Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Modelado, impresión y control para un prototipo de molienda del bagazo de caña

Modeling, printing and control for a sugarcane bagasse milling prototype

Godínez-Medina, S.A., Méndez-Castillo, C.A., Michel, L.R., Lua-Madrigal, O.

Departamento de eléctrica y electrónica; Tecnológico Nacional de México campus Colima; C.P. 28976 Villa de Álvarez, Colima.
18460312@colima.tecnm.mx; 18460075@colima.tecnm.mx; 18460229@colima.tecnm.mx; olimpo.lua@colima.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Método de diseño y construcción de un prototipo para la molienda del bagazo de caña.

Área de aplicación industrial: Reutilización de recursos biodegradables en industrias azucareras o afines.

Recibido:08 julio 2021
Aceptado: 04 abril 2022

Abstract

Reuse is an issue that must be taken with greater focus nowadays, not only for the purpose of reducing costs, but also for the wellness of the environment and the improvement of the quality of life in Mexico. Because of this, we are developing a prototype with the ability to present a method for the processing of sugarcane bagasse, the design of the milling was created with the help of a high-level computer program, so later on we generate realistic simulations. With the designs and the help of a 3D printer that uses PLA filament, the parts were printed for their physical assemble; finally, a control system programmed with C language and the microcontroller PIC16F877A was developed to manipulate the changes in the movement of the milling in order to demonstrate the operations.

Keywords: Sugarcane bagasse, waste, PLA, programming, reuse.

Resumen

La reutilización es un tema que en la actualidad se le debe tomar con mayor enfoque, no sólo por el hecho de reducir gastos, sino por aspectos ambientales y la mejora de la calidad de vida en México, por esta razón se trabajó en un prototipo con la capacidad de presentar un posible método para el procesamiento de los desechos de la caña de azúcar, para esto se realizó como primer trabajo el diseño del molino con ayuda de un programa de computadora de alto nivel, para después generar simulaciones de funcionamiento. Con los diseños y con ayuda de una impresora 3D y utilizando filamento tipo PLA, se realizó la impresión de piezas para su unión en físico; por último, se creó un sistema de control con programación en lenguaje C y utilizando el microcontrolador PIC16F877A para manipular los cambios en el movimiento del molino, demostrando así su adecuado funcionamiento.

Palabras clave: Bagazo de caña, desecho, PLA, programación, reutilización.

I. Introducción

Como es sabido, la reutilización de desechos es un pilar de la sustentabilidad, ya que ofrece una segunda utilización a una gran cantidad de materiales o subproductos, esto actualmente se ha convertido en una necesidad, pues las cantidades de desechos de origen orgánico e inorgánico que se generan diariamente, superan la capacidad de procesamiento [1]. A raíz de ello surge esta investigación que propone un prototipo con el cual se pueda aportar una innovación a este problema. Esta propuesta consiste en un nuevo molino para el procesamiento de bagazo de caña de azúcar, subproducto que emana en gran cantidad por las industrias azucareras, los cuales en su gran mayoría lo utilizan como combustible para el mismo proceso, siendo este un contaminante atmosférico afectando la calidad del aire, sin embargo muy pocas empresas aplican el proceso de reutilización de bagazo por los costos elevados del equipo para su procesamiento; siendo que este sub producto puede convertirse en un material valioso y generar ingresos al ser pulverizado al tamaño de una fibra muy fina; de esta manera, el material puede ser destinado a diversas áreas de utilidad, sustituyendo productos que actualmente son considerados dañinos para el medio ambiente por su único uso y su tiempo de descomposición prolongado, ejemplo de esto son los utensilios de poliestireno expandido (unicel), por lo que una opción basada en el bagazo de caña se considera una alternativa viable y mejorada [2], por otro lado, también puede ser destinado como material de primera calidad en otras áreas como la construcción, producción pecuaria, textil, química, servicios y en gran medida en la industria del papel, ya que los niveles de celulosa con los que el bagazo cuenta es similar a los materiales derivados de la madera [3].

Cuando se considera realizar innovaciones para mejorar procesos, en este caso con molinos de procesamiento de bagazo de caña de azúcar, se debe considerar las características de cada uno de los modelos ya existentes, para que de esta manera, se puedan realizar mejoras en el equipo y en el proceso; por esta razón, tras considerar los requerimientos para el prototipo, se eligió por el diseño del molino de martillos, pues su estructura y modo de trabajo, son los más adecuados para la molienda del bagazo, de modo que se puede obtener un producto con las características necesarias, al ser eficaz

para trabajos donde se requiere resultados finos [4]. Basados en este planteamiento se desarrolló el prototipo con dichas especificaciones.

El prototipo que se presenta, es una versión escalada de lo que podría ser un molino funcional y eficiente destinado al proceso del bagazo de caña. El prototipo se realizó con la ayuda de una serie de características especiales que van desde el diseño en computadora, hasta parámetros de impresión necesaria para su presentación física demostrativa y funcional; siendo así el primer paso para el desarrollo real del mismo.

Un aspecto primordial para el diseño y creación de prototipos como idea innovadora, es iniciar con el dibujo y modelado del prototipo, después con la impresión en 3D y posteriormente realizar la parte de control electro-mecánico. La creación de prototipos presenta una integración con casi todo el desarrollo de productos, servicios y sistemas en donde es muy factible utilizar lenguajes de programación simplificados al emplear entornos de simulación que favorezcan la creación de un modelo [5] [6].

II. Materiales y equipo

Al iniciar con la investigación del proyecto, se carecía del conocimiento de las características y funciones que debería tener un sistema de molienda en general, por esta razón, se realizó una búsqueda en fuentes de información para obtener una idea clara y general de la apariencia física de estos sistemas y su funcionamiento; además no solo se realizó la investigación dirigida a la molienda del bagazo de caña, si no que se consideraron otros tipos de materiales similares.

Entre los sistemas similares encontrados se presenta un molino de martillo para triturar granos, en el cual se presenta el diseño y las características que se requieren para el procesamiento de granos y semillas [4] [7]. Por otro lado se encuentra un molino triturador para el reciclaje de madera, donde el material para procesar es incluso más duro del que se espera diseñar, mostrándonos la robustez y potencia que debe tener este tipo de maquinaria [8]; enfocándose en mayor medida al procesamiento de minerales, al requerirse una mayor fuerza, su funcionamiento se basa en un motor de 1 HP que trasmitirá el movimiento por poleas y bandas para así triturar el material [9]. Mientras tanto, para un diseño más orientado al material planeado, se encuentra un prototipo para la molienda de cebolla [10]. Esta información se tomó en cuenta para la creación del diseño del presente prototipo, considerándose plantear un triturador tipo martillo, el cual sería impulsado por poleas y bandas cuyo movimiento sería generado por un motor a pasos bipolar. Las características que presenta el diseño del triturador de martillos, son suficiente para lograr el objetivo, mencionando que su eficiencia aumentara por lo que requerirá menor potencia y consumo de energía mientras se esté suministrando la cantidad adecuada de material a procesar [11].

Para realizar los diseños a computadora, se necesitó de un programa especializado para elaborar las piezas y simulaciones necesarias, por lo que se realizó un listado de programas que cumplieran con estos requerimientos [12]. Tras analizar las diversas opciones, el programa más adecuado fue SolidWorks^{MR}.

Con el objetivo de conocer el material adecuado y sus parámetros estándar para el proceso de impresión de las partes del prototipo, se realizaron consultas donde se comparan los diferentes tipos de filamentos [13], además con el objetivo de conocer los métodos para lograr una impresión 3D

superior, se observaron parámetros estándar mayormente utilizados [14]. Con esta información reunida se optó por la utilización de filamento PLA por sus propiedades y recomendaciones observadas.

Se utilizó un motor bipolar debido al poder de torque y fácil control [15] además del cableado, leds, botones para el control del movimiento y estados de funcionamiento.

III. Métodos experimentales

- **Diseño**

Partiendo del desarrollo de un prototipo se requiere de una minuciosa planeación, específicamente más si se trata del diseño, por lo que el primer paso fue el desarrollo del prototipo en un boceto a mano tomando en cuenta las características generales de un molino de martillos y su funcionamiento básico [7]. Además, se concreta un diseño general para la distribución de las piezas y las poleas [8].

Tomando en cuenta el boceto, se logró formalizar un diseño inicial, el cual posteriormente se llevó a un ambiente virtual dentro del programa elegido, donde se diseñaron y unieron las nueve piezas fundamentales, entre estas, las más destacables son el sistema de molienda presentado en la Figura 1.

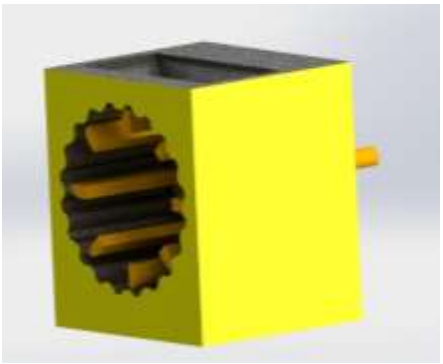


Figura 1. Molino del prototipo.

El cuerpo del molino presentado en la Figura 2, fue la base fundamental del prototipo donde se colocaron todos los elementos y sirvió de protección para los mismos, por ejemplo: motor, poleas y banda.



Figura 2. Cuerpo del prototipo.

Se decidió por diseño sencillo, con el objetivo de un fácil desarrollo de piezas, pero de una manera eficiente, además que permite el espacio suficiente para la ventilación y el acomodo ergonómico de los elementos.

Partiendo de estas piezas principales, y pasando al ensamble virtual, se observó que se debieron diseñar piezas complementarias para la buena simulación del mismo, para esto se adicionaron tornillos, pernos y bisagras con el propósito de crear un modelo lo más realista posible, como se presenta en la Figura 3, mostrando un explosionado de todos los elementos utilizados.



Figura 3. Explosionado de piezas totales.

En general el listado de piezas que se utilizaron a lo largo de todo el diseño está indicado en la Tabla 1.

Tabla 1. Lista de materiales utilizados.

Material	Cantidad
Pernos	x4
Tornillos	x16
Motor	x1
Tolva	x1
Soporte del cuerpo	x1
Cuerpo	x1
Puerta /salida	x1
Base del molino	x1
Molino de martillos	x1
Puerta	x1
Poleas	x2
Banda	x1

Las dimensiones con las cuales se creó el diseño fueron pensadas para un sistema real y funcional, por lo que las medidas de alto, ancho y largo total son de 64 x 26 x 36 pulgadas como se presenta en la Figura 4.

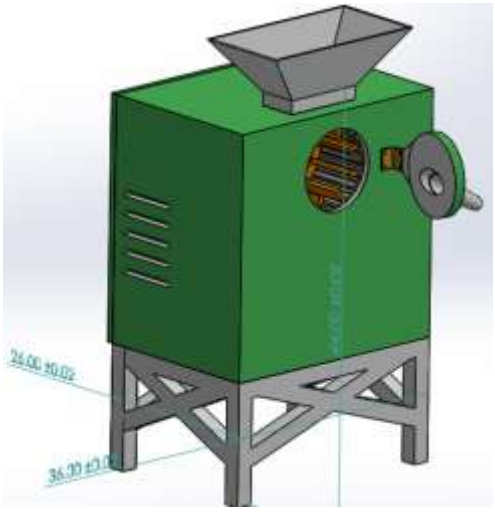


Figura 4. Medidas reales del diseño en pulgadas

Una de las funciones con las que cuenta el software, es la posibilidad de simular el movimeinto esperado, por esta misma razon se realizaron diversas simulaciones de funcionamiento donde se le implemento una funcion de movimiento rotatorio al motor que proporciona la transmisión hacia las poleas, esto mediante puntos de tiempo en la barra inferior que se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Simulación de movimiento.

Con todas las piezas reunidas para el desarrollo del prototipo funcional y demostrativo, estas fueron escaladas a una relacion de 1:0.15 por lo que todo el sistema se redujo con el objetvo de utilizar la impresión 3D como medio de desarrollo del prototipo, obteniendo la comparación de tamaños entre el modelo original y el prototipo en la Figura 6.



Figura 6. Comparación de tamaños.

- **Parámetros y configuraciones de impresión**

El PLA será utilizado por sus buenas propiedades y fácil procesamiento, debido a su amplia gama de aplicaciones tanto en la industria como en productos básicos: materiales de embalaje, envases desechables

y PLA en fibras [13]. Además, consultando al personal educativo del Instituto Tecnológico de Colima encargado de las impresoras 3D, confinando así el buen manejo que tiene este material.

El PLA es un termoplástico biodegradable y puede ser procesado para convertirse en material compuesto. Su monómero, ácido láctico, se deriva de fuentes vegetales renovables, como el almidón y el azúcar. Puede ser degradado en dióxido de carbono y agua por la acción de hongos adecuados. La ventaja de este material es que se puede utilizar en impresión 3D fácilmente, que permite una alta calidad de impresión, incluso en detalles difíciles y una excelente laminación de objetos impresos [13].

Una vez conociendo las características del PLA, se procedió a encontrar los parámetros necesarios; señalando que no es mecánicamente tan resistente como el ABS, pero es más fácil de manipular al enfriarse y se endurece con gran rapidez. Se puede encontrar en gran variedad de colores opacos y transparentes. Por otra parte, es necesario señalar que la temperatura se debe configurar entre 180 y 220 °C, y la temperatura de la cama debe ser 60 °C sin importar la variedad de PLA empleado [14].

Tabla 2. Parámetros estándar.

Propiedades	Valor
Densidad	$1.24\ g/cm^3$
Temperatura de fusión	$145 - 160\ °C$
Alargamiento a la rotura	$100 - 160\%$
Conductividad térmica	$0.25\ W/mK$
Módulo de tracción	$3.31 - 3.86\ Gpa$
Resistencia a la tracción	$110 - 145\ Mpa$
Temperatura de transición	$55 - 60\ °C$
Temperatura de impresión	$170 - 220\ °C$

Tomando en cuenta los parámetros base, se comenzó con las pruebas para observar los resultados, por lo que fue necesario un programa para comunicarnos con las impresoras 3D, por ello se utilizó el programa ULTIMAKER CURA^{MR} que se presenta en la Figura 7.

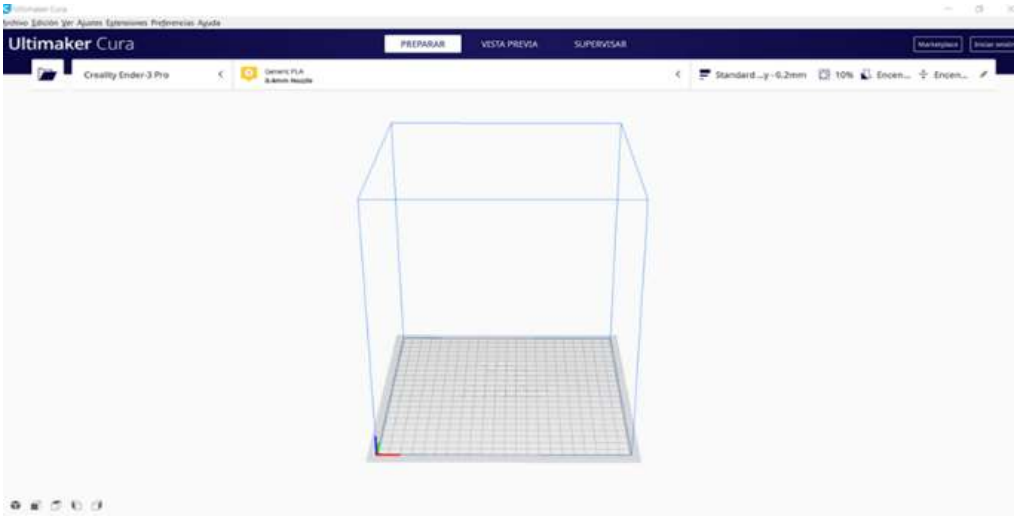


Figura 7. Software ULTIMAKER CURA^{MR}.

Este programa es un rebanador o Slicer gratuito cuya función es trasformar el fichero en formato STL del modelo tridimensional en código G interpretable por la impresora. El proceso consistió en seccionar el objeto que se desea imprimir en múltiples capas en el eje Z. En este programa permite modificar una enorme cantidad de parámetros de

impresión [14].

Tabla 3. Parámetros a considerar.

Altura de capa	Ancho de pared
Densidad de relleno	Patrón de impresión
Temperatura de impresión	Habilitar retracción
Velocidad de impresión	Tipo de adhesión a la base

A su vez se utilizó un diseño simple como primera prueba de impresión para comprobar los parámetros, debido a que al ser la primera vez utilizando este tipo de filamento (PLA color gris) se evaluó las temperaturas y avances requeridos, pues las recomendadas no mostraban los resultados esperados, a lo cual se invirtió tiempo para definir los parámetros que eran necesarios. En Tabla 4 se presentan los parámetros finales de impresión.

Tabla 4. Parámetros finales de impresión.

Calidad (altura de capa): 0.2 mm	Grueso de pared: 0.8 mm Líneas por pared: 4
Grueso superior/inferior: 0.8 mm	Relleno: 10%
Temperatura de impresión: 223 °C	Velocidad de impresión: 54 m/s
Soporte: según pieza imprimir	Tipo de adherencia: borde

Teniendo los parámetros correctos para el filamento, se inició la fase de impresión de las piezas, iniciando con la base del molino; la cual se debió dividir en cuatro secciones por el tamaño de la pieza y la dimensión de la impresora Figura 8.

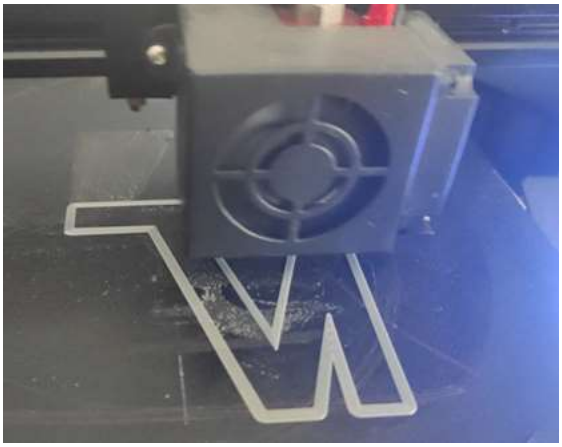


Figura 8. Inicio de impresiones.

Una vez terminada la base del molino, se procedió a elaborar el cuerpo del molino y piezas complementarias adicionales, considerando los mismos parámetros de impresión, Figura 9.

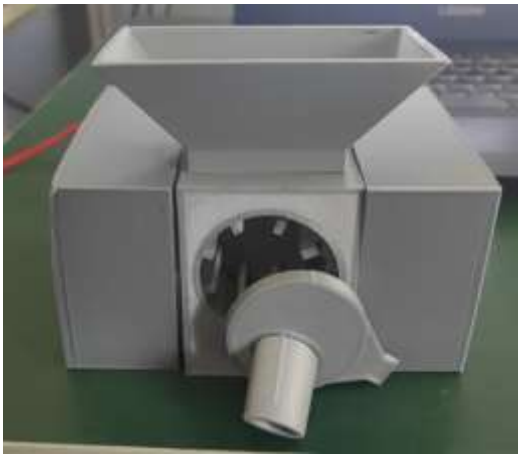


Figura 9. Piezas principales y complementarias.

Como se presenta a continuación en la Figura 10; se muestra el resultado de una de las piezas principales del prototipo, el cual es el triturador; para su impresión se dividió en dos partes obligado por su complejidad.

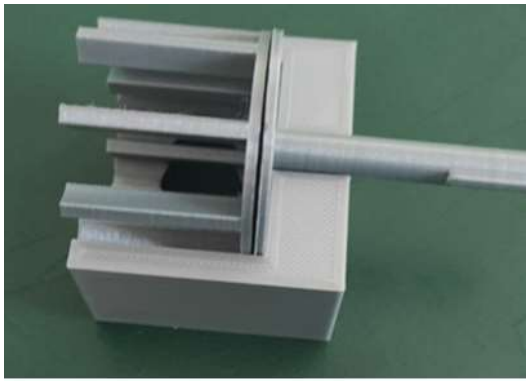


Figura 10. Triturador impreso.

Una vez finalizado el proceso de impresión, se realizó un detallado de las piezas, puesto que contenían excesos de rebaba, lo que impedían el correcto ensamble, por lo que se utilizaron lijas finas para detallar y lograr su ensamble exacto.

Cuando se retiraron los excesos se comenzó a ensamblar, pegando las piezas en su lugar con ayuda de pegamento de cianoacrilato, ofreciendo una buena unión. Todas las piezas se imprimieron con el mismo filamento, estas eran del mismo color, así que se pintaron para que sobresalieran algunas partes en específico y no existiera monotonía de color. Obteniendo el resultado final presentado en la Figura 11.

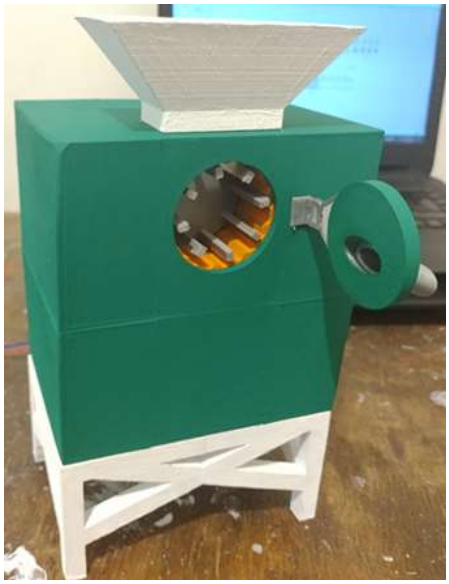


Figura 11. Ensamble final.

- **Control**

Habiendo sido diseñado y generado el prototipo en físico, el siguiente paso fue realizar el movimiento necesario, por lo que los elementos que se utilizarán son: un motor bipolar, donde para su manejo se utilizarán tres botones: encendido, paro y emergencia, a lo cual, para conocer el estado de trabajo se implementaron cuatro diodos Led, para los estados de motor encendido y girando, apagado de forma normal o paro de emergencia, y por último el modo de espera. Se requirió de un sistema eléctrico y de control, donde se pudiera reunir todos estos elementos necesarios y sus conexiones.

Fue utilizado el programa Proteus^{MR} para el diseño eléctrico, y el programa PIC C Compiler^{MR} donde se realizó el código que se utilizó en el microcontrolador PIC16F877A. Para el control del motor se necesita de una cierta configuración, puesto que el control de dirección consiste en energizar las bobinas por ambos sentidos, muy distinto a un motor convencional, que requiere de solo un encendido y apagado [15]. El control eléctrico se implementó en un apartado distinto, para una mayor eficiencia de control, además de evitar que todas las conexiones estén dentro del mecanismo, esto se observa la Figura 12.

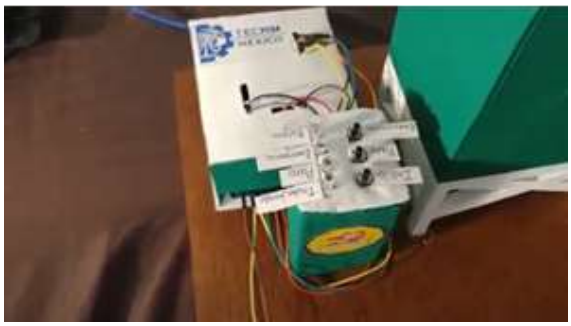


Figura 12. Sistema eléctrico y de control.

En el código se necesitó configurar los botones, pues al ser presionado el botón de encendido deberá encender el motor al instante, al igual que el Led verde deberá de

iluminarse para señalar de una forma visual que el motor está girando. Es necesario crear un ciclo para poder realizar la interrupción del paro, deteniendo el motor de forma progresiva hasta apagarse, caso contrario a la interrupción por paro de emergencia, ya que este debe de detener el motor lo más rápido posible, posterior a este suceso, la programación entra en un modo de espera de una nueva respuesta, continuar girando o permanecer detenido definitivamente, por lo que se requiere de una programación de las distintas entradas y salidas, tanto de los diodos Leds que deberán de encender. En la Figura 13 se muestra el sistema sin carcasa.

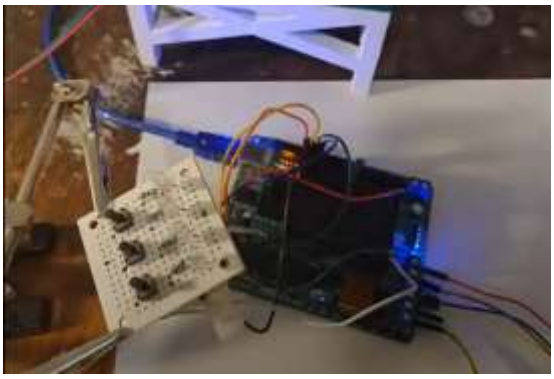


Figura 13. Apariencia interna del control.

Para realizar el código utilizando el programa PIC C Compiler[MR], se debió incluir librerías, al igual que la frecuencia a la que trabajara el microcontrolador, como también declarar las variables que se utilizaron durante el código y en la activación de entradas y salidas.

El movimiento del motor bipolar se mantuvo en un ciclo, para continuar con la secuencia en cualquier momento, por lo que se utilizó un ciclo do-while; para esto fue requerido un vector que dirigió la dirección del motor en giro solo hacia la derecha (dextrógiro) por lo que las salidas solo aumentarán repitiéndose el ciclo del vector, Figura 14.

```
do{

   if(input(pin_b5)==0 && seguro==1){//movimiento de molienda
   output_low(pin_c3);
   output_high(pin_c0);
   output_low(pin_c1);
   output_low(pin_c2);
   do{
   int giro[8]={9,8,10,2,6,4,5,1};
      motor++;
         if(motor>7){
         motor=0;
         }
      output_b(giro[motor]);
      delay_ms(18);
            if(input(pin_b6)==0 || input(pin_b7)==0){
               seguro=0;
            }
   }while(seguro==1);
   }
```

Figura 14. Movimiento de motor.

Al igual para los paros, tanto el normal como el de emergencia, están dentro del ciclo, utilizado las condiciones if, se pueden coordinar el manejo de los Leds con ayuda de los botones, los cuales, en conjunto al motor, realizará el funcionamiento completo del sistema.

La lista de materiales para el sistema eléctrico y de control consiste en el motor bipolar, cables jumper, microcontrolador con todo lo necesario para su funcionamiento como el cristal de 4Mhz, capacitores cerámicos de 22pf, fuentes de voltaje, botones (estos ya incluidos en la placa programadora), resistencias y diodos Leds de distintos colores. La lista de los materiales generales y su cantidad de cada uno se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales necesarios para control.

Materiales	Cantidad
PIC 16F877A	x1
Botones	X3
Diodos leds	x4
Cables o Jumpers	x9
Placa pre-perforada	x1
Motor bipolar	x1
Placa Andromeda	x1

Es importante señalar que el prototipo fue llevado a prueba con el correcto funcionamiento electromecánico realizado con una mínima inversión que no superó los

$ 3500.00 MXN. Con este trabajo se realiza una valiosa aportación al diseño e innovación continua en el ámbito técnico y científico en área de electromecánica aplicada.



Figura 15. Apariencia final frontal.

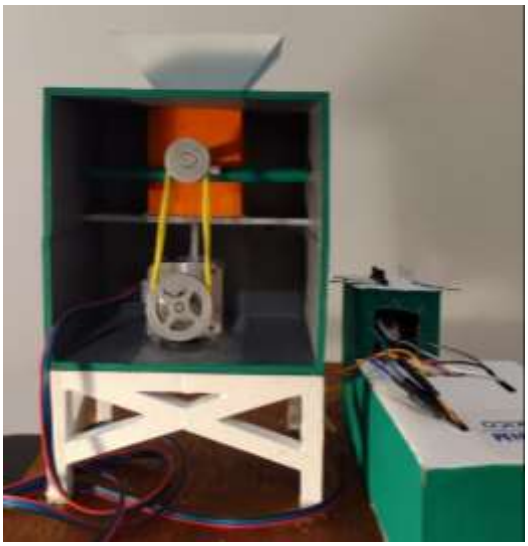


Figura 16. Apariencia final trasera.

IV. Conclusiones

Al observar el resultado del prototipo ensamblado, se aprecia que el proceso de diseño e impresión fue el adecuado, ya que todas las piezas realizadas lograron un ensamble correcto y justo, sin espacios adicionales o muy cortos, además que la estructura fue lo suficientemente resistente para soportar una fuerza considerable a pesar del tamaño del mismo prototipo.

Por otro lado, la propiedad de genera movimiento o detenerlo a partir del sistema de control creado; con la habilidad de trasmitir el torque del motor a pasos a través de las poleas y la banda para hacer funcionar el triturador fue un éxito, ya que el movimiento a pesar de no ser tan fluido, fue suficiente para demostrar el objetivo principal del diseño.

Algunos problemas a los cuales se les debieron dar solución durante el proceso de creación fue la configuración correcta de los parámetros de impresión, debido al pigmento que se eligió (gris) para la elaboración de las piezas pues se cree que este determina en gran parte la configuración.

Un último problema presentado fue la adaptación de nuestros modelos de SolidWorks^{MR} a la impresora ya que las dimensiones sobrepasaron las medidas físicas de la impresora.

La realización de un sistema que incluye procesos mecánicos, eléctricos, de programación y de diseño, lo convierte en un sistema complejo, pues se requieren diversas ramas de estudio para llevarse a cabo, junto con ayuda de tecnologías prácticas para el desarrollo de piezas, tales como las impresoras 3D, posibilita el traer a la realidad las ideas generadas.

En general se concluye que el trabajo aquí presentado cumplió las expectativas de modelado, impresión y control al funcionar correctamente, con esto, el presente prototipo presenta ventajas en su diseño y elaboración, el cual si es llevado a un estado físico real, es muy factible económicamente para su elaboración y sin duda en su eficiencia y productividad, debido a que está planeado para trabajar con un sistema mucho más inteligente al aplicar la programación de microcontroladores, siendo capaz de programar cualquier tipo de comportamiento

posible cuando este se requiera; a su vez, es posible adaptar el control asistido por computadora para así observar en estado real el proceso que está realizando el triturador y advertir de problemas en un monitor; sin mencionar que los costos de los materiales para el trabajo con microcontroladores que son más económicos que los materiales de una instalación puramente de potencia, además de que el diseño presentado en comparación a otros en el mercado, resulta ser más pequeño pero a su vez presenta características robustas para el largo uso, manteniendo una buena ventilación y temperaturas de trabajo adecuadas, favoreciendo a las industrias azucareras que podrán aprovechar este sistema a gran escala; lo que favorecería a la industria en el aspecto de sustentabilidad, otorgándole la opción de procesamiento de subproductos a bajo costo y su reutilización para otros bienes y servicios.

V. Agradecimientos

La culminación de todo este prototipo que aquí se publica, se logró gracias al sustento de nuestros padres, y orientación de maestros y personal del Instituto Tecnológico de México campus Colima, quienes nos apoyaron en todo momento; al igual queremos agradecer a todos los investigadores de los cuales consultamos las experiencias de sus trabajos publicados y que utilizamos como referencias en nuestro proyecto. ¡Muchas gracias a todos!

VI. Referencias

1. E. Escalona, “Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste”, 2014. *Revista cubana de higiene y epidemiologia.* Vol. 52, pp. 270-277. Disponible: https://www.redalyc.org/pdf/2232/223237143011.pdf

2. L. González, “Plan de negocio para el aprovechamiento sostenible del bagazo de caña en la obtención de empaques con valor agregado” facultad de ingeniería, universidad EAN, Bogotá, Colombia, 2021.

3. I. O’Hara, S. Mundree, “Sugarcane-based biofuels and bioproducts”, 2016. John whiley & sons, Canadá, https://doi.org/10.1002/9781118719862.ch10

4. J. Arreaga, “Diseño de un molino industrial para la molienda y descarado del cacao” proyecto técnico, universidad politécnica salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2021.

5. B. Camburn, V. Viswanathan, J. Linsey, D. Anderson, D. Jensen, R. Crawford, K. Otto y K.Wood, 2017. “Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines” *Des. Sci*., vol. 3, e13 journals.cambridge.org/dsj DOI: 10.1017/dsj.2017.10.

6. R. Kazała, S. Luściński, P. Strączyński and A. Taneva. 2022. “An enabling open-source technology for development and prototyping of production systems by applying digital twinning”, *Processes* vol. 10, https://doi.org/10.3390/pr10010021

7. D. Bermeo, “Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas”, 2012. Disponible: http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8296/1/AC-ESPEL-EMI-0254.pdf

8. F. Lizana, “Diseño de un equipo triturador para reciclaje de madera” memoria de título, facultad de ingeniería, Pontifica universidad católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. 2016.

9. J. Martínez, F. Díaz “Diseño del prototipo de un molino de bolas para laboratorio”. Disponible: https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/44020/1/c2da996526c5953a41f2d6669515a6cf.pdf

10. L. Arteaga, “Diseño y construcción de prototipo de maquina deshidratadora y pulverizadora de cebolla”, 2015. *Scientia Et technica*. vol.20, pp. 26-31. https://doi.org/10.22517/23447214.9312

11. A. Sneider, E. Albeiro, “Evaluación de la potencia de un molino de martillos al procesar bagazo de caña de azúcar”, 2019. *Revista de ciencias agrícolas*. Vol.36, No. 1. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352019000100093

12. J. Chaur, “Software de ingeniería, de diseño y de creatividad. Tdx, pp 79-80. ch 4. Disponible: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6837/07Jcb07de16.pdf?sequence=7&isAllowed=y

13. A. Ñauta, M. Vergara, “Simulación de Termo fluidos de PLA Natural y ABS en el Proceso de Impresión en 3D” Universidad Politécnica Salesiana Cuenca, Ecuador, 2017. Disponible: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14548/1/UPS-CT007148.pdf

14. V. Pacheco, “Guía Para la Mejora de la Calidad de Fabricación en Impresoras 3D de Bajo Costo” Universidad Politécnica Madrid, Madrid, España, 2020. Disponible: http://oa.upm.es/57873/1/TFG_VICTOR_FERNANDEZ_PACHECO_MENDEZ.pdf

15. M. Laura, “Control de un motor paso a paso” proyecto final de carrera, universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2011. Disponible: https://zaguan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf

16. D. Stesse, “Concepto de automatización de molienda adoptado en el ingenio Trapiche, con el uso de la velocidad lineal”, 2010. Revista alcoolbras, edición 131.

17. O. Ramos, “Diseño y construcción de un molino triturador de bagazo de caña para la industria de producción de champiñones con capacidad de 600 kilos por hora” proyecto de grado, facultad de ingeniería, escuela politécnica nacional, quito, Ecuador, 2016.