

## Design and Construction of a Prototype to Cut and Compact Amaranth

C. Ornelas Lugo\* J.A. Palma Arreola\* J. Bonilla Serrano\*  
R.J. Vazquez Guerra\*\* J. Rosas Miramón\*\*

\* *Instituto Politécnico Nacional, ESIME Unidad Culhuacán, Av. Santa Ana 1000, Coyoacán 04430, Ciudad de México, México. (e-mail: cornelas11400@alumno.ipn.mx, jpalmaa1500@alumno.ipn.mx, jbonillas1800@alumno.ipn.mx).*

\*\* *Instituto Politécnico Nacional, CECyT 7, Cuauhtémoc, Ermita Iztapalapa 3241, Iztapalapa 09570, Ciudad de México, México. (e-mail: rvazquez@ipn.mx, jrosasm@ipn.mx)*

---

**Abstract:** This paper proposes the design and construction of an amaranth compacting and cutting machine for Cooperativa agropecuaria Teocalli Tulyehualco S.C. from R.L. de C.V. The prototype is made up of a mechanical system and an electronic system interconnected to a control panel. The assignment of the dimensions of the bars is done through a question-and-answer interface. The programming for the compaction and cutting of the bars is done through a microcontroller. Control signals from the microcontroller are sent to the power stage to drive the bipolar stepping motors. Thus, the rollers and knives are automatically adjusted for material compaction and crosscutting, respectively. In addition, the material conveyor belt is activated and the solenoid valve is activated to drop the guillotine and make the cut along the bar.

*Keywords:* Interfaz hombre-máquina, Sistemas electromecánicos, Control de procesos, Configuración automática, Redes de sensores y actuadores.

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria alimentaria ha requerido la automatización de los procesos ante la demanda de la población. La elaboración de barras de amaranto ha ido en aumento ya sea por la practicidad o la oferta de variantes orgánicas, Ochoa (2020). En estos procesos industriales es común implementar HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para el control y monitoreo de las máquinas de producción. Las HMI son una interfaz o panel de control que interconecta a una persona con una máquina, sistema o dispositivo, Móvil (2020); López (2017). Un ejemplo de interfaz de pregunta y respuesta es el cajero automático, en este tipo de interfaz se asignan las acciones que realizara una maquinaria de forma automática basada en las repuestas obtenidas, Lenis (2022). A continuación, se presentan algunos proyectos vinculados específicamente a la compactación y/o al corte que se han propuesto en los últimos años, algunos de ellos implementan HMIs. La empresa Mia (2015) implementa un sistema de corte de alta precisión para el corte de barras de cereal. Este sistema integra un medidor de temperatura que informa al usuario cuando es posible desmoldar el producto. Sin embargo, no aporta una relevante reducción de tiempos, no compacta la mezcla, ni produce barras de diferentes

tamaños. Buhler (2016) presenta un proceso de producción llamado SnackFix para la compactación y cortes de barras, este implementa rodillos y una cuchilla vertical, respectivamente en cada etapa, además de un túnel de enfriamiento. Un año más tarde, la empresa Snackmatic (2020) presenta un proyecto industrial que con una sola cuchilla que gira vertical y horizontalmente de forma automática realiza cortes con precisión. La interfaz permite ingresar las dimensiones de las barras, medir la temperatura y contar el producto procesado. Aún, con los avances tecnológicos de la actualidad los costos de los proyectos anteriores continúan siendo elevados para empresas que no son multinacionales. Entre los prototipos nacionales que dan una opción viable en cuanto bajar costos en la maquinaria se encuentra el de Ruiz and E. (2010) y Torres (2017). En Ruiz and E. (2010) se implementa un prototipo para cortar materiales como aluminio, latón y acero dulce. En la interfaz se indican las dimensiones de los cortes que se llevan a cabo por una sierra eléctrica. Años más tarde, Torres (2016), presenta un sistema de prensado electroneumático, donde el número de barras por hora depende de la dimensión del molde y la habilidad del operador para llevar a cabo el prensado y corte. En este trabajo se propone un prototipo de una maquina compactadora y cortadora de amaranto que se

ajusta a las necesidades de la Cooperativa Agropecuaria Teocalli Tulyehualco S.C De R.L De C. con el objetivo de ayudar con la producción de barras de amaranto. Para la interacción entre la maquina y el usuario se emplea un tablero donde se asigna el alto, ancho y largo de un grupo de barras. La programación de la secuencia de actividades se hace a través de un microcontrolador. Las señales de control se envían a un circuito eléctrico para controlar a los motores bipolares a pasos y a una electroválvula. La activación de la velocidad de la barra transportadora recta, el ajuste de los rodillos y navas se lleva a cabo de manera automática una vez que se indican las referencias de las dimensiones.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad aún existen industrias como la amarantera, que han sido desplazadas por la falta de desarrollo tecnológico para tratar esta semilla y sus derivados. La Cooperativa Agropecuaria Teocalli Tulyehualco S.C de R.L de C.V es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos hechos a base de la semilla de amaranto. Esta empresa ha tarado de apegarse a las normas nacionales e internacionales; debido a que las cadenas distribuidoras trabajan con contratos de miles de piezas del producto a distintos tamaños. Sin embargo, para la cooperativa estos volúmenes de producción resultan imposibles de cubrir en los tiempos requeridos por las cadenas de distribución. Esto se debe a que el proceso de compactación de la masa y cortes de las barras que utilizan es completamente manual y relativamente lento. Actualmente, la cooperativa comercializa los productos de amaranto a nivel local y regional, ya que es el rango de mercado que por el momento es capaz de abarcar. En el mercado se encuentran cortadoras para diversos materiales, Mia (2015); Buhler (2016); Snack-matic (2020). Sin embargo, este tipo de máquinas no están diseñadas para cortar todos los tamaños de barras que requiere la cooperativa, además, no integran el proceso de compactación que requiere la mezcla. Por otra parte, los costos de operación y renta no son viables en este momento por la cooperativa. La finalidad de este prototipo es brindar una solución practica y de bajo costo que produzca mayores cantidades de barras de amaranto de distintos tamaños en menor tiempo. Además, se requiere que la maquina pueda ser manipulada por un trabajador que no tenga una alta especialización, asegurando que la calidad de los productos sea la ideal y que reduzca los errores humanos en el proceso de corte.

## 3. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología implementada para la construcción del prototipo que incluye tres fases. La fase 1 corresponde al Diagrama a bloques general del sistema. En esta fase se incluye también la arquitectura del tablero de control. La fase 2 corresponde al diseño mecánico constituido por un sistema de elevación para el ajuste de la compactación y el corte a lo ancho.

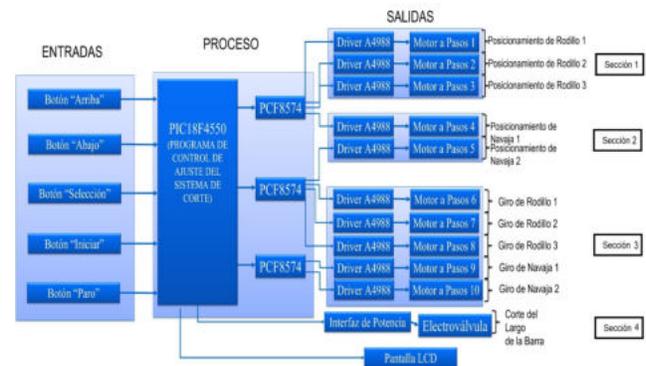


Fig. 1. Diagrama a bloques de las etapas del sistema.

Además, de un sistema de corte a lo largo de las barras de amaranto. En la fase 3 se describe el sistema electrónico utilizado, este esta compuesto por la interfaz del usuario, la expansión de pines de salida y la etapa de los motores.

### 3.1 Descripción general del sistema

En este prototipo se implementa una interfaz que da un menú de opciones e instrucciones claras y precisas para la solicitud de las dimensiones de la barra. Esta etapa permite el ajuste automático de los rodillos y navas, el ajuste se realiza una vez que la información de las dimensiones se recibe en la interfaz. Los botones mecánicos sirven para la interacción y la pantalla muestra toda la información necesaria. De tal forma que, la interacción usuario-máquina que se logra con la interfaz no requiere de un personal técnico especializado. Además, los errores en la configuración de la máquina son detectados fácilmente porque los datos se visualizan en la pantalla y se requiere de una confirmación para que el sistema empiece a funcionar. La descripción de las etapas del sistema se muestra en el Diagrama a bloques de la Fig. 1. En este tablero de control primero se consideran 5 botones de entrada para el desplazamiento y selección de una función. Los botones se nombran como: arriba, abajo, selección, arranque y paro. Las entradas se conectan a los puertos correspondientes del microcontrolador PIC18F4550. En este microcontrolador se programa el menú de opciones, las acciones de cada botón y la respuesta que debe presentar cada motor para la compactación y el corte. El microcontrolador envía las señales a los tres módulos PCF8574 para la expansión del número de pines a las salidas; posteriormente, los módulos se conectan a los drivers A4988 para la regulación de la potencia y finalmente la señal de control es captada por los motores a pasos.

La primera sección de salida (drivers y motores) son los encargados de ajustar la altura de la barra de amaranto, es decir, ajustan la posición los rodillos para la compactación. La segunda sección de salida (drivers y motores) se encargan del ajuste de posición de las navas para realizar el corte a lo ancho de la barra. La tercera sección de salida (drivers y motores) se encargan del giro continuo de los ejes de los motores para dar movimiento

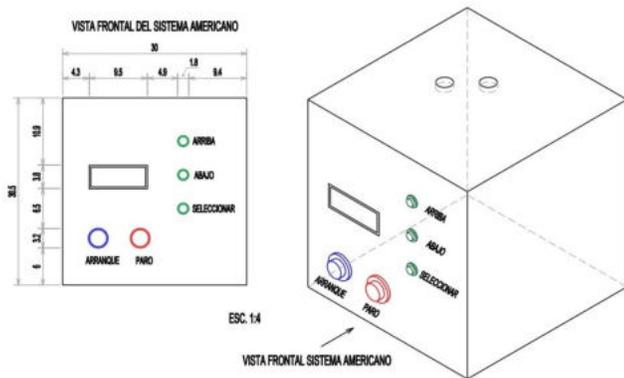


Fig. 2. Vista Frontal e Isométrico del Tablero de control a las navajas y rodillos encargados del corte y la compactación, respectivamente. En la última sección, se tiene una electroválvula que se activa con el temporizador del PIC para asignar el corte a lo largo a la barra de amaranto.

*Diagrama arquitectónico del tablero de control.* En la Fig. 2 se muestra la distribución de los elementos del tablero de control. Este está conformado por los componentes de la interfaz de usuario (botones, interruptores y pantalla LCD). Entre las características consideradas para el diseño están las siguientes: a) La caja es amplia y sólida, ya que contiene la electrónica para el funcionamiento del prototipo. Las dimensiones son 30cm de ancho, 30.5cm de alto y 30cm de profundidad. b) La tapa es de fácil desprendimiento con el fin de manipular los elementos en caso de ser necesario. c) El material utilizado para su construcción es madera. d) Se consideran dos perforaciones por donde pasara el cableado correspondiente a los motores e interruptores.

### 3.2 Diseño mecánico

Las partes principales que conforman al sistema mecánico son un sistema de elevación y un sistema de corte a lo largo. Ambos se describen en las siguientes secciones. En la Fig. 3 se presenta el boceto final del sistema mecánico.

*Sistema de elevación.* Para el diseño mecánico se considera el ajuste de la posición de los rodillos y las navajas, mediante el desplazamiento lineal de arriba hacia abajo. Este desplazamiento se lleva a cabo mediante un sistema de elevación integrado por una varilla roscada (tornillo Acme de 8mm de diámetro), una tuerca y un cople de 5mm diámetro para adaptar la flecha del motor. Solo la rotación de la varilla roscada hace que la tuerca se desplace hacia arriba o hacia abajo. Cada varilla roscada se adapta a la flecha del motor correspondiente haciendo uso del cople. Los cinco sistemas de elevación que se requieren se colocan por debajo y a lo largo de la banda transportadora recta que transporta al amaranto. En la parte superior de la banda transportadora se tiene un soporte que carga a cada motor y en el otro extremo a

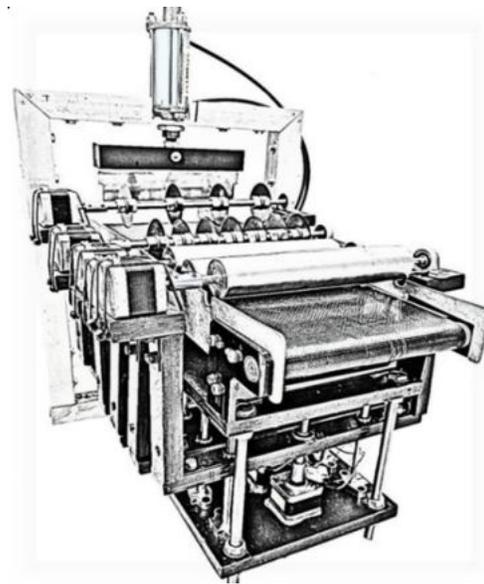


Fig. 3. Boceto final del sistema mecánico

una chumacera. Entre estos dos elementos se coloca el rodillo o las navajas, según sea el caso. Así, los rodillos y navajas se mueven según la rotación del motor a pasos de la parte inferior. También, se utilizan baleros y varillas aceradas para dar soporte y mejorar el desplazamiento.

*Sistema de corte a lo largo.* En esta parte se considera un marco de perfil de aluminio que rodea a la banda transportadora y se sujeta a través de tornillería a la base inferior de madera del sistema. Además, de un cilindro de doble efecto (pistón) neumático ubicado en el centro del marco con el embolo localizado a la mitad de la banda transportadora. Si el temporizador del PIC envía un impulso eléctrico a la electroválvula la guillotina baja para cortar el largo asignado para la barra de amaranto. La velocidad de la banda transportadora está directamente relacionada con el temporizador del PIC. Por lo tanto, la banda transportadora como el temporizador deben estar sincronizados para lograr la exactitud del corte. En la programación se asignó que la velocidad de la banda transportadora sea de 1cm/seg, así, si se requiere una barra de 6cm de largo, el accionamiento de la guillotina es una vez cada 6seg. Con este tiempo de 1cm/seg se beneficia a la fuerza de arrastre del motor que se encarga de mover la barra transportadora. La guillotina esta acoplada al embolo del pistón, es recta y su dimensión es igual al ancho de la banda transportadora. El tiempo que la guillotina se mantiene arriba varía de acuerdo con la dimensión seleccionada por el usuario (1cm/seg). Finalmente, el tiempo que la guillotina se mantiene abajo es de 100ms.

### 3.3 Sistema electrónico.

En la Fig. 4 se muestra la simulación en Proteus del diagrama electrónico implementado en este prototipo. En este diagrama cada pulso que se envía a cada motor es

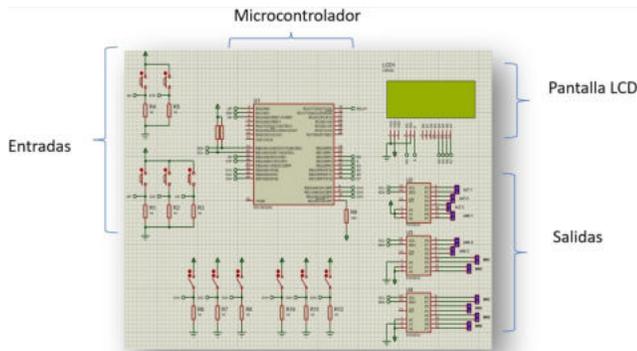


Fig. 4. Simulación del circuito en Proteus

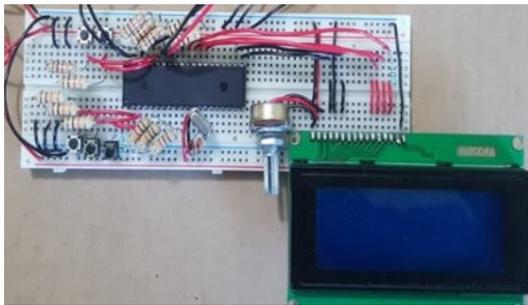


Fig. 5. Conexiones físicas de la interfaz de usuario

representado por luces parpadeantes en rojo y azul para indicar un estado lógico alto o bajo.

A continuación, se describe cada etapa del diagrama electrónico.

*Etapa de la interfaz de usuario.* En el diagrama electrónico se implementan cinco botones de entrada, tres de estos están unidos para que el usuario se desplace y seleccione alguna opción. Los otros 2 botones son el arranque y paro del sistema. La interfaz también cuenta con una pantalla LCD4x20 para mostrar que pasa con cada botón que se oprime y da las instrucciones para poder continuar con la configuración. La Fig. 5 muestra el armado físico de la interfaz de usuario.

*Etapa de expansión de pines de salidas.* En esta etapa se utiliza el circuito integrado PCF8574 para conectar más dispositivos mediante la programación de un protocolo llamado I2C. Este circuito integrado, se encuentra en módulos que se pueden conectar en serie como se muestra en la Fig. 6. Así, solo se requieren 2 pines (SCLySDA) y una alimentación para todos los que se deseen conectar.

*Características de los motores y la etapa de potencia.* En este prototipo se implementaron motores bipolares a pasos nema 17 para el ajuste de los rodillos y navajas. Estos giran 1.8° por cada impulso eléctrico que reciben en sus bobinas. El sentido de giro de su eje se hace mediante la programación. Estos motores funcionan con una corriente de 1.7A y un voltaje nominal de 12V – 24V. Estos motores se calibran con un voltaje de referencia para

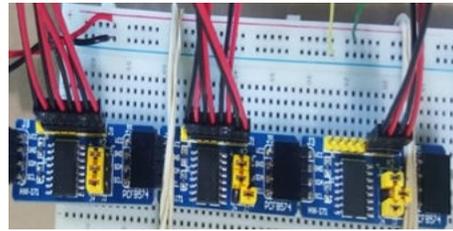


Fig. 6. Conexiones físicas de la etapa de expansión de pines del microcontrolador



Fig. 7. Conexiones físicas de los motores con los módulos DRIVER A 4988.

evitar sobrecalentamientos. Para la etapa de potencia se requieren módulos DRIVER A 4988 ya que traducen la información de pulsos lógicos a las bobinas de cada motor. En la Fig. 7 se muestra el armado físico de los módulos DRIVER A 4988 con los motores bipolares a pasos nema 17.

#### 4. CALCULOS

A continuación, se muestran los cálculos utilizados en este prototipo.

##### 4.1 Relación pasos-milímetros

La relación pasos-milímetros en este prototipo es la relación que existe entre el número de pasos que tiene que dar el motor para saber cuántos milímetros hacia arriba y hacia abajo se puede desplazar la tuerca. Los parámetros considerados son los siguientes: Movimiento del motor a pasos (nema17)(1.8por – paso) y Diámetro de la varilla roscada (8mm). Al considerar una varilla redonda, se obtiene que:

$$\frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200\text{pasos} = 1\text{vuelta} \quad (1)$$

Por lo tanto, cada motor requiere de 200pasos para dar una vuelta. Ahora, para calcular cuántos pasos debe dar el motor para desplazar la varilla 1mm hacia arriba, se considera que:

$$\frac{200}{8} = 25\text{pasos} = 1\text{mm} \quad (2)$$

Así, cada 25 pasos programados, el sistema baja o eleva los rodillos 1mm (dependiendo el sentido del giro).

#### 4.2 Voltaje de referencia

A continuación, se presenta el cálculo correspondiente para calcular el voltaje de referencia de los motores *nema17* que se utilizan en el prototipo.

Considere la siguiente fórmula para calcular el Voltaje de referencia:

$$V_{ref} = I_{max}(8R_s) \quad (3)$$

Los datos proporcionados por el fabricante de los motores *nema17* son los siguientes:

$$\begin{aligned} I_{max} &= 0.4A \\ R_s &= 0.1\Omega \end{aligned} \quad (4)$$

Sustituyendo los datos de la expresión 4 en 3 se tiene:

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 0.4A(0.8\Omega) \\ V_{ref} &= 0.32V \end{aligned} \quad (5)$$

El valor obtenido se multiplica por 0.7, debido a que la configuración que se programó es para un motor de pasos completos ( $1.8^\circ$ ).

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 0.32V(0.7) \\ V_{ref} &= 0.22V \end{aligned} \quad (6)$$

### 5. PROGRAMACIÓN DE LOS MENUS PRINCIPALES

La interfaz del tipo pregunta- respuesta que se desarrolla en este prototipo, funciona mediante la creación de 3 menús para asignar el alto, ancho y largo de la barra de amaranto. Conforme se navega en el menú, la pantalla y la flecha indicadora de posición se actualizan. La programación del microcontrolador se realiza en el software PIC C COMPILER. En la Fig. 8 se muestra el diagrama de flujo del programa cargado al microcontrolador. Así, la activación del sistema se realiza con el botón de arranque. Los botones de entrada permiten al operario seleccionar alguna opción de los menús. Los primeros dos menús son para el alto y ancho de la barra. Estos envían diferentes instrucciones a cada uno de los motores, así, cada motor dará diferente número de pasos para lograr ajustar la posición que se requiera. Finalmente, el menú del largo de la barra no instruirá a ningún motor, sino que dará tiempos específicos para la activación de la electroválvula. Si las dimensiones de la barra son correctas se comienza el proceso de compactación y corte, sino, el sistema vuelve a desplegar el menú para la selección del alto, ancho y largo.

### 6. RESULTADOS

A continuación, como parte de los resultados se presenta la construcción física del sistema electrónico Fig. 9 y mecánico Fig. 10. Finalmente, se prueba el funcionamiento del prototipo, el cual integra un sistema mecánico, electrónico, programación y calibración. El material utilizado para la prueba es una masa moldeable hecha a base de harina de maíz, cuya consistencia es firme y sólida. Las dimensiones seleccionadas para la prueba

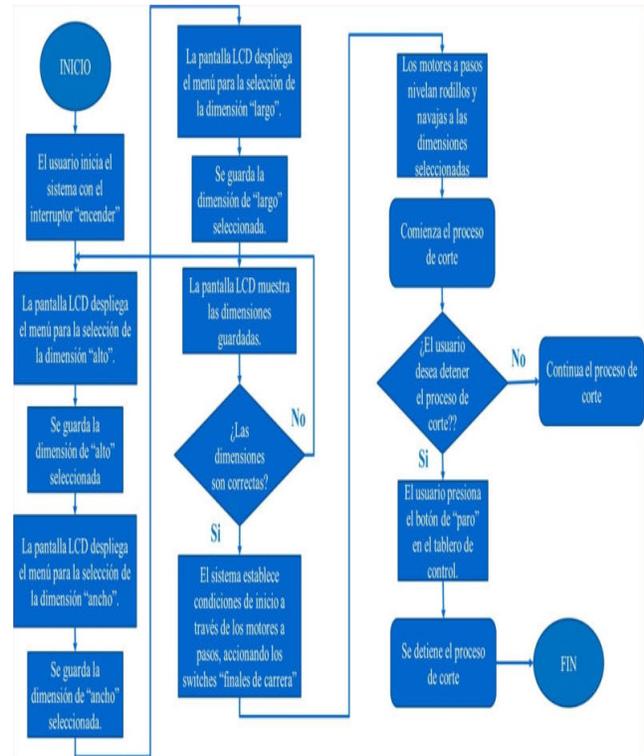


Fig. 8. Diagrama de flujo de programa

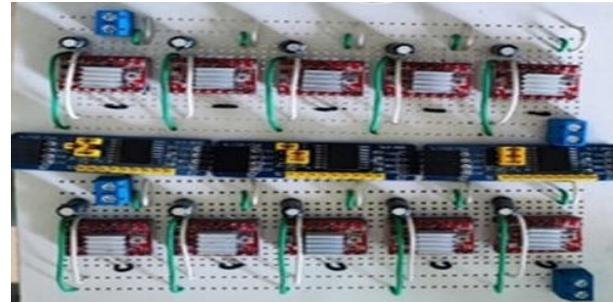


Fig. 9. Sistema electrónico en Placas PCB con componentes soldados.

son las siguientes: alto ( $1cm$ ), ancho ( $3cm$ ) y largo ( $3cm$ ). En la Figura 11 se observa el correcto funcionamiento del prototipo al pasar la masa moldeable por el proceso de compactación, corte vertical y horizontal. En las Fig.12 se muestran las dimensiones de la barra obtenida las cuales son las esperadas y las establecidas en la interfaz. Note que la ubicación de los rodillos y navajas permiten tener una secuencia del proceso, logrando reducir los tiempos de producción que obtendría un trabajador. Y con la información que proporciona el usuario a la interfaz es posible producir barras a distintos tamaños.

### 7. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un prototipo para la elaboración de barras. El prototipo automatiza el proceso de compactación y corte de las

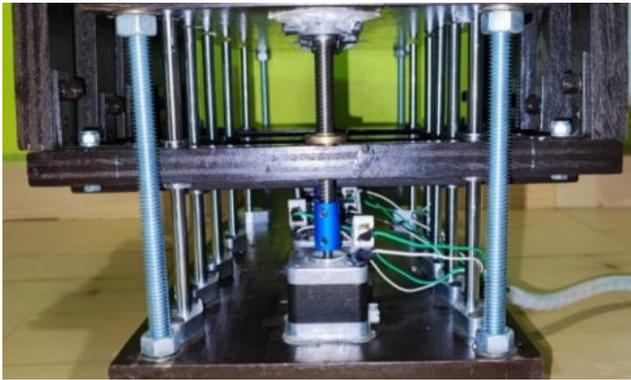


Fig. 10. Vista frontal de los componentes mecánicos del sistema de elevación.

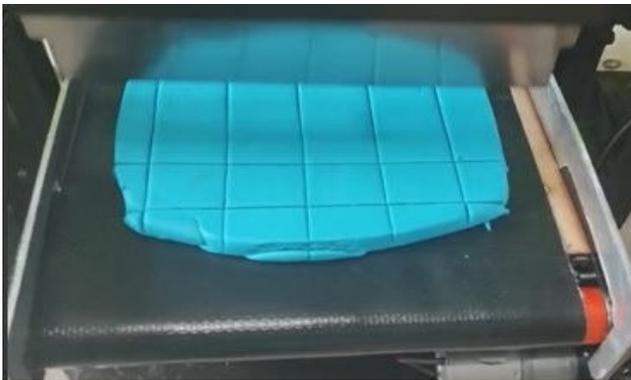


Fig. 11. Masa moldeable después de pasar por el proceso de compactación y corte.



Fig. 12. Dimensión del alto de la barra (1cm), ancho de la barra (3cm) y largo de la barra (3cm).

barras, lo anterior se logra diseñando e integrando un sistema mecánico, electrónico, programación y calibración. La distribución de los rodillos y navajas permiten tener una secuencia del proceso. Así, con este prototipo se reducen los tiempos de producción que obtendría un trabajador y se producen mayores cantidades de barras a distintos tamaños. Además, en la interfaz se integra un botón de paro para detener el proceso en cualquier momento. El diseño de la interfaz permite que el prototipo pueda ser manipulado por un trabajador que no tenga alta especialización. El costo de los materiales para la construcción del prototipo es bajo en comparación con los costos de la maquinaria encontrada en el mercado,

sin embargo, no se considera el costo de la mano de obra ni el costo del diseño. Como trabajo a futuro se plantea colocar sensores de posición para el monitoreo de señales que muestren el comportamiento del sistema en operación. Además, se pretende invertir en rodillos, barra transportadora y navajas que puedan estar en contacto con la materia prima que cumplan con los estándares de grado alimenticio de la empresa.

#### REFERENCES

- Buhler, G. (2016). Snack-fix. URL <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/\global/en/products/snackfixsmall-scalebarproduction\system.html>.
- López, J.M. (2017). Del texto a las ventanas: Cómo llegamos a la interfaz gráfica de usuario. URL <https://blogthinkbig.com/del-texto-a-las-ventanas-como-llegamos-a-la-interfaz-grafica-de-usuario>.
- Mia, F.T. (2015). Manual line for the production of cereal bars / produzione cereal. URL <https://miaft.com/portfolio-category/\barrette-energetiche/>.
- Móvil, E.A. (2020). La evolución de las interfaces de comunicación hombre-máquina: escribir, tocar, hablar... pensar. URL <https://www.xataka.com/alcatelmoviles/evolucion-interfaces-comunicacion-hombre-maquina-escribir-tocar-hablar-pensar>.
- Ochoa, C. (2020). Preven que mercado de snacks supere los 13 mil md en 2024. milenio. URL <https://www.milenio.com/negocios/preven-mercado-snacks-supere-13-mil-mdd-2024>.
- Ruiz, H. and E., Y. (2010). Cortadora de aluminio y acero dulce automática. URL <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12436>.
- Snack-matic (2020). Granola bar production line snack-maticux24 cereal bar line,ultrasonic snack bar machine,energy. URL [https://www.almotechnologies.com/snack\\_01.html](https://www.almotechnologies.com/snack_01.html).
- Torres, J. (2017). Máquina para barritas de cereal. URL <https://www.youtube.com/watch?v=IdOLgj3nUy4>.