

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA DESHOJAR LA MAZORCA DE MAÍZ PARA ENVOLTURA DE TAMAL

DESIGN, CONSTRUCTION, AND EVALUATION OF A HUSKING MACHINE TO PERMIT THE USE OF THE HUSKS AS WRAPPING FOR TAMALES

Pedro Cruz-Meza¹; Eugenio Romantchick-Kriuchkova^{1*}; Federico Hahn¹

¹Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, MÉXICO. Correo-e: eugenior@correo.chapingo.mx (*Autor de correspondencia).

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de mecanizar el proceso de deshoje de la mazorca de maíz para envoltura de tamales o para artesanías. A partir de la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la mazorca de maíz se realizó el diseño conceptual y de detalle de la máquina. Posteriormente se construyó y evaluó el prototipo. El proceso tecnológico consistió en dos actividades principales: el corte de la base de la mazorca y el deshoje como tal. El corte se realiza mediante un disco liso, en tanto que el deshojado se realiza debido a la fricción entre la superficie de la mazorca y los rodillos que giran en sentidos opuestos y a diferentes velocidades. La mazorca limpia es expulsada a un extremo debido al movimiento de los rodillos, y la hoja pasa entre éstos. La productividad de la máquina es de 790 mazorcas·h⁻¹ a una velocidad de alimentación de 0.03 m·s⁻¹. De las pruebas realizadas al prototipo se tiene un 95 % de deshojado de la mazorca, 1.4 % de hoja dañada mecánicamente y hasta 11 % de grano desgranado con una humedad de la hoja de 50.4 %. Se determinó la dependencia de la energía de corte en función del diámetro de la mazorca. Al evaluar el consumo de energía de los discos liso y dentado se determinó que el segundo requiere un 6.5 % más de energía.

Palabras clave adicionales: Máquina, diseño, deshojado, maíz, hoja.

ABSTRACT

The present research was developed to mechanize the process of corn husking that would permit the husks to be used as wrapping for tamales or for their use in the making of handicrafts. After determining the physical-mechanical properties of the ears of corn, a conceptual design and the details of the machine were made. The prototype was then constructed and evaluated. The technological process consisted of two principle activities: cutting off the butt of the ear of corn and husking the remains. The cut is made with a smooth blade, while the husking takes place as a result of friction between the surface of the ear of corn and the rollers that turned in the opposite direction and at a different speed. The corncob is expelled to the side because of the movement of the rollers and the husk that goes between these. The productivity of the machine is 790 ears of corn·h⁻¹ at a feeding speed of 0.03 m·s⁻¹. Tests showed husking at 95 %, mechanical damage to the husks at 1.4 % and up to 11 % of the husked corn had husks with a humidity of 50.4 %. The dependence of the energy of court depending on the diameter of the ear was determined. An evaluation of the amount of electricity used in the case of a smooth blade as compared to a toothed one determined that the latter requires 6.5 % more electricity.

Additional key words: Machinery, design, husking, corn, ears of corn.

INTRODUCCIÓN

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México y en toda América Latina. Actualmente se cultiva en todos los estados de nuestro país, y sigue siendo uno de los cultivos principales. El maíz se siembra en el 60 % de la tierra cultivada (8.4 millones de ha). En volumen, esta producción representa alrededor de dos terceras partes de la producción agrícola de México, donde 3.3 millones de agricultores se dedican al cultivo del maíz y, aproximadamente, de 15 a 18 millones de personas dependen directa e indirectamente de dicho cultivo (Colegio de Postgraduados, 2006).

Todas las partes de la planta de maíz tienen un valor económico: el grano, las hojas, el tallo, totomoxtle y el olote, entre otros (Dowswell *et al.*, 1996). El consumidor de la hoja de maíz para tamales se localiza en todo México, algunos estados de la Unión Americana y Canadá. El tamal es un alimento tradicional muy difundido entre los mexicanos en todos los niveles sociales. En la zona centro del país una persona consume tamales una a dos veces por semana. Los tamales se elaboran con la masa de maíz, se les adiciona carne de res o de cerdo, se envuelven con hoja de maíz o de plátano y se someten a cocimiento en una vaporera (Aguilar-Moreno, 2007).

Existe diferencia en la manera tradicional de elaboración de tamales y en particular en la forma regional de su envoltura, de ahí que en las zonas norte y centro-occidente de México se prefieran hojas cuya base ha sido cortada, mientras que en el sur y centro se utilizan hojas completas, lo cual, además, diferencia su proceso de recolección y la presentación del producto para su comercialización, ya que en el segundo caso la venta al menudeo es en manojos sujetos con tiras de la misma hoja. Para su venta al mayoreo tales manojos de hojas son sujetos con hilo ixtle formando rollos; mientras que en el mercado internacional se maneja exclusivamente hoja cortada, requiriéndose de un empaque y embalaje más elaborado para su comercialización en las fábricas de tamales y en los supermercados, puesto que en los Estados Unidos no existe la recolección y beneficio de la hoja de maíz. No existen normas oficiales para clasificar las hojas de maíz por lo que éstas se agrupan de acuerdo al proceso de compra-venta en el mercado nacional e internacional. La empresa Agroindustrias del Río, con más de 30 años de experiencia, las clasifica en: segunda nacional, primera nacional, PC-8, PC-9, selecta, selecta especial y selecta especial en malla, de las cuales las cinco últimas son de exportación y las dos últimas sólo las comercializan por pedido.

En México la obtención de la hoja de la mazorca para envoltura de tamales se realiza de manera manual, lo que implica gran demanda de mano de obra para esta tarea, donde se producen los mayores costos y existe una baja productividad. Una persona diestra deshoja de 60 a 80 mazorcas·h⁻¹, y de cada mazorca se obtienen de 8 a 10 hojas para envoltura. Existen en el mercado nacional algunas máquinas que realizan el deshojado y desgrane de la mazorca de maíz, pero tienen el inconveniente de dañar mecánicamente la hoja, que únicamente puede aprovecharse para la alimentación del ganado. Ortiz y Hernanz (1989) y Glanze (1973) reportan una deschaladora de mazorcas de maíz que se

utilizó en las décadas de 1940 y 1960 en los Estados Unidos, pero tiene el inconveniente de desgranar demasiado la mazorca y dañar la hoja de maíz; desde entonces no hay reportes de otro diseño. Por otro lado, los pequeños productores de maíz casi no tienen maquinaria y equipo agrícola especializados y venden sus cosechas a precios bajos. Además, por falta de capacitación no aplican correctamente el paquete tecnológico (Colegio de Postgraduados, 2006).

El diseño de las máquinas agrícolas está basado en las propiedades y características de los productos agrícolas. En el libro **Sin maíz no hay país** (Esteve y Marielle, 2003), Rafael Ortega Paczka celebra la diversidad del maíz y estudia sus causas y características, pero muestra solamente las mazorcas sin análisis de sus dimensiones ni características técnicas.

En este trabajo se presentan los resultados de diseño, construcción y evaluación de una máquina para deshojar la mazorca de maíz para envoltura de tamales con la base de las propiedades físicas del producto a trabajar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en encuestas realizadas a varios productores de maíz y en la experiencia en el diseño y construcción de máquinas agrícolas, se establecieron los requisitos y parámetros técnicos que determinan los índices de calidad y características de explotación de la máquina a diseñar. Los parámetros técnicos especificaron que la máquina debía tener una productividad de 750 a 800 mazorcas por hora, y que el accionamiento de los diferentes sistemas de la máquina debía ser por motores eléctricos. Los requisitos tecnológicos señalaron que la máquina debía cortar una parte de mazorca y deshojarla, teniendo una efectividad mayor del 90 % en el corte de la hoja y en su posterior desprendimiento de la mazorca con daños y desgranado mínimos.

La formulación del problema se obtuvo mediante la abstracción de las especificaciones del diseño. Posteriormente se definieron la función global y las sub-funciones del diseño de la máquina, se analizaron los principios de solución, se obtuvieron las combinaciones más apropiadas para los diferentes subsistemas y se evaluaron independientemente las alternativas de solución generadas que satisfacen la función global (Pahl y Beitz, 1996).

La máquina debe tener los siguientes sistemas, cuyas funciones se dan a continuación de manera resumida (Figura 1). Los puntos 1 y 2 señalan el sistema de alimentación, encargado de conducir la mazorca hacia el sistema de corte y entregarla al sistema para desprender la hoja de la mazorca. El punto 3 apunta al sistema de sujeción de la mazorca, que la sujeta por uno de los extremos, para posteriormente hacerla pasar por el sistema de corte. El elemento 4 corresponde a este sistema, que realiza el corte de la mazorca en la parte basal mediante un disco de filo exterior, el cual es accionado mediante un motor eléctrico. La potencia del motor eléctrico del sistema de corte se compone de la potencia consumida para superar la resistencia al corte (N_c) y

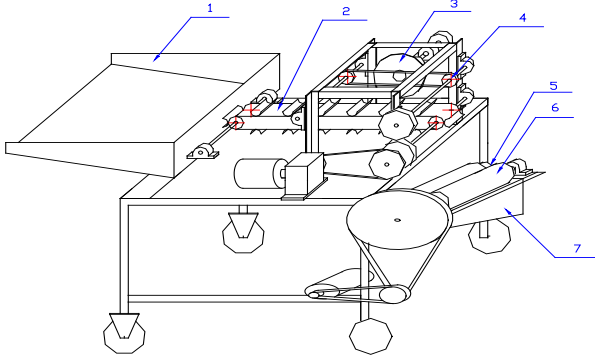


Figura 1. Componentes principales de la deshojadora de mazorca para tamal.

de la potencia gastada para vencer la resistencia a la fricción que surge en los elementos del sistema (N_{roz}) (Ecuación 1):

$$N_{motor} = N_1 + N_{roz} \quad (1)$$

La potencia necesaria para superar la resistencia al corte se indica con la Ecuación (2):

$$N_1 = \frac{\varepsilon \cdot d \cdot b \cdot n \cdot Z}{60} \quad (2)$$

donde ε es energía unitaria de corte ($J \cdot m^{-1}$); Z es número de dientes del disco; n es frecuencia de rotación (rpm); d es diámetro de la mazorca (m); b es espesor del disco de corte (m). La potencia gastada para vencer la resistencia a la fricción que surge en los elementos del sistema (N_{roz}) se determina de acuerdo al diseño detallado de la máquina. Otro parámetro importante es el diámetro (D) del disco de corte (Ecuación 3):

$$D = 2h + d + C \quad (3)$$

donde D es diámetro del disco de corte (mm), h es diámetro de la mazorca (mm), d es diámetro de la pletina de sujeción del disco de corte que adoptó el valor de 64 mm, y C es una constante de proporcionalidad con valor entre 12 y 16 mm.

Los puntos 5, 6 y 7 señalan el sistema de deshojado de la mazorca. Constan de dos rodillos que giran a diferentes velocidades, y mediante la fuerza de fricción separan las hojas de la mazorca de maíz. Para determinar la posibilidad de la separación de las hojas se partió de la teoría de la separación mediante el empleo de rodillos lisos rotatorios (Malishev *et al.*, 1989; Silveira, 1990). El diámetro de los rodillos se determina a partir de la condición de agarre de las mazorcas por rodillos según Silveira (1990) (Ecuación 4):

$$D_r = \frac{h - a}{1 - \sqrt{1 + \tan \varphi}} \quad (4)$$

donde: D_r es diámetro del rodillo (mm), h es diámetro medio de la mazorca (mm), a es espacio o separación entre rodillos, cuyo valor es 2 mm, y φ es ángulo de fricción de la mazorca, que toma el valor de 35° en rodillos con entalladura y 20° en rodillos lisos (Malishev *et al.*, 1989).

Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y en el Laboratorio de Pruebas del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) del INIFAP.

Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de la mazorca de maíz que influyen en el diseño de la máquina: forma, tamaño, peso, volumen y coeficiente de fricción en diferentes superficies, así como resistencia específica de corte, entre otros. Durante las pruebas se utilizó maíz de la variedad Halcón, obtenida con un productor del ejido de Huexotla del municipio de Texcoco, Estado de México, México. La resistencia al corte de la hoja de la mazorca de maíz se determinó mediante un péndulo de Charpy de la marca Mitutoyo, el cual permite determinar la cantidad de energía (trabajo) para la realización de un corte de la mazorca en función del filo de corte de un disco (Shichov, 1973; Ángeles, 1990).

Después del diseño conceptual, de detalle de la máquina y su construcción, se elaboró la metodología de prueba, con base en varios trabajos de investigación para otros cultivos y máquinas agrícolas (Sitkei, 1986; Iglesias *et al.*, 1999; Ochoa *et al.*, 2003). Los principales parámetros para evaluar la calidad de la máquina beneficiadora de maíz son: el porcentaje de hojas separadas o deshojadas, el daño mecánico de la hoja y el porcentaje de grano desgranado de la mazorca.

Para determinar el porcentaje de deshojado de la máquina se seleccionaron 25 muestras, las cuales se introdujeron en un recipiente con agua durante 2 min y posteriormente se dejaron escurrir durante 30 min. Se introdujeron las mazorcas al sistema de corte y posteriormente cayeron al sistema de deshoje. Al final del proceso se contó y pesó el total de hojas en la mazorca y las hojas desprendidas o separadas mecánicamente.

Para determinar el daño mecánico de la hoja por el mecanismo de deshojado, se seleccionaron 25 muestras sin rasgaduras o daños biológicos y se siguió la metodología mencionada anteriormente. Al final del proceso se pesaron las hojas desprendidas y las dañadas mecánicamente, con rajaduras mayores a 10 mm.

Para determinar el porcentaje de grano desgranado por el mecanismo de deshojado, se recolectó el grano separado y se pesó; después se desgranó el resto de la mazorca y se pesó todo el grano. El rendimiento de la máquina se determinó calculando la cantidad de mazorcas a procesar durante el trabajo en una hora.

Para la prueba energética del mecanismo de corte se utilizó un dinamómetro modelo TQR-50 KFT de la marca Nikkei y un

datalogger modelo NR-2000 de 400 kHz marca Keyence, los cuales se montaron al sistema de corte del prototipo (Figura 2), así como un tacómetro digital TMRT 1 de la marca SKF de precisión 0.01 % de medición óptico.

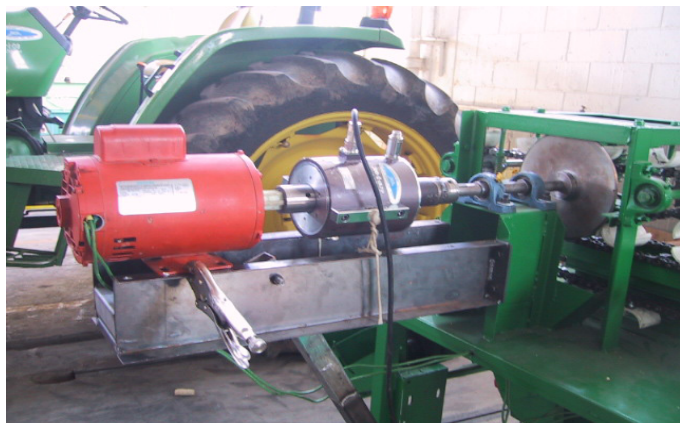


Figura 2. Montaje del dinamómetro al disco de corte y al motor.

El comportamiento de la energía específica de corte de la hoja de maíz en función del ángulo de filo de la cuchilla, se determinó con ayuda del péndulo de Charpy. La prueba se realizó para dos tipos de disco de corte (uno dentado y otro liso) a una velocidad de alimentación de $0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Se calibró un sistema de adquisición de datos de tal manera que se obtuviera una lectura cada centésima de segundo. Se tomaron 4 muestras por cada tratamiento, determinando la energía específica de corte para la mazorca de maíz y torque necesario para un corte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se indican algunas de las propiedades físico-mecánicas determinadas de la mazorca de maíz con hoja, y en la Figura 3 se muestra el comportamiento de la energía específica de corte promedio de la hoja de la mazorca de maíz para diferentes ángulos de filo de las cuchillas para 8 % de contenido de humedad.

Se encontró que con las cuchillas de menor y mayor ángulo de filo se tuvo mayor consumo de energía específica (Figura 3), lo cual está en correspondencia con la literatura y el nivel de conocimientos actuales en la teoría del corte, ya que

Cuadro 1. Propiedades físico-mecánicas de la mazorca de maíz.

Variable	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Humedad (%)	Coeficiente de fricción estático:		Ángulo de reposo a granel (°)
				Con metal	Con hule	
Tamaño de la muestra	100	100	25	100	100	100
Promedio	61.98	253.10	8.23	0.43	0.60	26
Desviación estándar	5.92	21.81	1.77	0.07	0.09	2.4
Coefficiente de variación	0.10	0.09	0.22	0.03	0.04	0.1
Máximo	79.73	316.42	14.29	0.38	0.66	28
Mínimo	50.64	194.18	6.35	0.48	0.54	22
No intervalos	10	10	5	10	10	10
Intervalo	2.909	12.224	1.59	0.1	0.12	0.6

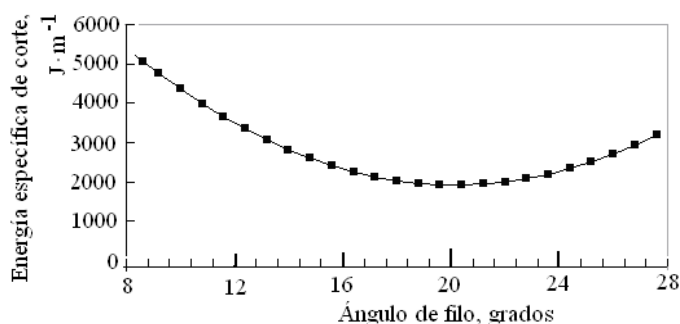


Figura 3. Comportamiento de la energía específica de corte de la hoja de maíz en función del ángulo de filo de la cuchilla.

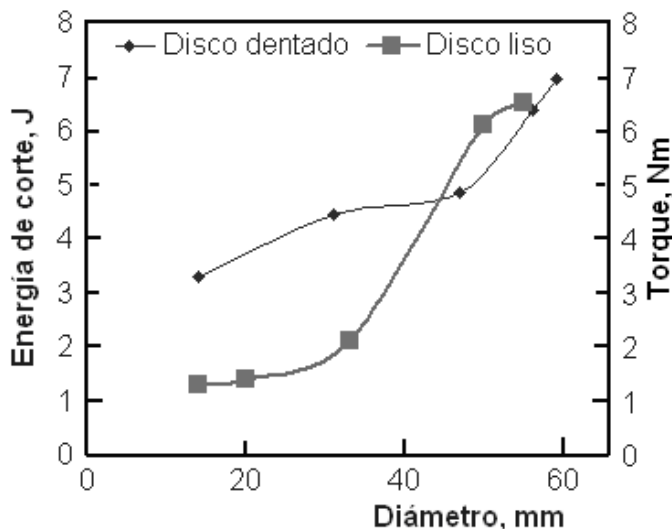


Figura 4. Energía y torque necesario para el corte de la mazorca de maíz en función del diámetro.

un ángulo mayor involucra un efecto de fricción y resistencia a la penetración superior (Sitkei, 1986). Para una cuchilla de 10° de ángulo de filo es de $4.35 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-1}$, para la cuchilla de 23° de ángulo de filo es de $2.10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-1}$ y finalmente para la cuchilla de 26° es de $2.71 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-1}$.

Los resultados obtenidos de acuerdo a las Ecuaciones (1) a (4) y normalizados para el prototipo se muestran en el Cuadro 2. Debido al bajo contenido de humedad de la hoja de la mazorca de maíz se humedeció ésta 30 min antes de realizarse la prueba, para que el daño de la hoja fuera menor. En la Figura 4 se muestra el

Cuadro 2. Parámetros principales de la máquina para deshojar la mazorca de maíz.

Parámetros principales	Sist. de corte	Sist. de alimentación	Sist. de deshojado
Diámetro del disco o rodillo, mm	250	-	125
Velocidad angular, rpm	1 740	8.7	111
Potencia del motor, kW	1.5	0.2	0.2

consumo de energía para el corte de la mazorca de maíz mediante un disco dentado y liso, siendo la velocidad de corte de $22.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la de avance de $33.5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Se encontró que el disco liso consume menos energía que el dentado en aproximadamente 6.5 %. Por otro lado, de las pruebas realizadas se observa que el disco de corte liso realiza un mejor corte de las hojas que el disco dentado, puesto que no las rasga.

El torque que entrega el motor de 1.5 kW a 1760 rpm es de 8.1 N m. De las pruebas realizadas se determinó un par máximo de 6.9 N m para el corte de la mazorca de maíz, por lo que el coeficiente de aprovechamiento de la potencia del motor en el corte es de 86 %, y por lo tanto se concluye que la potencia del motor es la adecuada para el trabajo.

De acuerdo con los requerimientos del diseño conceptual y parámetros principales, se procedió al diseño detallado y construcción del prototipo (Figura 5). Los resultados de evaluación de los mecanismos de corte y de deshojado se muestran en el Cuadro 3 y su comportamiento es avalado por la Figura 6, donde se presentan en (a) el porcentaje de hojas dañadas y en (b) el porcentaje de grano desgranado obteniendo un máximo de 53.35 %, un mínimo de 0 % y una media de 10.94 %.

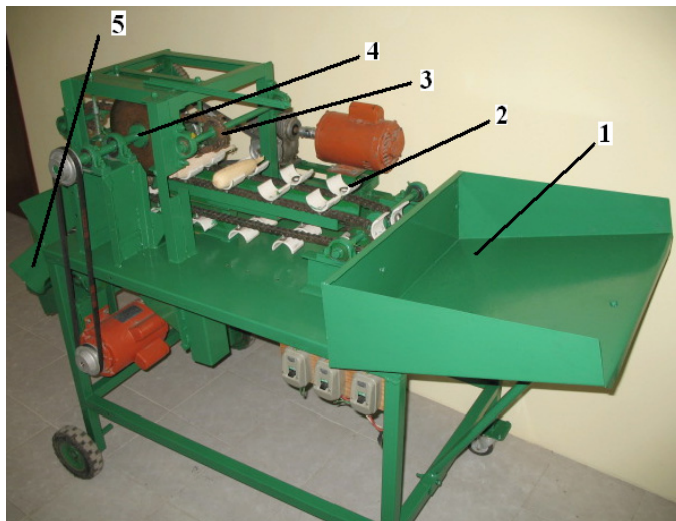


Figura 5. Deshojadora de mazorca para tamal: 1- tolva de alimentación; 2 - sistema de alimentación; 3 - sistema de sujeción de la mazorca; 4 - sistema de corte; 5 - sistema de deshojado de la mazorca.

Cuadro 3. Resultados de pruebas del daño mecánico de la hoja de maíz y de grano desgranado por el mecanismo.

Variable	Daños naturales (%)	Daños de la máquina (%)	Desgranado (%)
Tamaño de la muestra	25	25	25
Promedio	47.45	1.36	10.94
Desviación estándar	7.92	0.89	13.41
Coefficiente de variación	0.17	0.66	1.23
Máximo	63.25	3.41	53.35
Mínimo	28.99	0.12	0.00
No intervalos	5	5	5
Intervalo	6.85	0.66	10.67

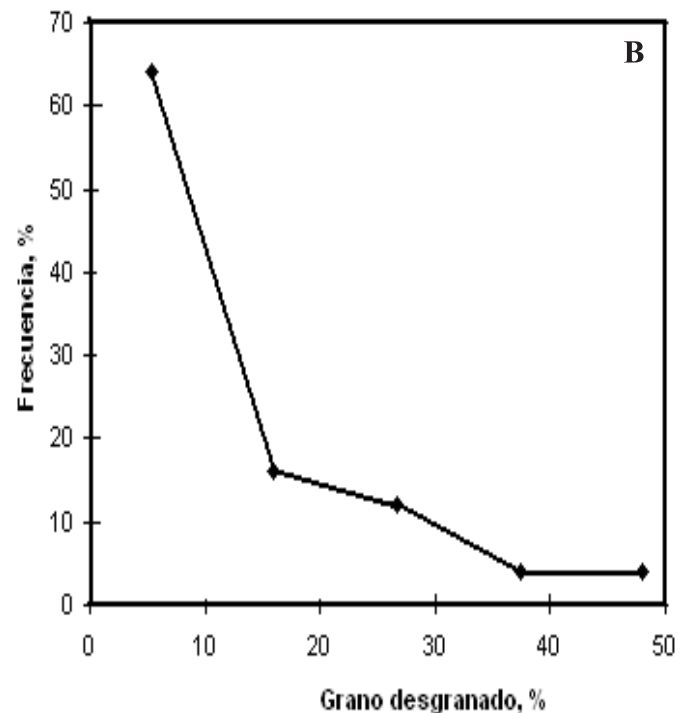
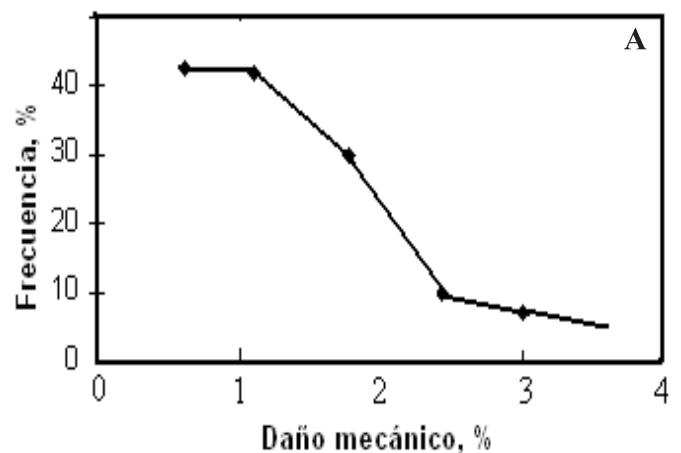


Figura 6. Polígono de frecuencia a) del daño mecánico de la hoja de maíz y b) de grano desgranado (b) por el mecanismo.

Las dimensiones de la mazorca de prueba tienen un diámetro máximo, mínimo y medio de 53.7, 39.69 y 48.28 mm, respectivamente. Las longitudes máxima, mínima y media fueron de 210.05 mm, 142.44 mm y 179.73 mm, respectivamente. De manera general, se observó que el mecanismo de deshojado trabaja bien para mazorcas con longitudes superiores a 160 mm.

De las pruebas realizadas al prototipo se desprendió que la máquina en general cumple con la productividad y la potencia del diseño, aunque el grano desgranado es alto (11 %), debido al bajo contenido de humedad de la mazorca, por lo que se sugiere utilizar mazorcas recién cosechadas con una humedad del 20 % y clasificarlas por tamaños superiores a 160 mm, para obtener mejores resultados al separar la hoja en el mecanismo de deshojado. Por otro lado, se obtuvo durante las pruebas realizadas una productividad de 790 mazorcas por hora, lo que está en correspondencia con los requerimientos del diseño.

CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y probó un prototipo para deshojar la mazorca de maíz, cuyas dimensiones principales son: 2.06 m de longitud, 1.03 m de ancho y 1.33 m de altura. El prototipo cuenta con un motor eléctrico de 1.5 kW para el mecanismo de corte y dos motores de 0.2 kW de potencia para el mecanismo de transporte y el mecanismo de deshojado, respectivamente. Al evaluar el consumo de energía del disco liso y el dentado, se determinó que el disco dentado requiere un 6.5 % más de energía. En lo referente a la calidad de trabajo, el disco liso realiza un mejor corte sin rasgaduras de las hojas, por lo que se recomienda éste para la máquina. La potencia del motor del mecanismo de corte es la adecuada, ya que se aprovecha el 86 % de ésta, quedando una potencia disponible para alguna sobrecarga del 14 %. Se obtuvo un deshojado de las mazorcas de un 95 %, el porcentaje de hoja dañada mecánicamente es de 1.4 %, y el porcentaje de grano desgranado es de 11 %. Al seleccionar las mazorcas por su tamaño y humedecerlas antes de realizar el proceso de deshoje se mejora la calidad del corte y disminuyen las rasgaduras de la hoja de la mazorca. La dimensión de la mazorca para tener buenos resultados debe ser superior a 160 mm y de preferencia

utilizar mazorcas con un contenido de humedad del 20 %, para disminuir el porcentaje de grano desgranado y daño a la hoja de maíz. La beneficiadora de hoja de maíz tiene un rendimiento de 790 mazorcas·h⁻¹, lo cual es superior al que se obtiene de manera manual, de 80 mazorcas h⁻¹, en aproximadamente 10 veces.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Moreno, M. 2007. *Handbook to Life in the Aztec World*. Oxford University Press. US. 464 p.
- Ángeles M. E. A. 1990. Apuntes para las Prácticas de Tecnología de Materiales. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA). 189 p.
- Colegio de Postgraduados. 2006. Producción de Maíz Amarillo para la Industria. Financiera Rural. Primera edición. 150 p.
- Dowswell C. R.; Paliwal R. L.; Cantrell R. P. 1996. *Maize in the Third World*. Ed. Westview Press. U.S.A. 268 p.
- Esteva, Gustavo; Catherine Marielle. 2003. *Sin Maíz no hay País*. Primera edición, Editorial: Conaculta. México.
- Glanze P. 1973. *El Maíz de Grano. Producción Mecanizada de Maíz de Grano en las Regiones Tropicales y Subtropicales*. Ediciones Euroamericanas. República Democrática Alemana. 198 p.
- Iglesias C. C.; Gaytán R. J. G.; Muñoz G. F. 1999. Evaluación y prueba de tractores y máquinas agrícolas. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola – Universidad Agraria de La Habana. México. 485 p.
- Malishev A.; Nikolaiev G.; Shuvalov Y. 1989. *Tecnología de los Metales*. Ed. Pueblo y Educación: Cuba. pp: 258-266.
- Ochoa B. J. G.; Audelo B. M. A.; Torres S. J.; Albarrán M. M.; Jiménez R. R.; Hoyos F. L. G. 2003. *Manual de Procedimientos de Prueba para Desgranadoras de Maíz*. Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola. Chapingo, Méx. 100 p.
- Ortiz C. J.; Hernanz J. L. 1989. *Técnica de la Mecanización Agraria*. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 641 p.
- Pahl G.; Beitz W. 1996. *Engineering Design*. Springer. London, England. 544 p.
- Shichov E. 1973. *Manual de Prácticas de Laboratorio de Máquinas Agrícolas*. Editorial Zemizdat. Sofia Bulgaria. 241 p. (en Ruso).
- Silveira R. J. A. 1990. *Teoría y Cálculo de Máquinas Agrícolas*. Ed. Pueblo y Educación. Cuba. pp: 285-291.
- Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier, New York, USA. pp: 439-457.