

# MODELO MATEMATICO PARA LA SIMULACION DE VIBRACIONES EN SEMBRADORAS DE PRECISION

Eslava<sup>1</sup>, E. T. y Nardón<sup>2</sup>, G.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un modelo del comportamiento de sembradoras de precisión ante la acción de vibraciones. Se plantea un sistema que representa la propagación de las oscilaciones a través de la máquina, y nos permite obtener una descripción precisa del movimiento del tren de siembra. Se reconoce a la irregularidad del terreno agrícola como fuente de excitación para el sistema vibracional de la sembradora. Se identificaron las variables más influyentes, y se establecieron valores de referencia para las mismas. Finalmente se obtuvo una señal simulada de aceleración de un tren de siembra.

## ABSTRACT

In this work a model of precision seeder's behavior due to vibrations is presented. A system that represents the oscillations through the machine is established. This allows us to get a precise description of the seeding unit's motion. Agricultural soil irregularity is recognized as the energy source for the seeder's vibrational system. The most influencing variables were identified, and their reference values were proposed. Finally, a simulated signal of the seeding unit's acceleration was obtained.

## INTRODUCCION

El objetivo de la siembra de precisión es obtener una implantación uniforme de semillas con regularidad geométrica en la distancia, tanto en espaciamiento a lo largo del surco, entre ellos y en la profundidad de siembra, de acuerdo a los requerimientos agronómicos del cultivo, de manera tal de poder maximizar el rendimiento. Gargicevich & Maroni, (1997) mencionaron que uno de los problemas para la concreción de este objetivo radica en la regulación de la maquina sembradora. La misma generalmente la lleva a cabo el operario de máquina, quien muchas veces no pone énfasis en su correcta regulación. Esto e puede deber a desconocimiento y/o porque el diseño de la sembradora no permite una regulación automática en función de las condiciones del terreno. La falta de sensibilidad de los sistemas mecánicos en cuanto a la regulación, aún existiendo la posibilidad de modificación, es que las variables que inciden sobre el tren de siembra durante la siembra cambian constantemente, es decir, se encuentran siempre en régimen transitorio. Esta falta de régimen permanente o estabilidad, hace que la regulación de la sembradora sea apropiada únicamente para ciertas condiciones de trabajo, que se pueden dar en un lugar y en un instante determinado de la siembra y no en todo instante de trabajo. La importancia de una correcta regulación de la sembradora es que determina el comportamiento de la misma. Debido a las oscilaciones impuestas por las irregularidades del perfil del suelo, la misma produce vibraciones aleatorias. Estas se transmiten a lo largo de la sembradora, hasta llegar al tren de siembra. De esta manera, termina afectando a la trayectoria ideal de caída, produciendo la falta de uniformidad en el espaciamiento entre semillas y/o en la profundidad de siembra. García Barrón et al. (2000), concluyeron que la sembradora se ve más afectada cuando trabaja sobre suelos compactados y que la preparación de la superficie de siembra es fundamental para reducir los niveles de aceleración transmitidos a la sembradora.

El objetivo de este trabajo es generar un modelo matemático que permita simular las vibraciones de una sembradora de precisión y generar una herramienta computacional para poder optimizar o producir nuevos diseños mecánicos para mejorar el comportamiento del tren de siembra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Modelo teórico de la sembradora

Al analizar las vibraciones, debemos observar a la sembradora como un *sistema*, es decir, una porción delimitada del universo, que interactúa con el ambiente que la rodea. En este caso la interacción más notable es la ejercida por el perfil del suelo. El sistema "sembradora" puede representarse en forma abstracta como una "caja negra", la cual recibe señales de entrada, y elabora

---

<sup>1</sup> Ing. Mec. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Cs. Ex., Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Berutti 2109. (2000) Rosario. Santa Fe. Argentina

<sup>2</sup> Ing. Mec. M. Sc. en Ing. Rural. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Cs. Ex., Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Berutti 2109. (2000) Rosario. Santa Fe. Argentina

una respuesta, lo que se observa en las señales de salida. Como se trata de un sistema dinámico, la respuesta no sólo depende del valor instantáneo de las entradas, sino además, del pasado del sistema. Para modelizar un sistema suele ser necesario separarlo en varias partes más pequeñas (subsistemas), que pueden ser estudiadas con mayor facilidad, e incluso algunas puedan ser ensayadas experimentalmente. En nuestro caso los subsistemas son: ruedas, cuerpos de siembra y bastidor.

### Modelo para el subsistema “ruedas”

En la fig. 1 se grafica el modelo, para simular las ruedas de la máquina. Sólo nos interesa el desplazamiento vertical, ya que es el que excita al tren de siembra y el chasis, de acuerdo al objetivo de nuestro estudio. El modelo cuenta con pocos elementos, ya que la sembradora no presenta mecanismo de suspensión, siendo la única suspensión la elasticidad del neumático.

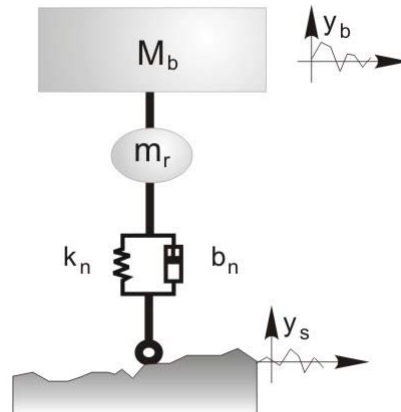


Fig.1 – Modelo de las ruedas

La modelización empleada en el neumático, es a través de un resorte y un amortiguador dispuestos en paralelo. Estos dos elementos reciben la excitación del suelo y desarrollan cada uno, una fuerza que al estar vinculados en paralelo, resulta en que la suma de estas fuerzas actúa directamente sobre el chasis. Los valores característicos son:

- **mr** = masa de las ruedas = 40 kg
- **bn** = constante de amortiguación del neumático = 1500 kg/s
- **kn** = rigidez del neumático = 150.000 N/m

Se asumieron dos hipótesis. La primera, es que el suelo se comporta como un cuerpo rígido e indeformable. Esto es razonable, si se tiene en cuenta que con el uso de neumáticos de alta flotación, el hundimiento del suelo producido por la masa de la sembradora no afecta al comportamiento de los demás componentes de la máquina. La segunda, es que se considera que el neumático no se despegas del suelo, es decir, que copia perfectamente las irregularidades del mismo. Esto se condice con la realidad, ya que debido al alto peso depositado sobre las ruedas y la relativamente baja velocidades de avance, no se observa el despegue de la rueda.

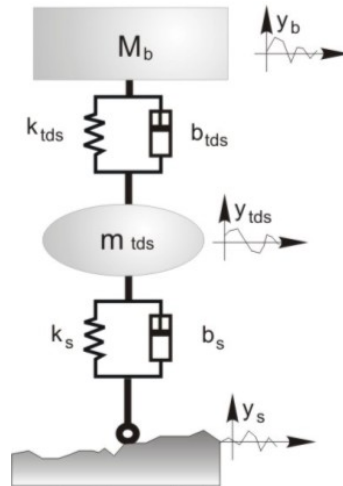
### Modelo para el subsistema “tren de siembra”

El tren de siembra recibe la influencia del terreno, por debajo, y del movimiento del chasis de la máquina por arriba (Fig.2). Por lo tanto, el tren de siembra se mueve a la velocidad relativa entre el chasis y el suelo.

La masa del tren de siembra se concentra en un punto, que se conecta a dos grupos de resorte-amortiguador. El grupo superior representa la vinculación entre el chasis y el tren de siembra. En la mayoría de las sembradoras actuales encontramos sólo un resorte de tracción, y en algunos modelos un resorte neumático. Ambos mecanismos pueden caracterizarse mediante este modelo; en el caso del resorte de tracción, se hace  $b_{tds} = 0$ , y  $k_{tds}$  representa la rigidez del resorte. Por debajo de la masa del tren de siembra tenemos el grupo resorte-amortiguador del suelo, que nos permite simular el hundimiento del mismo ante la acción de los discos abre-surco, logrando resultados que se condicen con la realidad.

Para representar el sistema en forma aproximada proponemos los siguientes valores representativos de las sembradoras existentes en el mercado:

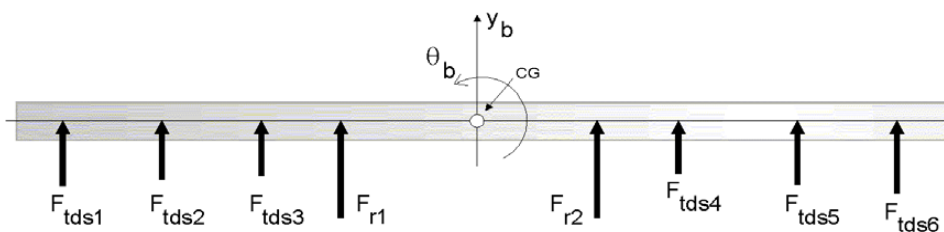
- **mtds** = masa del tren de siembra = 150 kg
- **Mb** = masa del bastidor por cuerpo = 4500 kg / 10 cuerpos = 450 kg
- **ktds** = rigidez del tren de siembra = 1000 N/m
- **btds** = amortiguación del tren de siembra = 5 kg/s
- **ks** = rigidez del suelo = 100000 N/m
- **bs** = amortiguación del suelo = 1000 kg/s



**Fig.2 – Modelo del tren de siembra**

### Modelo para el subsistema “bastidor”

Ya que nuestro estudio se concentra sólo en el movimiento vertical de la sembradora, simplificaremos el bastidor a una sola dimensión. De los movimientos rotativos nos quedaremos sólo con el giro alrededor del eje longitudinal, que produce el movimiento de vaivén del chasis. Las simplificaciones anteriores nos permiten pensar al bastidor como una barra rígida, a la cual se conectan los trenes de siembra y los soportes de las ruedas. Este modelo tiene dos grados de libertad: desplazamiento según el eje vertical, y giro según el eje longitudinal, con origen de coordenadas en el centro de masa, ubicado en el punto medio de la longitud del chasis.



**Fig.3 – Modelo del bastidor**

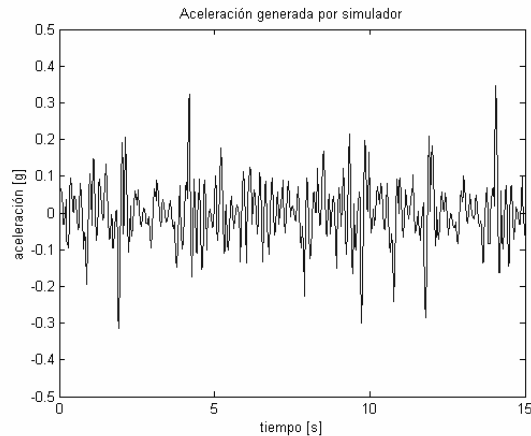
Los valores que interesan en este modelo son:

- **Jb** = Inercia rotacional del chasis = 235000 kg.m<sup>2</sup>
- **Mb** = masa del chasis = 4800 kg

El modelo físico del sistema se implementó en diagrama de bloque, mediante la técnica de bond-graph, a través del módulo Simulink del software Matlab®. El mismo permite controlar aproximadamente veinticinco variables de entrada, entre ellas los distintos perfiles de suelo para cada rueda y tren de siembra.

## RESULTADOS Y DISCUSION

García Barrón et al. (2000), mencionaron la dificultad de modelar las sacudidas que sufre la unidad de siembra en condiciones reales del campo y para ello propusieron la construcción de un banco de ensayo para estudiar la influencia de las sacudidas en la sembradora. Sin embargo, una de las alternativas en reemplazo del banco de ensayo anterior, es la utilización de este modelo matemático propuesto que permitiría simular las vibraciones en la sembradora de precisión en condiciones de campo. Una de las alternativas con que cuenta este simulador es la posibilidad de sensar variables de velocidad, aceleración y esfuerzo para cada componente incluido en el sistema. Un ejemplo de medición de la aceleración en un tren de siembra se muestra en la figura 4.



**Fig.4 – Señal generada por simulador**

Al estudiar el sistema vibracional de la sembradora, debemos determinar el origen de la oscilación, su propagación a través de la máquina, y la influencia de la vibración sobre el órgano final, que es el tren de siembra. La principal fuente de perturbaciones es la irregularidad del terreno, que introduce energía en el sistema en forma de desplazamiento vertical de las ruedas de la máquina y los trenes de siembra. Existen otras fuentes de vibraciones presentes dentro de la máquina (motores hidráulicos, turbinas desbalanceadas, ejes en rotación) pero éstas no han sido contempladas en el modelo.

Debido a que la oscilación impuesta por el terreno es de tipo aleatorio, para caracterizar la misma se hace necesario un análisis de espectro de frecuencias. A través de ensayos realizados a campo, se pudo determinar que las ondas que aportan la mayor proporción de la energía del movimiento oscilatorio son las de frecuencias menores a 20 Hz. Este dato es de gran importancia para generar las señales de entrada (perfiles de terreno). Otro dato relevante es la rigidez del suelo, que debe obtenerse en forma experimental.

## CONCLUSION

El modelo matemático planteado permite simular las aceleraciones de la máquina sembradora de precisión.

La simulación computacional es una herramienta de diseño que debe ser utilizada para el diseño de máquinas sembradoras de precisión o para determinar la regulación óptima del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- **García Barrón S. G., C. Gracia López & R. J. Serwatowski Hlawinska.** 2000. Caracterización de las sacudidas provocadas a las sembradoras debido a las irregularidades del terreno. En: Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA). X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (IMIA). Guanajuato, México.
- **García Barrón S. G., C. Gracia López & R. J. Serwatowski Hlawinska.** 2000. Diseño y construcción de un banco de ensayos para el estudio de equipos neumáticos de siembra. En: Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola (CLIA). X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola (IMIA). Guanajuato, México.
- **Gargicevich A. & J. Maroni.** 1997. La máquina sembradora y la densidad poblacional del maíz. Publicación MAIZ 96/97. INTA - CERSAN; Proyecto IPG. INTA Oliveros.