

Vibraciones en una sembradora neumática y su incidencia en la dosificación de semillas

Martínez Roberto ^{1,*}, Cubero Atienza Antonio ², Mas Roberto ¹

¹ *Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura- Universidad Nacional de Rosario – Argentina.*

² *Escuela Politécnica Superior – Universidad de Córdoba - España*

Resumen

En la siembra de precisión uno de los aspectos claves es la distribución controlada de la semilla en el surco, logrando la distancia deseada entre semillas con una baja desviación estándar. El objetivo del estudio fue ensayar una sembradora neumática, recolectar información significativa del proceso de siembra y buscar relaciones entre los datos recolectados y la ubicación final de la semilla en el surco. Se emplazaron dispositivos electrónicos sobre una sembradora para registrar tiempos entre semillas, velocidad tangencial del dosificador y vibraciones. Se realizaron ensayos para distintas rugosidades del suelo y velocidades. La señal de los acelerómetros fue filtrada y se calculó la Transformada de Fourier y densidad de potencia espectral. Se identificaron dos tipos de vibraciones. Los resultados muestran que las que determinan la posición final de la semilla en el surco son las relacionadas a la rugosidad del suelo y velocidad de la sembradora. Se calcularon relaciones numéricas entre parámetros de las vibraciones y distancia entre semillas. Se concluyó que a partir de los tiempos entre semillas, velocidad de la máquina sembradora y energía de vibración, es posible inferir datos estadísticos de la posición final de la semilla en el surco.

Abstract

A key aspect in accurate sowing is to have a controlled distribution of the seed in the furrow, in order to achieve the desired seed spacing with a low standard deviation. The objective was to test a pneumatic planter, to collect significant information about the sowing process and to explore relations between the collected data and the final spot of the seeds in the furrow. Electronic devices were installed in a planter to record the time between seeds, tangential speed of the dispenser disk and its vibrations. Tests have been made with the mentioned sensors for different degrees of soil roughness and different speeds of the planter. Finally, seed spacing in the furrow was measured. Once the accelerometers signal had been analyzed, Fourier transform and spectral power density were calculated. It has been found that the decisive vibrations are the ones related to the roughness of the soil and the speed. As conclusions we found that it is possible to infer statistical data of the final spot of the seed in the furrow from the time intervals between seeds, the speed of the planter, the energy of the vibration, together with the application of the relation factors already found.

Palabras clave

Precisión de siembra, uniformidad de distancia, rugosidad del terreno, acelerómetro.

Introducción

En los sistemas de laboreo que tratan individualmente cada sitio específico del lote, es posible hacer una agricultura de precisión que permita minimizar los excesos en los insumos aportados al suelo [1]. Una particular problemática que aparece en la siembra directa, es la evaluación del *planteo* que las sembradoras hacen, específicamente en lo que se refiere a la uniformidad de la distancia entre plantas. Existen numerosos trabajos donde se relaciona uniformidad de distribución de la semilla con rendimiento del cultivo. El estudio informado en [2], da cuenta de una pérdida de 1,57 kg en el rinde de maíz por cada 100 m² de área cosechada, por cada 2,15 cm de aumento en la desviación estándar del espaciado entre plantas. A similares conclusiones arriban los autores en [3].

* Datos de Contacto:

Roberto Martínez. FECEIA-UNR. Pellegrini 250. Rosario. Argentina. romamar@fceia.unr.edu.ar

Sobre esta misma problemática, en [4] se reportan mayores disminuciones en el rendimiento de maíz y soja al aumentar la desviación estándar de la distancia intraplantas. En otras investigaciones [5, 6] no generalizan esta conclusión, sino que establecen una serie de condiciones agronómicas para establecer relaciones entre rendimiento y regularidad de las distancias entre semillas. En los trabajos referidos, se remarca que uno de los aspectos claves es lograr la distribución controlada de la semilla en el surco, logrando no sólo el valor medio de la distancia deseado, sino también la mayor uniformidad posible.

Una máquina sembradora desplazándose por el campo, está sometida a vibraciones provenientes de la rugosidad del terreno que atraviesa. Este fenómeno podría anularse si la rigidez del terreno fuera suficientemente pequeña, comparada con la del tren de rodaje del vehículo. Sin embargo, el suelo generalmente tiene mayor rigidez que el vehículo o las variaciones del perfil del suelo tienen una longitud de onda lo suficientemente larga, como para que las ruedas de la máquina sean forzadas a seguir el perfil del suelo. De este modo, aparece en el sistema una fuerza externa forzadora que provoca vibraciones. Además de este tipo de vibraciones, también están presente las producidas por los mecanismos de fuerza y distribución propios de la máquina. Las vibraciones en sembradoras tienen implicancia en varios aspectos: el suelo, la salud del operario y el desempeño de la propia máquina. Con referencia a este último aspecto, las vibraciones sobre la máquina sembradora podrían condicionar la uniformidad de distribución de la semilla en el surco.

Existen varios artículos que informan estudios sobre vibraciones en las máquinas agrícolas. Sin embargo, éstos están orientados fundamentalmente a la seguridad en el trabajo de los operarios [7], o bien al efecto que sobre el suelo ejercen las ondas producidas por estas máquinas (compactación, rugosidad, permeabilidad, reología)[8]. Se encontraron muy pocos trabajos en donde se evalúa el efecto de las vibraciones de la máquina sobre el espaciado de las semillas. Sobre esta problemática, los autores en [9] encontraron que las vibraciones provenientes del terreno afectaban significativamente la uniformidad del espaciado de la semilla de cebada. Los ensayos fueron realizados en laboratorio, a una velocidad de la sembradora de $6,5 \text{ km h}^{-1}$ y sobre sembradoras de chorrillos. En otra investigación [10], aunque no se trata el tema de distribución de semillas, los autores encuentran que las vibraciones en un tractor utilizado en tareas agrícolas, son fuertemente influenciadas por dos factores: la velocidad de desplazamiento y las condiciones del suelo por donde se desplaza el tractor. Respecto de este último punto, encuentran diferencias sensibles entre un campo cultivado y otro sin cultivar, como así también cuando el tractor se desplaza por un camino asfaltado. Con respecto al modelo utilizado para estudiar las vibraciones en una máquina agrícola, y teniendo en cuenta sólo las producidas por el terreno, en [8] se plantean dos modelos para estudiar las vibraciones en una máquina al desplazarse por una superficie rugosa: un modelo lineal, que permite análisis en el dominio de la frecuencia y un modelo no lineal, que lo hace analizando la reología del suelo y resulta aplicable en el dominio del tiempo.

El objetivo del presente trabajo se orienta a ensayar una sembradora neumática de presión positiva registrando variables significativos del proceso de siembra. Asimismo, analizar los datos obtenidos para establecer regularidades que permitan relacionar variables medidas electrónicamente en la sembradora, entre ellas las vibraciones, con la ubicación final de la semilla en el surco.

Materiales y Métodos

Los ensayos se realizaron sobre una máquina sembradora neumática de presión positiva (Bertini, modelo 22000), en un campo de la zona de Victoria, provincia de Entre Ríos, Argentina (32° 33.515' S, 59° 54.299' O). Las parcelas para el ensayo tenían rastrojo de maíz y soja. Se utilizó semilla de maíz híbrido AX 924 R2. Sobre la sembradora se realizaron tres tipos de evaluaciones en forma simultánea: a) mediciones de los tiempos entre semillas en su caída por el tubo de descarga, b) mediciones de la velocidad angular instantánea de la placa dosificadora de semilla y c) medición de las vibraciones en tres puntos de la máquina sembradora.

Para medir y registrar los tiempos entre semillas y la velocidad angular instantánea, se utilizaron los dispositivos SMT y SMV (Sistema de Medición de Tiempo y Sistema de Medición de Velocidad), descrito en [11]. El SMT consta de sensores optoelectrónicos que, colocados en el tubo de descarga de semilla, envían señal a una PC que calcula los tiempos de oscurecimiento del sensor (paso de semilla) y los tiempos entre semillas. El SMV consta de un encoder óptico, solidario al eje de la placa dosificadora, que envía la señal a la misma PC mencionada anteriormente. Su procesamiento permite medir la velocidad instantánea de la placa. Las variables medidas, tiempo entre semillas y velocidad angular, comparten una misma base de tiempos por lo que pueden ser relacionadas. Para la medición de las vibraciones se utilizó un sistema compuesto por módulos software y hardware y por un conjunto de programas en MatLab que se diseñaron para el ensayo. Los componentes hardware/software para la medición y procesamiento de las vibraciones se enumeran seguidamente:

- a) Acelerómetros piezoeléctrico SKF CMSS 2100. Sensibilidad 100mV/g. Rango de frecuencias: 3Hz a 5000 Hz. Frecuencia de resonancia 30 Khz.
- b) Acondicionador de señal Quatech QTC -350 (SignalPro Series)
- c) Tarjeta adquisidora Quatech DAQP-308 16bit A/D &12bit D/A PCMCIA Data Acquisition Card (SignalPro Series).
- d) Aplicación software: DaqEZ 16-bit Quatech Data Acquisition Application Software Package.
- e) PC portátil.
- f) Programas en MatLab desarrollados para el ensayo.

La Figura 1 muestra un esquema del proceso. Las señales eléctricas generadas por los acelerómetros son filtradas y acondicionadas (amplificación, linearización) antes de ser tratadas por el conversor analógico-digital. El conversor analógico-digital (tarjeta PCMCIA inserta en la notebook) transforma la señal analógica de cada canal en un dato de 16 bit.

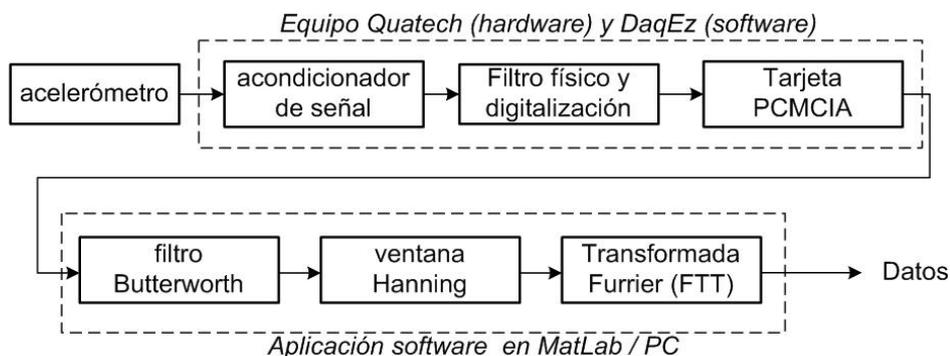


Figura 1. Esquema de medición y procesamiento de vibraciones

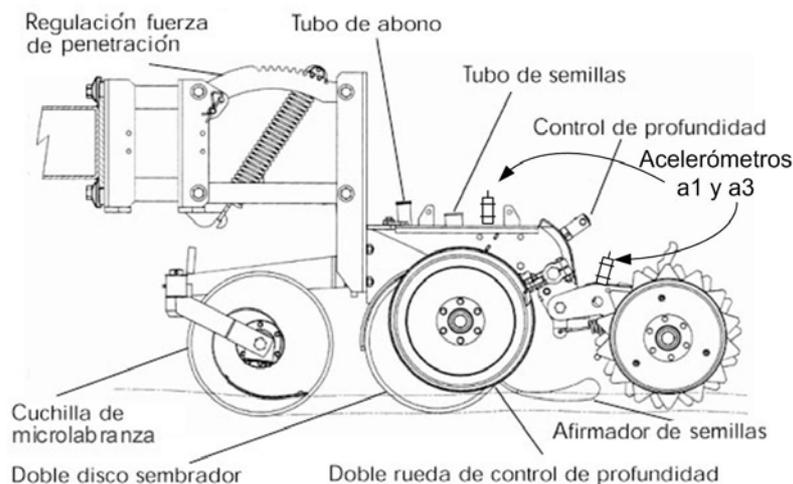


Figura 2. Ubicación de los acelerómetros a1 y a3

Un paquete de aplicaciones integradas de software (DaqEZ 16-bit Quatech) entrega un archivo con las señales digitalizadas de las aceleraciones. Finalmente, un conjunto de aplicaciones en MatLab procesa la información para obtener la aceleración en los dominios tiempo y frecuencia y la densidad de potencia espectral.

Los acelerómetros fueron emplazados según la siguiente disposición:

Acelerómetros a1 y a3. Se emplazan sobre el tren de siembra como se muestra en la Figura 2.

Acelerómetro a2. Emplazado sobre chasis de la máquina; es el elemento que posee la mayor unidad de masa.

Con la disposición mencionada se realizan dos tipos de ensayos:

Ensayos tipo A: Pruebas exploratorias de la máquina sembradora que se realizan desplazando la sembradora, a 6 km h^{-1} , por suelos con tres niveles de rugosidad: a) coeficiente de rugosidad, R, aproximadamente cero (camino asfaltado), b) coeficiente de rugosidad menor o igual a 9 % y c) coeficiente aproximado al 29 %. Estos coeficientes fueron calculados por el método de la cadena [12, 13]. Para lograr condiciones similares de compactación de suelo, en los casos b) y c), se verificó que la misma se mantuviera en valores comprendidos entre 1,8 MPa y 2,2 MPa. Estos ensayos permitieron ubicar los acelerómetros en los sitios más adecuados en lo que a repetitividad y sensibilidad en las mediciones se refiere.

Ensayos tipo B: Una vez obtenidas las ubicaciones adecuadas de los acelerómetros se realizaron ensayos a velocidades de 3, 6, 8, 9 y 10 km h^{-1} con tres repeticiones cada una. Los ensayos se diseñaron de manera de sembrar trayectos de 30 m para las velocidades indicadas y para tres tipos de coeficiente de rugosidad (R igual a 9 %, 15 % y 29 %). En cada ensayo se recolectaron y registraron los datos de los sensores que permitieron calcular:

- Tiempo medio del tiempo entre semillas (T) y su desviación estándar (σ_T).
- Velocidad angular instantánea del distribuidor (ω).
- Velocidad media de la sembradora (V).
- Distancia media teórica entre semillas (D_T), calculada como $D_T = V T$.
- Distancia media real entre semillas en el surco (D).
- Desviación estándar de la distancia real entre semillas en el surco ($\sigma_{semilla}$).
- Coeficiente de variación del tiempo entre semillas (CV_T),

$$CV_T = \frac{\sigma_T}{T} \times 100 [\%]$$

- Coeficiente de variación de la distancia entre semillas en el surco (CV_D),

$$CV_D = \frac{\sigma_{semilla}}{D} \times 100 [\%]$$

- Transformada Rápida de Fourier (FFT), energía y densidad espectral de potencia (DPE) de las señales de los acelerómetros.

Resultados

Las gráficas de los espectro de frecuencia sobre el tren de siembra (acelerómetro a3), cuando la sembradora se desplaza por un camino asfaltado ($R \approx 0\%$) y por un terreno con rugosidad baja ($R \approx 9\%$), se muestran en la Figura 3. La velocidad para ambos ensayos fue de 6 km h^{-1} . Si se comparan ambas gráficas se puede observar que para asfalto, los armónicos preponderantes están entre las frecuencias 130 Hz y 340 Hz; en cambio, para suelo con rugosidad baja, aparecen agregados armónicos de amplitudes importantes en las frecuencias menores a 5 Hz. Para el mismo ensayo anterior, se calculó la densidad de potencia espectral en los acelerómetros $a1$ y $a2$ (terreno de rugosidad baja, $R \approx 9\%$). Como se mencionó, $a1$ mide aceleraciones en el tren de siembra y $a2$ en el chasis de la sembradora. En las Figuras 4 y 5 se grafican las DPE calculadas para ambos acelerómetros. Los resultados de este ensayo muestran que las vibraciones se manifiestan en forma diferente en estas dos partes de la máquina. En el tren de siembra, la energía de vibración debido a la rugosidad superficial del suelo, armónicos de baja frecuencia, es la que adquiere preponderancia (Figura 4).

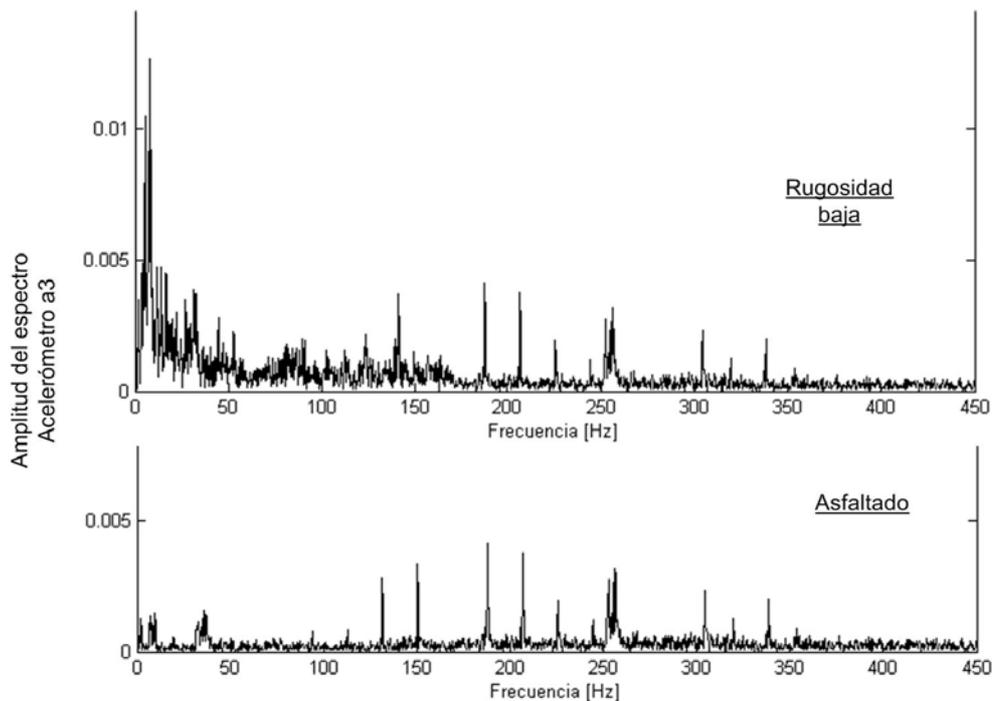


Figura 3. Espectros en frecuencia del acelerómetro a3 en terreno asfaltado y en terreno con rugosidad baja. Velocidad de siembra de 6 km h^{-1}

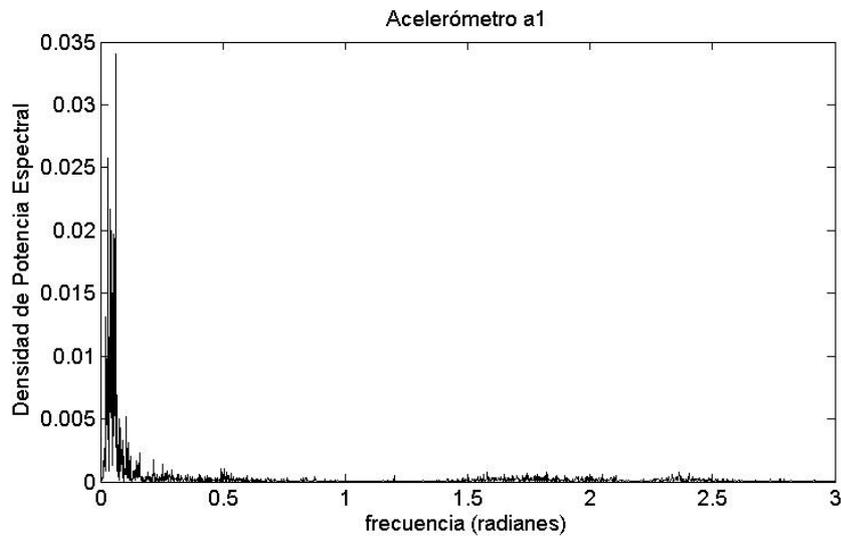


Figura 4. Densidad de potencia espectral en tren de siembra con velocidad de sembradora 6 km h^{-1} . Terreno rugosidad $R \approx 9\%$.

En el chasis de la sembradora, a diferencia de lo que ocurre en el tren de siembra, los armónicos de mayor frecuencia son los que proporcionan la mayor energía de vibración, como se observa en la Figura 5.

La energía de la vibración en los acelerómetros a1 y a2, para dos velocidades y dos tipos de rugosidades de terreno, se muestran en la Tabla 1. En este ensayo se evidencia que la energía de vibración aumenta con la rugosidad y con la velocidad de la sembradora.

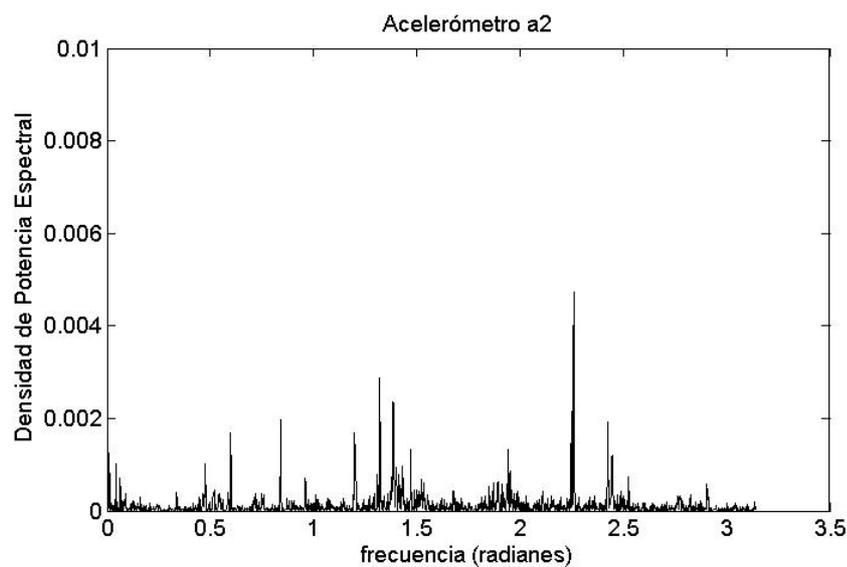


Figura 5. Densidad de potencia espectral en el chasis con velocidad de sembradora 6 km h^{-1} . Terreno rugosidad $R \approx 9\%$.

Tabla 1. Energía de vibración en los acelerómetros a1 y a2

veloc. [km h ⁻¹]	energía [x 10 ⁻⁵ J]					
	asfalto		rugosidad R ≅ 9%		rugosidad R ≅ 29%	
	a1	a2	a1	a2	a1	a2
3	33	15	61	21	410	540
6	37	17	330	30	630	1070

Tabla2. Relación entre la distancia media de la semilla en el surco y la calculada a partir de los sensores, para distintas energías de vibración.

Veloc. [km h ⁻¹]	D/D _T	
3,00	1,08	
6,00	1,06	
8,00	1,11	
9,00	1,14	
10,00	1,14	
	$E_{a1} \leq 34E-4$ $R \approx 15\%$	$64E-4 \leq E_{a1}$ $R \approx 29\%$

La relación entre la distancia media entre semillas en el surco (D) y la distancia media teórica (D_T) se muestra en la Tabla2. Los valores consignados son valores promedios con coeficientes de variación menor al 5 %. Esta relación presenta regularidades según sea la velocidad de la máquina y la energía de vibración (E_{a1}) en el tren de siembra (acelerómetro a1).

La relación entre el coeficiente de variación de la distancia entre semillas en el surco y el coeficiente de variación de los tiempos entre semillas (CV_D / CV_T) se presenta en la Tabla 3.

Discusión

Cuando la máquina se desplaza por un camino asfaltado, podemos considerar que las fuerzas excitadoras de las vibraciones provienen fundamentalmente de los mecanismos de fuerza y distribución de semillas (Figura 3).

Tabla 3. Relación entre coeficiente de variación de la distancia entre semillas en el surco y la calculada a partir de los sensores, para distintas energías de vibración

Veloc. [km h ⁻¹]	CV _D / CV _T		
3,00	1,40	1,50	1,90
6,00	1,83	1,90	2,30
8,00	1,95	1,98	2,40
9,00	2,00	2,30	2,50
10,00	2,04	2,80	3,00
	$E_{a1} \leq 62E-5$ $R \approx 9\%$	$62E-5 < E_{a1} < 64E-4$ $R \approx 15\%$	$64E-4 \leq E_{a1}$ $R \approx 29\%$

Sin embargo, cuando el terreno comienza a presentar algún grado de rugosidad, las vibraciones que adquieren relevancia son las

A partir de los resultados hallados, se pueden identificar dos tipos de vibraciones:

- Las producidas por los mecanismos de fuerza y distribución de semilla. En este grupo, la energía de vibración es relativamente baja respecto al otro grupo y sus armónicos principales están en las frecuencias por arriba de 100 Hz.
- Las producidas por la rugosidad del suelo. También dependen de la velocidad de desplazamiento de la sembradora. Tienen energía mucho más importante que las de los mecanismos de fuerza y distribución. Los armónicos preponderantes están en el rango de las bajas frecuencias (menor a 10 Hz).

A una velocidad de máquina sembradora de 6 km h^{-1} , los ensayos muestran que la energía de vibración, sobre el tren de siembra y suelo con rugosidad baja, es aproximadamente diez veces mayor que la de los mecanismos de fuerza y transmisión. Esta relación alcanza a un valor de veinte, si la rugosidad del suelo es alta (acelerómetro *a1* en Tabla 1).

Los factores de relación indicados en las Tablas 2 y 3 permiten calcular datos estadísticos de la ubicación final de la semilla en es surco. Ahora bien, las relaciones halladas se mantuvieron constantes en el transcurso del período de tiempo en que se realizaron los ensayos, aproximadamente diez días; surge el interrogante sobre cómo serán afectados estos factores con el transcurrir del tiempo y cual es el período a partir del cual se hace necesario recalcularlos. Los aspectos mencionados aún no han sido resueltos y se prevé tratarlos en trabajos futuros. La notebook emplazada sobre la sembradora presenta problemas de velocidad de proceso y no resulta una tecnología adecuada para estos ambientes, para su reemplazo, se trabaja en el diseño de un sistema digital sintetizado en un sólo chip (SoC), utilizando técnicas de codiseño software/hardware, que incluye también la adquisición de la señal de un GPS para georeferenciar los datos recolectados.

Conclusiones

En este artículo se informa sobre ensayos realizados sobre un tren de siembra de una sembradora neumática de presión positiva, donde se midieron y registraron variables significativas en el proceso de siembra: velocidad instantánea del plato dosificador, tiempo de caída entre semillas, vibraciones y distancia entre semillas en el surco. En los ensayos realizados, se comprobó que la energía de vibración sobre el tren de siembra aparece relacionada a la rugosidad del suelo y la velocidad de la máquina sembradora. Asimismo, a partir de los tiempos entre semillas, velocidad de la máquina sembradora y energía de vibración, y aplicando los factores de relación hallados, se comprueba que es posible inferir datos estadísticos de la posición final de la semilla en el surco.

Referencias

- [1] Bragachini M., Martín A., Bianchini A. and Mendez A. Nueva herramienta para el ajuste diagnóstico agronómico y aplicación precisa de insumos. *Agricultura de Precisión*, 1999, pp. 13-24.
- [2] Nielsen R.L., Stand establishment variability in corn, Purdue University, Purdue, 2001.
- [3] Doerge T.A. and Hall T. E. The value of planter calibration of using the MeterMax* System. *Crop Insights*, 10 (23), 2001, pp. 1-4.
- [4] Bragachini M., Martín A., Méndez A., Pacioni F. and Alfaro M., "Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano". in Proc. *Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América*, (Carlos Paz, Córdoba, Argentina, 2002), pp. 1-9.

- [5] Liu W., Tollenaar M., Stewart G. and Deen W. Response of Corn Grain Yield to Spatial and Temporal Variability in Emergence. *Crop Science Society of America*, 44 (3), 2004, pp. 847 - 854.
- [6] Liu W., Tollenaar M., Stewart G. and Deen W. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agronomy Journal*, 96, 2004, pp. 275-280.
- [7] Scarlett A., Price J. and Semple D., Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels, Ed. HSE Health & Safety Executive, Norwich-England, 2005.
- [8] Hildebrand R., Keskinen E. and Romero_Navarrete J. Vehicle vibrating on a soft compacting soil half-space: Ground vibrations, terrain damage, and vehicle vibrations. *Journal of Terramechanics*, 45, 2008, pp. 121–136.
- [9] Boydas M. G. and N.Turgut. Effect of vibration, roller design, and seed rates on the seed flow evenness of a studded feed roller. *Applied Engineering in Agriculture- ASABE*, 23 (4), 2007, pp. 413-418.
- [10] Sam B. and Kathirvel K. Vibration characteristics of walking and riding type power tillers. *Biosystems Engineering*, 95 (4), 2006, pp. 517–528.
- [11] Jorajuria D., Nigro N., Martínez R.M., Mas R., Geninatti S., Degano F., Bertini E. and Nardón G. Dinamica dei semi di mais in una seminatrice pneumatica di precisione a pressione. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 4, 2004, pp. 9-15.
- [12] Saleh A. Soil roughness measurement: chain method. *Journal of Soil & Water Conservation*, 48 (6), 1993, pp. 527-529.
- [13] Jester W. and Klik A. Soil surface roughness measurement-methods, applicability, and surface representation. *Catena*, 64, 2005, pp. 174–192.