

Software para el cálculo de parámetros en superficies planas vibratorias

Software for calculation of parameters in vibratory plane surfaces

M.Sc. Augusto Dongua^I y Dr.Cs. Arturo Martínez Rodríguez^{II}

^IUniversidad Agostinho Neto, Facultad de Ingeniería, Luanda, Angola.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. Se presenta el programa “CRIBAS II” para el cálculo de los principales parámetros de diseño y operación de las superficies planas vibratorias empleadas para la limpieza, clasificación y transportación de productos agrícolas. El software posibilita calcular los parámetros del régimen vibratorio a aplicar a la superficie (frecuencia, amplitud y dirección de las vibraciones) en función de obtener el desplazamiento deseado para las partículas procesadas, durante su movimiento sobre la superficie.

Palabras clave: Régimen cinemático, parámetros de diseño, parámetros del régimen vibratorio.

ABSTRACT. The software “CRIBAS II” for calculation of the main parameters of vibratory planes surfaces, used for cleaning, classification or transportation of agricultural products, is presented. The software facilitates to calculate the parameters of the vibratory regime to apply to the surface (frequency, amplitude and direction of vibrations) in order to obtain the expected movement of the processed particles, during their traveling on the surface.

Keywords: Kinematic regime, design parameters, parameters of the vibratory regime.

INTRODUCCIÓN.

Las superficies planas vibratorias son de amplia aplicación en la industria, tanto para la transportación de materiales, como para la separación por cribado de componentes de mezclas de materiales, dirigido a su clasificación o a la limpieza del producto principal contenido en la mezcla.

Sistemas de limpieza o clasificación de mezclas de materiales son de amplia utilización en máquinas cosechadoras de productos agrícolas y en equipamientos para el post-procesamiento de productos cosechados.

La teoría para el cálculo de los principales parámetros de diseño y operación de las superficies planas vibratorias, utilizadas para la clasificación de productos agrícolas o la separación de componentes en mezclas de materiales diversos, ha sido abordada por diferentes autores Letoshniev (1955); Turbin (1967); Klionin *et al.* (1970); Silveira, (1982); Slepyan & Slepyan (2013), quedando prácticamente establecidos estos métodos de cálculo y plenamente vigentes hasta el presente (Brindeu *et al.*, 2001;

Brindeu, & Radu, 2004; Radu, 2009; Tomasz & Wodziński, 2002), continuándose su desarrollo y perfeccionamiento por diferentes autores Voicu *et al.* (2007); Slepyan *et al.* (2009); Dragan (2012); Plat & Bucher (2013); Slepyan & Slepyan (2013).

Sin embargo, dada la relativa complejidad de las relaciones matemáticas entre las variables de entrada y salida emanadas del análisis dinámico de la interacción de las superficies con los materiales procesados, constituye un interés práctico el poder contar con métodos de cálculo computarizados que faciliten la evaluación de estos modelos teóricos para diferentes condiciones requeridas para el movimiento de las partículas sobre la superficie.

En un trabajo anterior de Martínez (2008), fue presentado el software “CRIBAS” que posibilita calcular los parámetros adecuados de las cribas vibratorias de manera tal que las partículas que deben pasar a través de los agujeros de la superficie de la criba, no sobrepasen, en su movimiento de avance a lo largo de la criba, la dimensión de

dichos agujeros, lo cual se garantiza cuando la velocidad absoluta máxima de las partículas en el momento que alcanzan la velocidad relativa máxima con respecto a la superficie vibratoria, cumpla la condición de no exceder la velocidad límite de las partículas.

En el presente trabajo se reporta el software "CRIBAS II", que posibilita calcular otros parámetros básicos de diseño y operación de las superficies planas vibratorias, tales como los regímenes cinemáticos requeridos para lograr el movimiento de las partículas hacia la salida o entrada de la superficie respectivamente o para lograr la condición de salto o despegue de las partículas con respecto a la superficie. Asimismo posibilita cuantificar el desplazamiento, por ciclo de vibración, de las partículas sobre la superficie en cada dirección y resultante, lo que permite seleccionar el régimen de trabajo más conveniente de acuerdo a los requerimientos y a las características de los materiales que componen la mezcla procesada. Los parámetros del régimen de trabajo que son determinados son: La amplitud,

dirección y frecuencia de las vibraciones, así como el ángulo de inclinación de la superficie. Como dato de entrada al programa se requiere conocer el coeficiente de fricción entre el material procesado y el material componente de la superficie.

INSTRUCCIONES PARA LA CORRIDA DEL PROGRAMA

Como quiera que "CRIBAS II" ha sido elaborado sobre la base del programa Mathcad (versión 2000 Professional), el usuario puede emplear las facilidades que ofrece el ambiente de este programa, tales como evaluar un rango de variables u otras. Para la corrida del programa solamente se precisa introducir los datos que se van solicitando. Para efectuar la introducción de cualquier dato, se borra o marca el anterior y se tecldea el nuevo dato. Al cambiar cualquier dato el programa instantáneamente recalculará y brindará los nuevos resultados.

Introducción de datos para la corrida del programa

Cálculo de parámetros de cribas vibratorias de separación

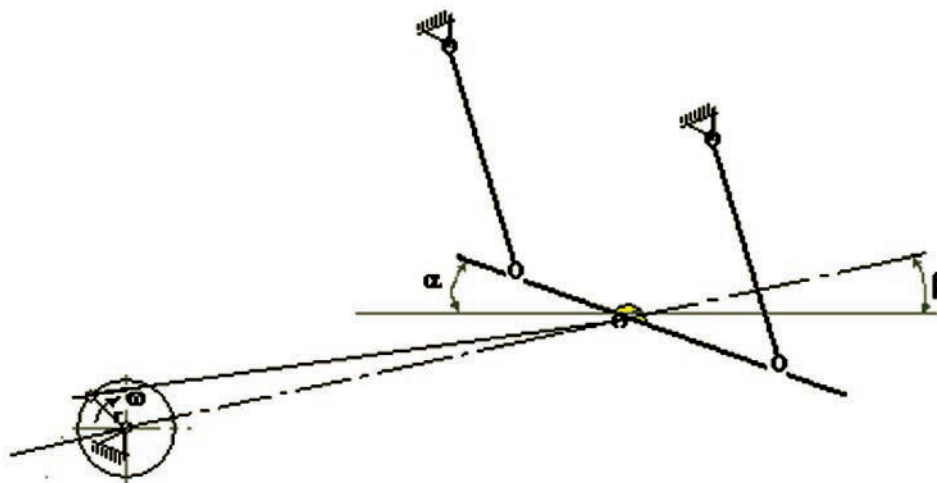


FIGURA 1. Acotaciones de los parámetros geométricos de la superficie vibratoria.

Declaración de términos:

Para la declaración de términos se coloca cualquier valor y después se reajustan en función de los resultados que se deseen obtener.

Ángulo de inclinación de la superficie:

$$\alpha := \frac{5 \cdot \pi}{180} \quad \alpha = 0.087 \text{ rad}$$

Ángulo de la dirección de las oscilaciones con la horizontal:

$$\beta := 5 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \beta = 0.087 \text{ rad}$$

Amplitud de las oscilaciones:

$$r := 0.020 \text{ m}$$

Frecuencia de las oscilaciones:

$$\omega := 4 \cdot 2 \cdot \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad n := \omega \cdot \frac{30}{\pi} \text{ rpm} \quad n = 240 \text{ rpm}$$

Aceleración de la gravedad:

$$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ángulo de fricción:

$$\phi := 40 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \phi = 0.698 \text{ rad}$$

Cálculos:

Coefficientes: σ y δ

Régimen cinemático de la criba:

$$\sigma := \frac{\cos(\alpha + \beta - \phi)}{\cos(\phi)} \quad \sigma = 1.131$$

$$\delta := \frac{\cos(\alpha + \beta + \phi)}{\cos(\phi)} \quad \delta = 0.839$$

Régimen cinemático requerido para el movimiento hacia la salida:

$$k := \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \quad k = 1.289$$

Régimen cinemático requerido para el movimiento hacia la entrada:

$$ks := \frac{\sin(\phi - \alpha)}{\cos(\alpha + \beta - \phi)} \quad ks = 0.662$$

Régimen cinemático requerido para el salto:

$$ke := \frac{\sin(\phi + \alpha)}{\cos(\alpha + \beta + \phi)} \quad ke = 1.1$$

Ángulo de fase del comienzo del movimiento relativo a la salida:

$$ko := \frac{\cos(\alpha)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad ko = 5.737$$

Ángulo de fase para el que la aceleración relativa hacia la salida es cero y la velocidad relativa a la salida es máxima:

$$\theta 1 := a \cos\left(\frac{-ks}{k}\right) \quad \theta 1 = 2.11 \text{ rad}$$

$$\cos(\theta 1) = -0.514 \quad \sin(\theta 1) = 0.858$$

Ángulo de fase para el que la velocidad relativa a la entrada es máxima:

$$\theta o := 2 \cdot \pi - \theta 1 \quad \theta o = 4.173 \text{ rad}$$

$$\cos(\theta o) = -0.514$$

Ángulo de fase del comienzo del movimiento relativo a la entrada:

$$\psi o := a \cos\left(\frac{ke}{k}\right) \quad \psi o = 0.548 \text{ rad}$$

$$\cos(\psi o) = 0.853$$

Ángulo de fase correspondiente al fin del movimiento relativo hacia la salida:

$$\psi 1 := 2 \cdot \pi - \psi o \quad \psi 1 = 5.735 \text{ rad}$$

$$\cos(\psi 1) = 0.853$$

Ángulo de fase correspondiente al fin del movimiento relativo hacia la entrada:

$$f(\theta 2) := \sin(\theta 2) - \theta 2 \cdot \cos(\theta o) - \sin(\theta 1) + \theta 1 \cdot \cos(\theta o)$$

$$\text{guess value: } \theta 2 := 6 \quad \text{soln} := \text{root}(f(\theta 2), \theta 2)$$

$$\text{soln} = 5.348 \quad \theta 2 := \text{soln}$$

$$\theta 2 = 5.348 \text{ rad}$$

$$\cos(\theta 2) = 0.593$$

Desplazamiento relativo por ciclo hacia la salida:

$$\sin(\psi 2) - \psi 2 \cdot \cos(\psi o) - \sin(\psi 1) + \psi 1 \cdot \cos(\psi o) = 0$$

$$f(\psi 2) := \sin(\psi 2) - \psi 2 \cdot \cos(\psi o) - \sin(\psi 1) + \psi 1 \cdot \cos(\psi o)$$

$$\text{guess value: } \psi 2 := 8 \quad \text{soln} := \text{root}(f(\psi 2), \psi 2)$$

$$\text{soln} = 7.398 \quad \psi 2 := \text{soln}$$

$$\psi 2 = 7.398 \text{ rad}$$

Desplazamiento relativo por ciclo hacia la entrada:

$$x_s := -\sigma \cdot r \cdot \left[\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2) - (\theta_2 - \theta_1) \cdot \sin(\theta_1) - \frac{1}{2} \cdot (\theta_2 - \theta_1)^2 \cdot \cos(\theta_0) \right]$$

$$x_s = 0.027 \quad \text{m}$$

Desplazamiento relativo por ciclo hacia la entrada:

$$x_e := -\delta \cdot r \cdot \left[\cos(\psi_1) - \cos(\psi_2) - (\psi_2 - \psi_1) \cdot \sin(\psi_1) - \frac{1}{2} \cdot (\psi_2 - \psi_1)^2 \cdot \cos(\psi_0) \right]$$

$$x_e = -1.674 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Desplazamiento relativo resultante por ciclo:

$$x_r := x_s + x_e \quad x_r = 0.025 \text{ m}$$

Velocidad relativa media resultante:

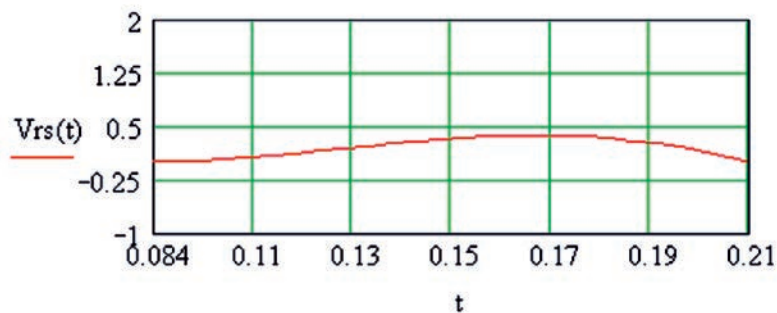
$$V_{med} := \frac{x_r \cdot \omega}{2 \cdot \pi} \quad V_{med} = 0.101 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Declaración del rango del tiempo como variable independiente:

$$t := 0, \frac{\pi}{24 \cdot \omega} \dots \frac{6 \cdot \pi}{\omega} \text{ s}$$

Velocidad relativa hacia la salida en función del tiempo:

$$V_{rs}(t) := -\sigma \cdot \left[\left[\omega \cdot r \cdot (\sin(\omega \cdot t) - \sin(\theta_1)) \right] - \frac{g \cdot \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\alpha + \beta - \phi)} \cdot \frac{\omega \cdot t - \theta_1}{\omega} \right] \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Comprobación del desplazamiento relativo por ciclo hacia la salida mediante integración:

$$\int_{\frac{\theta_1}{\omega}}^{\frac{\theta_2}{\omega}} V_{rs}(t) dt = 0.027 \text{ m (Comprobación)}$$

Velocidad relativa hacia la entrada en función del tiempo:

$$V_{re}(t) := -\delta \cdot \left[\left[\omega \cdot r \cdot (\sin(\omega \cdot t) - \sin(\psi_1)) \right] - \frac{g \cdot \sin(\alpha + \phi)}{\cos[(\alpha + \beta) + \phi]} \cdot \frac{\omega \cdot t - \psi_1}{\omega} \right] \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Comprobación del desplazamiento relativo por ciclo hacia la entrada mediante integración:

$$\int_{\frac{\psi_1}{\omega}}^{\frac{\psi_2}{\omega}} Vre(t) dt = -1.674 \times 10^{-3} m \text{ (Comprobación)}$$

Velocidad absoluta de un punto cualquiera de la superficie de la criba:

$$Vcr(t) := \omega \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t) \frac{m}{s}$$

Velocidad absoluta de las partículas hacia la salida:

$$Vas(t) := (\omega \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t)) + Vrs(t) \frac{m}{s}$$

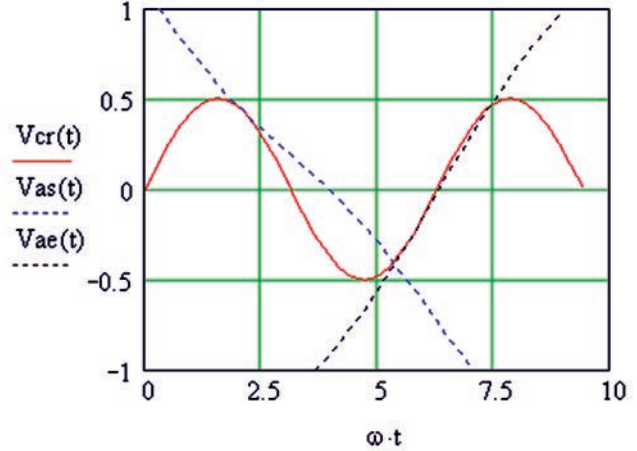
Velocidad absoluta de las partículas hacia la entrada:

$$Vae(t) := (\omega \cdot r \cdot \sin(\omega \cdot t)) + Vre(t) \frac{m}{s}$$

Ajuste del rango de tiempo:

$$t := 0, \frac{\pi}{12 \cdot \omega} \dots \frac{3 \cdot \pi}{\omega}$$

Visualización gráfica de las velocidades absolutas de la superficie y las partículas:



RESULTADOS EN FORMA TABULADA

t =	Vre(t) =	Vae(t) =	Vrs(t) =	Vas(t) =
0	-2.284	-2.284	1.104	1.104
0.01	-2.299	-2.169	0.88	1.01
0.021	-2.306	-2.055	0.667	0.918
0.031	-2.3	-1.944	0.473	0.828
0.042	-2.272	-1.837	0.306	0.741
0.052	-2.22	-1.735	0.173	0.658
0.062	-2.14	-1.638	0.077	0.579
0.073	-2.032	-1.546	0.02	0.505
0.083	-1.895	-1.46	6.249·10 ⁻⁵	0.435
0.094	-1.734	-1.379	0.014	0.369
0.104	-1.553	-1.301	0.055	0.307
0.115	-1.357	-1.227	0.116	0.246
0.125	-1.153	-1.153	0.186	0.186
0.135	-0.95	-1.08	0.257	0.127
0.146	-0.754	-1.005	0.318	0.066
0.156	-0.572	-0.928	0.359	3.534·10 ⁻³

FIN

CONCLUSIONES

- El software “CRIBA II” posibilita cuantificar el desplazamiento, por ciclo de vibración, de las partículas sobre una superficie plana vibratoria, así como las velocidades relativas de los componentes procesados con respecto

a la superficie y los regímenes de vibración requeridos para diferentes condiciones del movimiento del material sobre la superficie. Los resultados del cálculo son brindados en forma gráfica y tabulada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRÎNDEU, L., A. HEGEDUS; I. ORGOVICI; R. ILEA; I. BIRO & I. DEAK: "The dynamics of the moving grain using vibrational plane sieves", *Kutatasi es fejlesztési tanácskozás*, Nr.25, Gödöllő, Hungary, 2001.
- BRÎNDEU, L. & I. RADU: Dynamics of the displacements by vibrations on plane sieves. Tomo II. Fascicule I. In: *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, Gödöllő, Hungary*, 2004.
- DRAGAN, N.: "The dynamic analysis of the inertial vibrating screens modeled as 3dof elastic systems", In: *The annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle xiv Mechanical Engineering*, 35. ISSN-1224-5615, Hungary, 2012.
- KLIONIN, N.I.; I.F. POPOV; B.A. SAKUN: *Cielskojasiaistviennie Mashini. Elementi Teorii Rabochix Protcessov*, pp. 321-325, Editorial "Kolos", Moscow, Russia, 1970.
- LÉTOSHNEV, M.I.: *Cielskojasiaistviennie Mashini. Teoria, Raschot, Proiektirovanie Ispitanie*, pp. 435-463, Third Edition, State Editorial. Moscow Russia, 1955.
- MARTÍNEZ, R., A.: "Software para el cálculo de parámetros en cribas vibratorias de separación bajo el criterio de la velocidad límite de las partículas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1): 41-45, 2009.
- PLAT, H & I. BUCHER: "Optimizing parametric oscillators with tunable boundary conditions", *J. Sound Vibrat.*, 332: 487-493, 2013.
- RADU, I.: "Dynamics of working process of flat sieves" [*en línea*], *Acta Technica Corviniensis*, /Fascicule 1/January-March/Tome II, pp. 63-68, 2009, *Disponible en: <http://acta.fih.upt.ro> [Consulta: 20 de mayo 2013]*.
- SILVEIRA, R. J.: *Teoría y Cálculo de Máquinas Agrícolas*, pp. 358-363, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1982.
- SLEPYAN, V I, G. LOGINOV I G & I. SLEPYAN: *The method of resonance excitation of a vibrating sieve and the vibrating screen for its implementation*. Ukraine, Trademark Off Pat, 2009, Ukrainian patent on invention No. 87369, Ukraine, 2009.
- SLEPYAN, L. I. & V. I. SLEPYAN: "Modeling of parametrically excited vibrating screen", *Journal of Physics: Conference Series* 451: 12-26, 2013.
- TOMASZ, D. & P. WODZIŃSKI: "Model particle velocity on a vibrating surface", *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 36: 147-157, 2002.
- TURBIN, B.G.; A.B. LURIÉ; C.M. GRIGORIEV; Z.M. IVANOVICH.; C.V. MELNIKOV: *Cielskojasiaistviennie Mashini Teoria y Texnicheski Raschot*, pp. 396-432, Editorial Machinoostroenie, Leningrado, Rusia, 1967.
- VOICU, G.; T. CĂȘĂNDROIU; L. TOMA & H. ZRNČIC: Predictions regarding the influence of the material movement along the sieve on seeds separation in cleaning systems from the cereal combine. In: *Zbornik radova*, 35. Međunarodnog simpozija iz područja mehanizacije poljoprivrede, pp. 155-166, Opatija, Croatia, 19-23 veljače, Croatia, 2007.

Recibido: 22 de diciembre de 2013.

Aprobado: 22 de julio de 2014.

Augusto Dongua, Profesor, Universidad Agostinho Neto, Facultad de Ingeniería, Luanda, Angola.

Correo electrónico: donguatre@yahoo.com.br



Universidad Agraria de La Habana

CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA



Investigación de la Mecanización Agrícola, utilizando Sistemas Conservacionistas y Sustentables.



Cursos y Entrenamientos de Posgrado, Maestrías y Doctorados en Ingeniería Agrícola;



Editor de la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, publicación trimestral en idioma español;



Servicios Científico-Técnicos:



Solicitudes de ofertas a:
Dr.C. Roberto Albóniga Gil
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: ralboniga@unah.edu.cu

Maquinaria Agrícola & Instrumentos de Medición:

- Balanza Electrónica para el Pesaje de Ganado;

- Balanzas para Cerdos y Ovinos.

Laboratorio de Oleohidráulica:

- Descontaminación de Aceites;
- Fabricación de Equipos Portátiles de Filtraje de Aceites;

- Recuperación (Emboquillado) & Fabricación de Mangueras;

- Diagnóstico y Evaluación de Circuitos Oleohidráulicos y sus Componentes;

- Cursos y Entrenamientos de Capacitación en Oleohidráulica.