

Design of a portable banana fiber extraction machine ^{*}

Luis Ángel Martínez-Cabrera ^{*} Luis Juárez-Ramiro ^{*}

^{*} *Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán/TECNM (e-mail: luis.mc@teziutlan.tecnm.mx, luis.jr@teziutlan.tecnm.mx).*

Abstract: In this paper, we design a portable banana fiber extractor machine. The design is based on national regulations, which lead to restrict the mechanical characteristics. Before manufacturing, we use 3D specialized software to outline a prototype. To ensure a rigid structure, a finite element analysis (FEA) is performed in accordance with the American Society for testing and materials (ASTM). With the aim of improving fiber quality, we also design an electronic circuit for controlling motor speed. Finally, we construct the machine and test according the design parameters.

Keywords: Agriculture, machine, ecology, control applications, environment.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, la fibra natural ha jugado un papel importante en el desarrollo del ser humano, algunas aplicaciones incluyen su uso como materia prima para la fabricación de prendas textiles, accesorios y objetos rústicos. Además, diversos métodos han sido utilizados para su extracción (Abad et al., 2012), (Mwaikambo, 2006).

La fibra se puede dividir en dos categorías, natural derivada de plantas y animales y química extraída de polímeros naturales o sintéticos (Chen et al., 1998).

En (Hongxin, 2018) se propone un método de extracción de fibra de bambú mediante corte torsional. Los experimentos establecen una relación entre el ángulo de torsión, el par, el espesor de la pared de bambú, el radio y la longitud del bambú. Los resultados muestran que si es factible extraer la fibra al torcer y cortar el bambú. En (Naik et al., 2014) se extrae fibra de un género de plantas con flores de la familia de las palmeras, se diseña una máquina descortezadora utilizando un motor trifásico y un mecanismo con hojas de corte circular protegido por una cubierta, el eje del mecanismo esta acoplado al motor. La fibra derivada de los tallos de plátano puede ser obtenida aplicando distintos métodos de extracción. Entre los principales se encuentran la técnica de decorticación física, química (hidróxido de sodio) y el método de enzimático biológico. Sin embargo cada uno de los métodos tiene sus ventajas y desventajas. La extracción mecánica proporciona fibras más gruesas con tenacidad moderada, la química fibras más delgadas con menor tenacidad y la extracción biológica resulta en mayor tenacidad (Mumthas et al., 2019).

Una revisión del estado del arte en máquinas desfibradoras de tallo de plátano se muestra en (Vadivel et al., 2017). En éste trabajo se concluye que la máquina de rodillo giratorio muestra los mejores resultados, el diseño considera la posición del operario y el funcionamiento opera mediante

cuatro cuchillas unidas a un rodillo giratorio más dos rodillos estacionarios para triturar y evitar la formación de nudos y la rotura de fibras. En general es un diseño simple que requiere trabajo de un operario bien capacitado.

En este proyecto se propone el diseño de una máquina desfibradora de tallo de plátano. La parte central de corte es del tipo giratorio, a diferencia de las ya propuestas, se elige un diseño más completo ajustable y resistente. El trabajo se presenta de la siguiente forma: la Sección 2 muestra conceptos preliminares necesarios para el desarrollo del proyecto. La Sección 3 incluye la metodología utilizada. El desarrollo del proyecto es descrito en la Sección 4. La Sección 5 es dedicada al análisis estructural. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

2. PRELIMINARES

La máquina extractora de fibra de plátano es un dispositivo compuesto por piezas mecánicas y eléctricas. La función principal la realiza un motor eléctrico controlado por interruptores mecánicos. La Sociedad Americana para prueba de materiales (ASTM) emite normas para los materiales comerciales implementados en diseño. A continuación se muestran un par de fórmulas eléctricas que son necesarias para desarrollar el proyecto, la definición de análisis de elemento finito y las normas que deben cumplir los materiales para la fabricación del prototipo.

2.1 Cálculos eléctricos

Cálculo de las revoluciones del motor monofásico. Las revoluciones por minuto (RPM) de un motor monofásico se calculan utilizando la siguiente fórmula (Chapman, 2012).

$$RPM = \frac{120 * f}{p} \quad (1)$$

donde:

f = frecuencia de la fuente de alimentación en Hertz (Hz).

^{*} Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México
<https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.081>

p = número de polos del motor.

Cálculo de los caballos de fuerza (HP) de un motor monofásico. Se utiliza la siguiente fórmula (Chapman, 2012).

$$HP = \frac{V * I * \eta}{746} \quad (2)$$

donde:

V = tensión nominal del motor en voltios.

I = corriente nominal del motor en amperios.

η = factor de eficiencia del motor (generalmente se proporciona en la placa de características eléctricas del motor).

2.2 Cálculos mecánicos

El análisis de elemento finito (FEA) es una metodología que ayuda a predecir como reacciona una estructura ante fuerzas, vibración, calor y flujo de fluidos (Zienkiewicz and Taylor, 2005). Su objetivo es definir hasta que punto un objeto se romperá o desgastará. Una de las aplicaciones de esta técnica es el desarrollo de productos y prototipos. Por lo general, existe software especializado para realizar el análisis como *SolidWorks*, por mencionar alguno.

2.3 Normativa ASTM

La Sociedad Americana para pruebas y materiales, emite normas que deben cumplir los materiales comerciales que son sujetos a carga o esfuerzo. A continuación se mencionan algunas de ellas.

ASTM D3039: Tracción de materiales.

ASTM D5766: Resistencia a la tracción.

ASTM D256: Resistencia al impacto del péndulo.

ASTM D1184: Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión de ensamblajes laminados.

ASTM E190: Prueba de doblez guiado para la ductibilidad de las soldaduras.

ASTM E9: Prueba de compresión de materiales metálicos.

ASTM E466-07: Método de prueba estándar para la fatiga axial de amplitud constante controlada por la fuerza para materiales metálicos.

ASTM A370: Pruebas mecánicas de productos de acero-Tensión de alambre redondo.

3. METODOLOGÍA

La extracción de fibra de plátano es un proceso delicado que usualmente se realiza a mano. Observando se documentan las etapas de extracción manual para posteriormente realizar el diseño de la máquina extractora de fibra de plátano. Se propone un diseño portable para mayor versatilidad de uso.

3.1 Extracción manual de la fibra de plátano

El proceso de extracción de la fibra de plátano requiere retirar el agua, la pulpa y las cáscaras del tallo del árbol. Por lo general, este proceso se realiza a mano frotando las vainas mediante un raspador de metal para separar la fibra. Por lo general, se extraen unos 500 mg por vaina. El trabajo realizado es complicado y cansado con muy poco

resultado a cambio. Además, el proceso se debe realizar con precisión y mediante cuchillas adecuadas para elevar la calidad de la fibra obtenida.

3.2 Requisitos de diseño

Durante el diseño y construcción del prototipo, se utiliza el ciclo de Deming o mejor conocido como PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). El ciclo PDCA se utiliza para mejorar de manera continua el prototipo. Este ciclo es conocido desde hace aproximadamente un siglo y es ampliamente utilizado en una gran variedad de procesos (Deming, 1982).

Características mecánicas. Antes de iniciar el diseño virtual se describen los requerimientos mecánicos. La construcción del chasis de la máquina debe soportar las cargas de los elementos mecánicos y eléctricos, así como las vibraciones generadas al rotar el motor durante el funcionamiento.

La extracción de la fibra de plátano requiere un sistema de desgaste mediante cuchillas accionado por medio de un motor eléctrico monofásico. El sistema de desgaste puede ser de rodillos, de compactación o rotatorio con ángulos de metal. Se requiere un sistema de transmisión entre el sistema de desgaste y el motor. La máquina debe contar con protección de lámina donde sea necesario para evitar que la fibra salga al exterior, así como evitar que el operario quede atrapado en partes móviles. Finalmente, el sistema debe ser portable con ruedas y tubos de agarre para fácil transporte y movimiento.

Características eléctricas. El sistema eléctrico es el encargado de dar energía y movimiento al dispositivo. Se requieren las piezas siguientes.

Motor eléctrico monofásico que funciona mediante el principio de atracción y repulsión entre un imán y un núcleo magnético.

Contactor trifásico, dispositivo eléctrico utilizado para proteger contra sobrecorrientes.

Interruptor termomagnético, para proteger el sistema eléctrico contra cortocircuitos.

Botoneras, cuentan con un sistema de relés y luces indicadoras, para utilizarse en acción de arranque y paro.

3.3 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación incluye las siguientes etapas: 1. Diseño virtual en tres dimensiones en el software *SolidWorks*.

2. Construcción de la estructura mecánica.

3. Selección e instalación de dispositivos eléctricos.

4. Análisis estructural.

5. Pruebas de funcionamiento.

4. DESARROLLO

Hoy en día existen varios programas computacionales que permiten realizar diseño y animación en tres dimensiones. En este proyecto se utiliza *SolidWorks*, que además de incluir las herramientas de diseño necesarias para el proyecto, cuenta con funciones de análisis estructural como el método FEA.

4.2 Construcción de la estructura mecánica

La estructura se construye de acuerdo al diseño propuesto con el tubo y la lámina elegida, la Figura 5 muestra el resultado del ensamble. Se utilizan once tubos cuadrados de 19 mm. Se colocan patas traseras de lámina cuadrada de 70 mm para soporte y agarre durante el funcionamiento.

La parte central del dispositivo es el sistema que se va encargar de extraer la fibra. Se proponen tres sistemas de corte y desgaste, un sistema de rodillos utilizado para la extracción de jugo, pero al analizarlos se observa que solo extrae agua y no desgasta el tallo, por lo que no es indicado para el proceso planteado. El segundo sistema es el de compactación con triturado, éste extrae agua pero no retira la pulpa y dificulta la obtención de fibras largas. Como resultado, se elige el sistema compuesto por un tambor rotatorio que gira mediante el movimiento transmitido por una banda y dos poleas de aluminio una de ellas conectada a un motor monofásico. En la Figura 6 se muestra la construcción del sistema de ajuste de la banda.

El diseño del tambor rotatorio es de forma cilíndrica compuesto de 8 piezas de ángulo ligero de corte de 1/8 de 37 cm de largo sujetas a dos discos en los extremos, este diseño es más efectivo al momento de la extracción de la fibra de plátano porque es menos agresivo y más preciso que otros sistemas de corte o desgaste, ver Figura 7.

4.3 Implementación del sistema eléctrico

El motor es la parte principal de la máquina, se selecciona un motor monofásico de 120 Vac, Figura 8. Las revoluciones por minuto (RPM) se calculan utilizando la ecuación (1). De acuerdo a la placa que indica los parámetros eléctricos del motor, se tiene que la tensión nominal es de 127 V, la corriente nominal es de 8 A y el factor de eficiencia es de 0.42. Con esta información se procede a determinar las revoluciones y la potencia máxima del motor.

$$RPM = (120 * 60) / 4 = 1800$$

Los caballos de fuerza (HP) se determinan mediante la ecuación (2), como sigue.

$$HP = (127 * 8 * 0.42) / 746 = 0.573$$



Fig. 5. Estructura física de la máquina extractora. Fuente: elaboración propia.

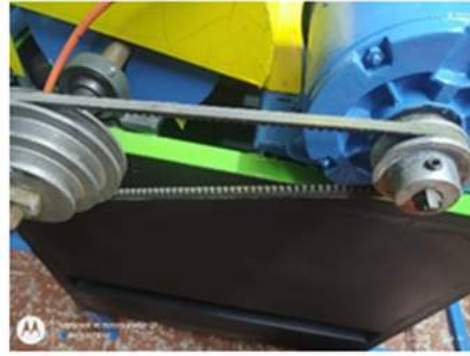


Fig. 6. Sistema de ajuste de poleas. Fuente: elaboración propia.



Fig. 7. Tambor giratorio para el desgaste de fibra. Fuente: elaboración propia.



Fig. 8. Motor monofásico 120 Vac. Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento de la máquina extractora consiste en accionar el tambor de metal de corte antes de iniciar la extracción de fibra. El tambor gira con precisión y realiza la tarea de extraer la fibra de plátano. La entrada para insertar la fibra tiene una separación de un centímetro y es ajustable. Como se describió anteriormente, es una operación sencilla, por lo que se requiere solo una botonera de arranque y paro. La protección del sistema eléctrico incluye un interruptor termomagnético que se activa en caso de cortocircuitos, protegiendo las conexiones de daños graves causados por corrientes eléctricas altas. Los enclavamientos de los botones de arranque y paro se realizan mediante un contactor de tres polos y dos posiciones de



Fig. 9. Conexiones eléctricas. Fuente: elaboración propia.



Fig. 10. Máquina extractora terminada. Fuente: elaboración propia.

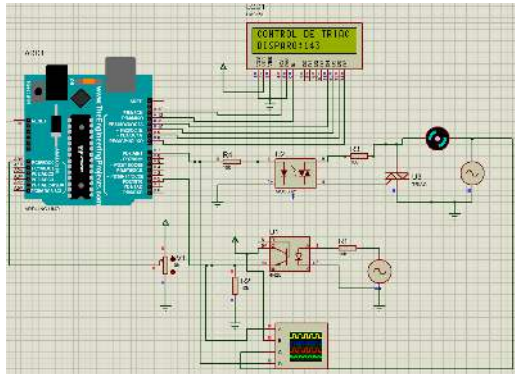


Fig. 11. Sistema de control de velocidad. Fuente: elaboración propia.

110-220 V. En la Figura 9 se muestra el momento cuando se realizan las conexiones del contactor y el motor. Finalmente, en la Figura 10 se muestra la máquina completa.

Control de velocidad El motor de AC es controlado mediante una etapa de potencia, utilizando triac, optoacoplador, detector de cruce por cero y circuitos integrados varios. El objetivo es controlar el paso de la energía en su totalidad. Esta etapa de control es equivalente al control de flujo de una llave de agua, solo que en éste caso se controla el paso de la corriente eléctrica. La Figura 11 muestra el diseño del circuito. La extracción de la fibra y su calidad está relacionada con las revoluciones por minuto (RPM) de la máquina, algunos parámetros importantes a considerar son: la longitud de la fibra, la calidad de la fibra y las condiciones de extracción.

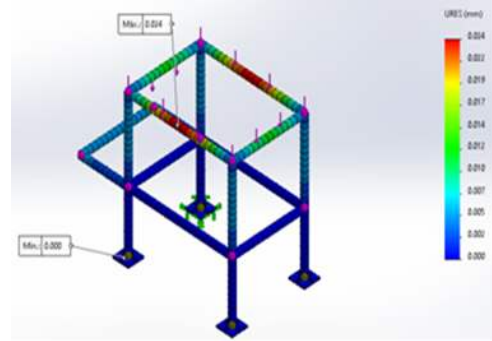


Fig. 12. Puntos de mayor carga en el chasis. Fuente: elaboración propia.

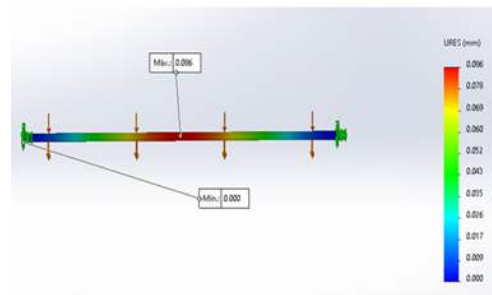


Fig. 13. Cargas de compresión en el eje rotatorio. Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora (CAD), una de sus herramientas permite realizar análisis estructural ante diversas condiciones de carga como fuerzas, temperaturas, vibraciones y presiones.

Inicialmente se determina el peso del motor, chumaceras, lámina de protección entre otras piezas que carga la estructura a un valor menor de $(30 \text{ kg}) * (9.8 \text{ m/s}^2) = 294 \text{ N}$. Los resultados de la Figura 12 muestran una pequeña deformación en la parte media de la estructura, esto debido a un corte para desplazar y tensar la banda. Con estos hallazgos, se toma la acción de reducir el peso de las protecciones del tambor, reduciendo considerablemente la deformación.

En la Figura 13, se muestra el eje rotatorio del tambor, su peso es de aproximadamente $(7 \text{ kg}) * (9.8 \text{ m/s}^2) = 68.6 \text{ N}$, se considera como una fijación estática debido a que el eje está sujeto a chumaceras. La simulación arroja una deformación de 0.086, por lo que no se considera que afecte el funcionamiento de la máquina. Igualmente se analiza el eje de las llantas, resultando en una deformación de 2.24 mm, sin embargo los dos soportes delanteros de la estructura aportan al soporte de la carga total.

Finalmente se analiza el máximo esfuerzo del tambor rotativo que esta en contacto con el tallo del árbol de plátano y se encarga de desfibrar. También, en la Figura 13 se observa que el máximo esfuerzo se encuentra en los extremos y al contacto con la fibra se genera un esfuerzo en la parte central, por esta razón el eje se encuentra en equilibrio mecánico, evitando la generación de oscilaciones mecánicas al momento de operar.

La Tabla 1 muestra un resumen de las pruebas FEA real-



Fig. 14. Pruebas de funcionamiento de extracción de fibra.
Fuente: elaboración propia.

Table 1. Resumen de pruebas FEA bajo la norma ASTM.

Estructura	Norma	Escala Von Mises	Condición
Compresión vertical del chasis	ASTM E9 ASTM E466-07	0 A 2.525	Aceptable
Puntos de mayor carga chasis	ASTM A370	0 A 0.024	Aceptable
Compresión vertical eje rotatorio	ASTM A370 ASTM D5766	32664.266 A 23765662	Mínimo requerido
Puntos de flexión eje rotatorio	ASTM D1184	0 A 0.086	Aceptable
Eje de llantas	ASTM D1184	0 a 2.241	Mínimo requerido
Ángulo del tambor rotatorio	ASTME190	-0.561 a 0.657	Aceptable
Tambor rotatorio	ASTM E190	0 a 0.001	Óptimo

izadas a la máquina en puntos de mayor carga o esfuerzo de acuerdo a la ASTM.

5.1 Prueba de funcionamiento

Las variables a medir son: las RPM de la máquina (500-1500), la longitud de la fibra en centímetros (0-80 cm) y la calidad de la fibra (baja, media y alta), ver Tabla 2. Se realizan cien pruebas de funcionamiento donde se observa que el proceso de extracción se ejecuta con precisión, cuidando la integridad de las fibras obtenidas, ver Figura 14. El control de velocidad permite ajustar el proceso de desfibrado, dando como resultado fibras más largas y completas, Tabla 2.

6. CONCLUSION

La máquina construida cumple con la funcionalidad planteada, realiza la extracción de fibra de manera correcta. El análisis estructural para cuidar la integridad del dispositivo se realiza de acuerdo a las normas ASTM. Se recomienda capacitación para el operador de la máquina para operar de manera segura. Ésta máquina se puede utilizar incluso para desfibrar otros materiales como la hoja de maguay.

Table 2. Efecto del control de velocidad en la extracción de la fibra de platano.

RPM de la máquina	Longitud de la fibra (cm)	Calidad de la fibra	Observaciones
500-700	50-80	Alta	Fibra larga, alta resistencia, adecuada para textiles
700-900	30-50	Media-Alta	Fibra de buena calidad, versátil, uso en papel y textiles
900-1100	20-30	Media	Fibra corta, uso en papel y productos artesanales
1100-1300	10-20	Baja-Media	Fibra corta, menor resistencia, adecuada para papel
1300-1500	<10	Baja	Fibra muy corta, uso limitado, posible daño a la fibra

ACKNOWLEDGEMENTS

Agradecimientos al TECNM Tecnológico Nacional de México, proyecto 16728.23-PD y al CONAHCYT estímulo CVU 552811.

REFERENCES

- Abad, K., Mogrovejo, X., and Rojas, F. (2012). *Experimentación y posibles aplicaciones de la fibra de banano al campo textil*. B.S. thesis, Universidad del Azuay.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill.
- Chen, X., Guo, Q., and Mi, Y. (1998). Bamboo fiber-reinforced polypropylene composites: A study of the mechanical properties. *Journal of applied polymer science*, 69(10), 1891–1899.
- Deming, W.E. (1982). *Quality, productivity, and competitive position*.
- Hongxin, S. (2018). Application of fiber splitting machinery in natural fiber extraction. In *2018 International Conference on Smart Grid and Electrical Automation (ICSGEA)*, 85–88. doi:10.1109/ICSGEA.2018.00028.
- Mumthas, I., Wickramasinghe, D., and Gunasekera, U. (2019). Investigation of physical properties of banana fiber extracted from ambun (aaa) cultivar. In *2019 Moratuwa Engineering Research Conference*, 716–721. doi:10.1109/MERCon.2019.8818926.
- Mwaikambo, L. (2006). Review of the history, properties and application of plant fibres. *African Journal of Science and Technology*, 7(2), 121.
- Naik, K., Swamy, R., and Naik, P. (2014). Design and fabrication of areca fiber extraction machine. *International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering*, 4(7), 860–866.
- Vadivel, K., Vijayakumar, A., Solomon, S., and Santhoshkumar, R. (2017). A review paper on design and fabrication of banana fiber extraction machine and evaluation of banana fiber properties. *International Journal of Advanced Research In Electrical, Electronics And Instrumentation Engineering*, 63–3.
- Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L. (2005). *The finite element method set*. Elsevier.