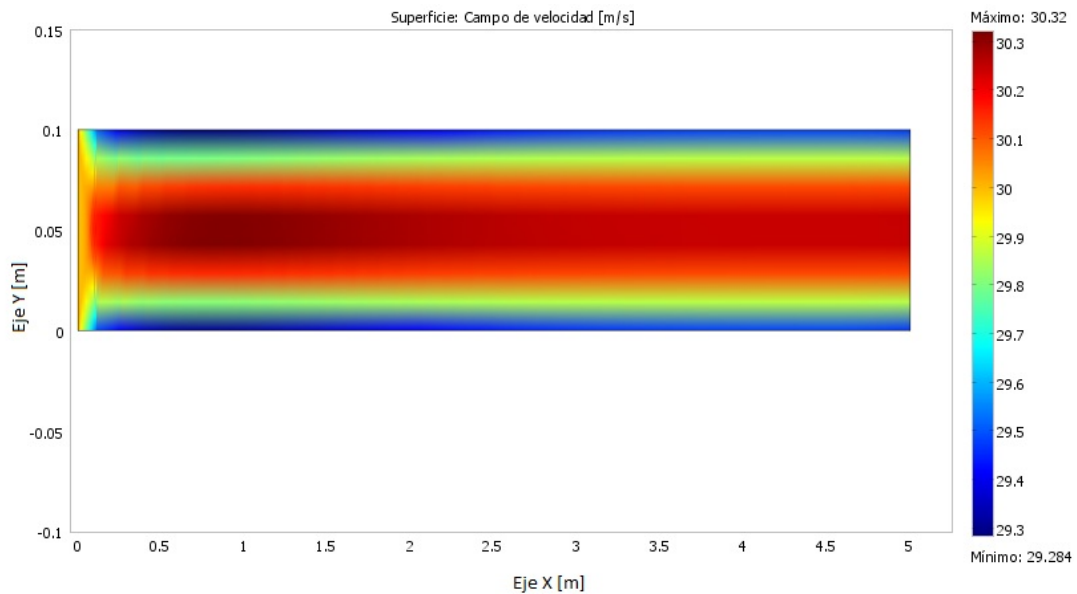


Fig. 10. Campo de velocidad en cañería $V_e = 30$ m/s.

En cuanto a la resultante de fuerzas según el eje Y, la misma posee pendiente positiva con disminución brusca en los impactos. La amplitud de las discontinuidades, así como su valor absoluto, disminuye con los rebotes. Esto se debe al valor del coeficiente de restitución normal inferior a 1.

Segundo caso: Trayectoria de grano para velocidad de entrada $V_e = 30$ m/s

En esta ocasión, se simuló el flujo de aire dentro de la cañería, para una velocidad de entrada de 30 m/s, Fig. 10. En la trayectoria del grano, se observan la misma cantidad de rebotes para ambas velocidades. La distancia horizontal recorrida entre rebotes, este caso resulta de un orden de magnitud mayor respecto del primero. La distancia horizontal total recorrida, en este caso es 10 veces mayor, con respecto del caso anterior siendo los valores 1,75 m según se ve en la Fig. 11 y 0,147 m en la Fig. 6. En la Fig. 12 se muestran las fuerzas resultantes sobre la partícula, siendo la fuerza de arrastre de un orden superior en este caso respecto del anterior. Al igual que en el caso anterior, las fuerzas de Magnus y Saffman resultan despreciables respecto de las fuerzas de arrastre y gravitatoria.

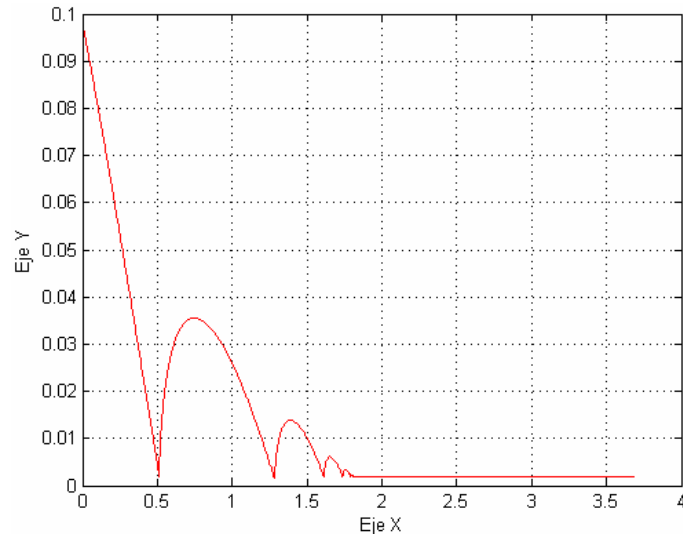


Fig. 11. Trayectoria del grano. Coeficientes de restitución $e_n = 0.6$ y $e_t = 0.1$.

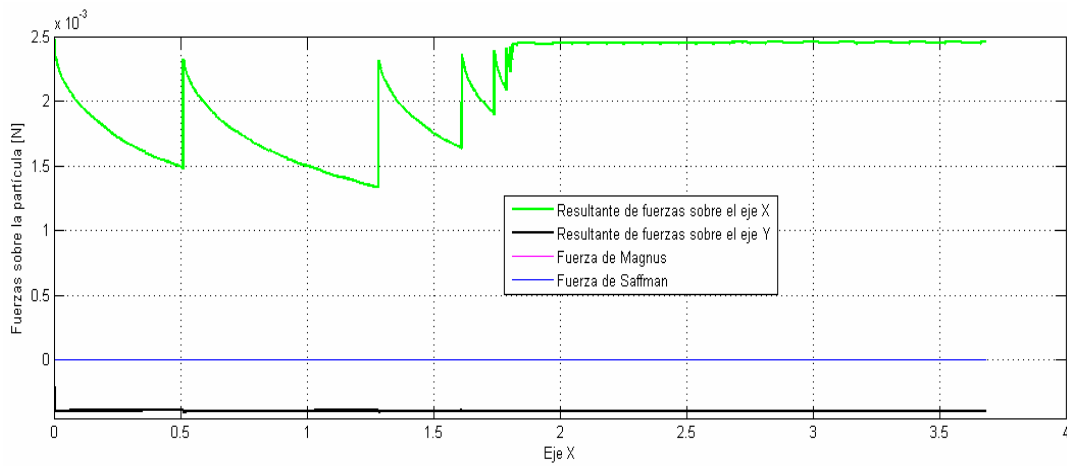


Fig. 12. Fuerzas actuantes sobre el grano a lo largo del conducto. Coeficientes de restitución $e_n = 0,6$ y $e_t = 0.1$. $V_e = 30$ m/s.

4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se han realizado simulaciones de trayectorias de granos de soja, con diferentes condiciones de velocidad inicial de aire en un conducto horizontal. Se estudió una configuración usual en el sistema de transporte de sembradoras *air drill*. A partir de los resultados obtenidos, se evidencia la influencia de los coeficientes de restitución en las fuerzas actuantes sobre el grano y su efecto en la trayectoria. Se prevé realizar ensayos de laboratorio a fin de corroborar experimentalmente los resultados de este trabajo. El modelo numérico utilizado se encuentra en etapa de desarrollo, en futuros trabajos se espera realizar modelos tridimensionales e incluir el efecto de los granos sobre el fluido.

REFERENCIAS

- [1] Bragachini, M., Sembradoras de Grano Fino / Soja (Small grain / soybean seeder). Tendencias. INTA Manfredi. <http://www.agriculturadeprecision.org/> (2005)

- [2] Tashiro, H., Peng, X., Tomita, Y., "Numerical prediction of saltation velocity for gas-solid two-phase flow in a horizontal pipe", *Powder Technology*, **91**, 141-146 (1997)
- [3] Tashiro, H., Tomita, Y., "A numerical simulation for for gas-solid two-phase flow", *The Japan Soc. Mec. Eng.*, S. II, **34**(2), 129-133 (1991)
- [4] Tashiro, H., Watanabe, E., Shinano, H., Funatsu, K., Tomita, Y., "Effect of mixing gas fine particle suspension flow with small amount of coarse ones in horizontal pipe", *International Journal of Multiphase Flow*, **27**(10), 2001-2013 (2001)
- [5] Salman, A.D., Gorham, D.A., Szabo, M., Hounslow, M.J., "Spherical particle movement in dilute pneumatic conveying", *Powder Technology*, **153**, 43-50 (2005)
- [6] Lain, S., Sommerfeld, M., Kussin, J., "Experimental studies and modelling of four-way coupling in particle-laden horizontal channel flow", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **23**(5), 647-656 (2002)
- [7] Sommerfeld, M., "Analysis of collision effects for turbulent gas-particle flow in a horizontal channel: Part I. Particle transport", *International Journal of Multiphase Flow*, **29**, 675-699 (2003)
- [8] Lain, S., Sommerfeld, M., "Euler/Lagrange computations of pneumatic conveying in a horizontal channel with different wall roughness", *Powder Technology*, **184**(1), 76-88 (2008)
- [9] Salman, A.D., Kharaz, A.H., Gorham, D.A., "An experimental study of the elastic rebound of spheres", *Powder Technology*, **120**, 281-289 (2001)
- [10] Salman, A.D., Reynolds, G.K., Fu, J.S., Cheong, Y.S., Biggs, C.A., Adams, M.J., Gorham, D.A., Lukenics, J., Hounslow, M.J., "Descriptive classification of the impact failure mode of spherical particles", *Powder Technology*, **143-144**, 19-30 (2004)
- [11] Gorham, D.A., Salman, A.D., "The failure of Spherical particle under Impact", *Wear*, **258**(1-4), 580-587 (2005)
- [12] Peng, X., Tomita, Y., Tashiro, H., "Effect of particle-particle collision and particle rotation upon floating mechanism of coarse particle in horizontal pneumatic pipe", *The Japan Soc. Mech. Eng.*, S II, **34**(2), 129-133 (1991)
- [13] Raheman, H., Jindal, V.K., "Drag coefficients of agricultural grains in vertical pneumatic conveying", *Applied Eng. in Agriculture*, **19**(2), 197-202 (2003)
- [14] Fernando, S.D., Hanna, M.A., "Design and development of a threshing chamber and pneumatic conveying and cleaning units for soybean harvesting", *Transactions of the ASAE*, **48**(5), 1681-1688 (2005)
- [15] Güner, M., "Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds", *Journal of Food Engineering* **80**, 904-913 (2007)
- [16] Raheman, H., Jindal, V.K., "Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains", *Applied Eng. in Agriculture*, **17**(2), 209-214 (2001)
- [17] Wilcox, D.C., *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries Inc. (1994)
- [18] Khan, A.R., Richardson, J.F., "The resistance to motion of a solid sphere in a fluid", *Chem. Eng. Comm.* **62** 135 (1987)
- [19] Dennis, S.C.R., Singh, S.N., Ingham, D.B., "The steady flow due to a rotating sphere at low and moderate Reynolds numbers", *Journal of Fluid Mechanics*, **101**, 257-279 (1980)
- [20] Mattara, M., Ponso, R., Medina, M., "Coeficiente de Restitución sobre Superficies de Acero para Granos de Soja (Glycine Max Merrick) Transportados. Avances en ingeniería rural 2007-2009" N. di Leo, S. Montico, G. Nardón - 1º Edición. Rosario. UNR Editora. Mecanización y Maquinaria Agrícola, ISBN 978-950-673-752-8. CD ROM (2009)
- [21] 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 - Proceedings of Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, actas en formato electrónico (2006)
- [22] Bourges, G., Eliach, J., 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**, 1297-1312 (2006)
- [23] Bourges, G., Medina, M., "Evaluación de la performance neumática del sistema de transporte de semillas en sembradoras *air-drill*", *Mecánica Computacional*, **XXVI**, 1131-1142 (2007)
- [24] 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*, **75**, 81-95 (2000)

- [25] 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*, **10**(3-4), 255-267 (2001)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en las actividades del proyecto Secyt UNR IING287 "Optimización del diseño en maquinarias e instalaciones agrícolas orientado a la manipulación de granos".

SEEDS TRAJECTORIES IN HORIZONTAL DUCT OF AN AIR DRILL SEEDER

Abstract – The pneumatic conveying of grains is widely known. In the particular case of "air drill" seeders, hoses are used to transport seeds and / or fertilizer from the storage hopper to the distributor, and finally to sowing units. A typical problem in this type of conveyors is the accumulation of seeds in troubled sectors of the system, eg in direction changes or sudden changes in pipe section (reduction or increase). In this work, trajectories of the seeds in a horizontal duct, and the influence of the forces acting on them, are analyzed using numerical simulation. The fluid is modeled by Navier Stokes equations, using a solving technique of Reynolds Average Navier-Stokes standard (RANS), with the turbulence model k- ϵ . The particles studied are soybeans, which are considered as rigid spheres of uniform size. The particle-air mixture is considered as a dilute phase flow, using a weak coupling between both phases. A Lagrangian approach is applied to the particles, while fluid is treated with an Eulerian approach.

Keywords – Pneumatic conveying, Simulation, Two-phase flow, One way coupling.