

Desarrollo de un prototipo semiautomático para el molido y moldeo de quesos

Diana Marcela Córdoba-Zambrano¹

Einar Kellyn Castro-Chazatar²

Fabio Camilo Gómez-Meneses³

Edna Margarita Moncayo-Torres⁴

Resumen

Este proyecto surge por la necesidad de construir un prototipo semiautomático para el molido y moldeo de quesos, que se acople a la producción y comercialización de las pymes nariñenses. Por lo tanto, se propone la innovación del proceso de molido y moldeo mediante el uso de la tecnología; aunque la solución presentada usa mecanismos simples, su utilidad aumenta la eficiencia de los procesos de las microempresas. Se parte de la realización de bocetos a mano alzada de los procesos de molido y moldeo; luego, se asignó puntajes a cada boceto de acuerdo a la efectividad de los procesos, evaluando de 1 a 10, donde el rango de 1 a 5 es deficiente, ya que genera maltrato en el producto, ocasiona desperdicios, costos elevados y mayor dificultad en los procesos de molido y moldeo; el rango de 6 a 10 es excelente, ya que realiza correctamente las etapas de molido y molde, sin generar daños al producto ni desperdicio, de esta manera se logra seleccionar el que mejor se adapte en cuanto a diseño mecánico y electrónico; posteriormente, se realizó el diseño que obtuvo mayor puntuación en el programa Solidworks, a través de un análisis estructural. De esta manera se procedió a la construcción y ensamblaje del prototipo, para luego implementarle un control de monitoreo remoto junto con un protocolo de seguridad frente a posibles fallas eléctricas, finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento. A su vez, se analizó los materiales adecuados para la construcción, resaltando las normas internacionales del

¹Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: dianamcordoba@umariana.edu.co.

²Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: eicastro@umariana.edu.co

³Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: fgomez@umariana.edu.co

⁴Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: edmoncayo@umariana.edu.co

CODEX ALIMENTARIUS, también se destacó el costo final de la manufactura, demostrando una disminución significativa en comparación con los equipos fabricados en el mercado, lo que indudablemente resulta favorable para las PYMES.

Palabras clave: molido; moldeo; construcción; ensamblaje; semiautomático.

Development of a semi-automatic prototype to grind and mold cheese

Abstract

The project arises from the need to build a semi-automatic prototype for the grinding and molding of cheeses, which is coupled with the production and marketing of SMEs from Nariño. Therefore, the innovation of the process is proposed through the use of technology and, although the solution presented uses simple mechanisms, its usefulness increases the efficiency of the processes of micro-enterprises. Freehand sketches of the grinding and molding processes were made; then, scores were assigned to each sketch according to the effectiveness of the processes, evaluating from 1 to 10, where the range of 1 to 5 is deficient since it generates abuse in the product, causes waste, high costs and greater difficulty in grinding and molding processes; the range from 6 to 10 is excellent, since it correctly performs the grinding and molding stages, without causing damage to the product or waste. In this way, it was possible to select the one with the best in terms of mechanical and electronic design. Subsequently, the one that obtained the highest score in the Solidworks program was designed, through structural analysis. In this way, the prototype was built and assembled, to later implement a remote monitoring control together with a security protocol against possible electrical failures; finally, functional tests were carried out. At the same time, the appropriate materials for construction were analyzed, highlighting the international standards of the Codex Alimentarius. The final cost of manufacturing was also highlighted, showing a significant decrease compared to the equipment manufactured in the market, which undoubtedly is favorable for SMEs.

Keywords: ground; molding; building; assembly; semiautomatic.

Desenvolvimento de um protótipo semi-automático para moer e moldar queijos

Resumo

O projeto surge da necessidade de construir um protótipo semiautomático para a moagem e moldagem de queijos, que se alia à produção e comercialização de PMEs de Nariño. A inovação do processo é proposta através do uso de tecnologia e, embora a solução apresentada utilize mecanismos simples, sua utilidade aumenta a eficiência dos processos de microempresas. Esboços à mão livre dos processos de moagem e moldagem foram feitos; em seguida, foram atribuídas pontuações a cada croqui de acordo com a eficácia dos processos, avaliando de 1 a 10, onde a faixa de 1 a 5 é deficiente, pois gera abuso no produto, causa desperdício, alto custo e maior dificuldade de trituração e processos de moldagem; a faixa de 6 a 10 é excelente, pois realiza corretamente as etapas de moagem e moldagem, sem causar danos ao produto ou desperdício. Desta forma, foi possível selecionar o melhor em termos de design mecânico e eletrônico. Posteriormente, foi elaborado aquele que obteve a maior pontuação no programa Solidworks, por meio de análise estrutural. Desta forma, o protótipo foi construído e montado, para posteriormente implementar um controle de monitoramento remoto em conjunto com um protocolo de segurança contra possíveis falhas elétricas; finalmente, foram realizados testes funcionais. Paralelamente, foram analisados os materiais adequados à construção, destacando-se os padrões internacionais do Codex Alimentarius. O custo final de fabricação também foi destacado, apresentando uma queda significativa em relação aos equipamentos fabricados no mercado, o que sem dúvida é favorável às PMEs.

Palavras-chave: chã; moldagem; prédio; conjunto; semiautomático.

INTRODUCCIÓN

Los desafíos de las microempresas de lácteos en el departamento de Nariño en cuanto a su producción y comercialización están relacionados con la falta de implementación de tecnología en su parte operativa, en los cuidados frente a la manipulación, control de calidad y seguimiento del producto. Por tal razón, el objetivo de la presente investigación está enfocado a desarrollar un prototipo semiautomatizado para la elaboración de quesos a partir del molido y moldeo de la cuajada mediante la implementación de tecnologías, con el fin de ejecutar y optimizar dichos procesos.

Entre las tecnologías que se utilizaran se encuentran: la automatización del proceso de moldeo, por medio de un actuador lineal y un control semiautomático compuesto por seis etapas. La primera etapa corresponde a la energización; la segunda, activación; la tercera, etapa de control; la cuarta, protección; la quinta, visualización, y la sexta, componentes externos; lo anterior, con el fin de realizar el proceso de manera óptima y disminuir los riesgos productivos y de comercialización.

Se inició con la semiautomatización porque se requiere valorar y emplear la mano de obra humana como complemento de este prototipo y, a su vez, con la posibilidad de que la tecnología y las personas puedan trabajar en conjunto, y así evitar que la automatización provoque desplazamiento de los trabajadores.

Entre las ventajas que ofrece el prototipo semiautomático de molido y moldeo de quesos está la reducción del tiempo de producción, mayor nivel de calidad -porque se conservan las características organolépticas del producto-, la reducción de contaminación de la materia prima y la reducción de desperdicios.

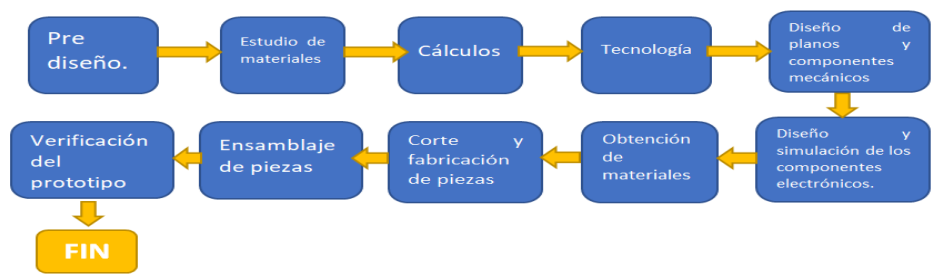
Por tanto, el aporte de la implementación de los prototipos semiautomatizados en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) nariñenses favorece la cadena productiva de la región. Los PYMES se apropian de la necesidad de innovar, de aplicar estrategias tecnológicas y creativas, que permitan medir la producción total de sus bienes y servicios (PIB).

Metodología

Para la realización del prototipo semiautomático de molido y moldeo de quesos se realizó las siguientes actividades, de manera cronológica, las cuales se observan en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de bloques para la metodología



A continuación, se presenta a detalle cada una de las etapas:

- **Prediseño:** En esta actividad se realizó tres bocetos a mano alzada, con el fin de escoger el que mejor se adapte a las condiciones y al tamaño del queso (15 cm), para el proceso de molido y de moldeo.
- **Estudio de materiales:** Se realizó un estudio de las normas sanitarias y de las características de los materiales, con el fin de escoger los más adecuados para la producción y elaboración de productos alimenticios. En la Tabla 1 se muestra el análisis de dichos materiales.

Tabla 1

Análisis de materiales

Análisis	Duraderos	Impermeables	Lisos	Puros	Fácil mantenimiento	Baja contaminación
Acero Aisi 316	X	X	X	X	X	X
Aluminio	X	X	X	X	X	X
Hierro	X	X	X			
Cobre	X	X	X			

Los materiales que cumplen todas las características del análisis son: Acero Inoxidable AISI 316 y Aluminio. Dichos materiales fueron escogidos por su alta resistencia a la corrosión, por ser duraderos, impermeables, lisos, de bajo costo, puros, de fácil mantenimiento y por su bajo nivel de contaminación hacia el alimento.

- **Cálculos:**

Para definir las especificaciones del prototipo se debe considerar los parámetros expuestos en la Tabla 2.

Tabla 2
Especificaciones del prototipo

Elemento	Especificación
RPM del motor	1800
Potencia del motor	½ HP
Capacidad de la tolva molido	5 kg por minuto
Procesa	2 kg por minuto
Peso total del prototipo	22.5KG

El diseño detallado del prototipo se divide en cinco partes, así:

1. Torque y potencia: El torque se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$T = F \cdot r \quad (1)$$

Pérez (2014) afirma que analizando las diferencias entre distintos tipos de motores junto con sus características, se obtuvo que el torque correspondiente para moler 5 kg de maíz es de:

$$T = 2.461 \text{ N.m} \quad (2)$$

Teniendo este dato, se procedió a calcular la potencia por medio de la siguiente ecuación:

$$P = T \cdot W \quad (3)$$

Donde T corresponde al valor de la ecuación 6 y W es igual a N2 de la ecuación 4, al remplazar estos valores se obtiene:

$$P = 2.461 \text{ N.m} \cdot 39.89 \text{ rad.s} = 98.16 \text{ W} \quad (4)$$

La potencia obtenida es de 98.16 W.

2. Motor: Con base en los requerimientos de potencia mínimos definidos anteriormente, un motor de 1800 W sería suficiente para la elaboración del proyecto; sin embargo, se hizo la prueba con un motor monofásico de 1800 rpm con ½ HP de potencia, el cual se verificó y arrojó buenos resultados, superando las exigencias de la potencia.

La velocidad de salida del motor fue de 381.0 rpm, por lo tanto, se requiere efectuar una reducción de velocidad por medio de una relación de transmisión, como se indica a continuación:

$$i = \frac{1800rpm}{381.0rpm} = 4.72 \quad (5)$$

Se concluye que el uso de una relación de velocidad de 4.72 se puede conseguir con dos poleas; la primera de 3 in y la segunda de 14.1 in.

Velocidad Tangencial

Según Física Practica (s.f.), “la velocidad tangencial es constante para un mismo punto. A mayor distancia del eje, la velocidad tangencial aumenta. Su dirección varía continuamente, teniendo siempre la misma dirección que la recta tangente al punto en donde se encuentre el móvil” (párr. 6). Dicha velocidad se encuentra con la siguiente ecuación:

Donde: V=Velocidad en metros, D=Diámetro en metros, N= Numero de rpm.

$$v = \frac{D * \pi * n}{60000} = \frac{Dxn}{19100} \quad (6)$$

$$v = \frac{360 * \pi * 1800rpm}{60000} = \frac{33,92m}{s} \quad (7)$$

De la ecuación 7 se infiere que la velocidad tangencial es de 33,92 m/s

Potencia a transmitir

“una transmisión mecánica de potencia es aquella que transmite de una fuente de potencia a otra máquina mecánica, incrementando, manteniendo, o decreciendo la velocidad y el torque” (Taípe y Caiza, 2016, p. 13), la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{E \times V}{75} \quad CV \quad (8)$$

Donde: N= Potencia en CV, E= Esfuerzo tangencial en Kg, V=Velocidad en m/s

Se procede a remplazar los valores en la ecuación 9, como se indica a continuación:

$$N = \frac{0,507cv \times 33,92m/s}{75} = 0,220v \quad (9)$$

De la anterior ecuación se puede inferir que la potencia transmitida es 0,220cv=0,217hp, se realizó cambio de unidades de cv a hp.

- 3. Poleas:** El esfuerzo tangencial (E) se calcula conociendo la potencia a transmitir (N), en unidades de Cv y la velocidad (V) en unidades de m/s, con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{75 * n}{v} \quad kg. \quad (10)$$

Remplazamos los valores de $n=0.507cv$ y la velocidad de 33.92 m/s en la ecuación 11, de lo cual se obtuvo:

$$E = \frac{75*0,507cv}{33,92} = 1,112 \text{ Kg} \quad (11)$$

Se deduce que el esfuerzo tangencial (E) es igual a 1,112 kg

- 4. Bandas:** Se plantea usar una banda en V debido a los valores de la potencia. La sección de banda correspondiente sería "tipo A, ya que estas pueden manejar potencias entre ¼ a 10 hp entre ejes, variando la relación de transmisión (velocidad), de igual manera evita una elongación excesiva de la correa, permitiendo su flexión alrededor de las poleas" Coral (2019).

Se procede a realizar el cálculo de la longitud de paso o longitud externa de la banda con la siguiente ecuación:

$$Lc = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \quad (12)$$

Donde: $C = 420mm$, que corresponde a la distancia entre centros, $D=360 \text{ mm}$ y $d=76.2mm$, que son los diámetros de la polea menor y mayor, respectivamente. Al remplazar se obtiene:

$$Lc = 1638.43mm \quad (13)$$

Por otra parte, se calculó la longitud interna de la banda con la siguiente ecuación:

$$Li = Lc - 1.3 \quad (14)$$

Donde: Lc es el valor de la ecuación 13 y 1.3 es una constante. Se obtiene el siguiente resultado:

$$i = 163.843 - 1.3 = 162.54cm, 63.99 \text{ in} \quad (15)$$

Teniendo en cuenta este valor, se revisa la Tabla 3.

Tabla 3

Circunferencia interior de bandas en V

Sección	Circunferencia, pulg
A	26,31,33,35,38,42,46,48,51,53,55,57,60,62,64,66,68,71,75,78,80,85,90,95,105,113,120,128
B	35,38,42,46,48,51,53,55,57,60,62,64,65,66,68,71,75,78,79,81,83,85,90,100,103,105,144,158,210,240,270,300
C	51,60,68,75,90,96,105,112,120,128,136,158,162,173,180,195,210,240,270,300,330,360,39,420
D	120,128,144,158,162,173,18,195,210,240,270,300,330,360,390,420,480,540,600,660
F	180,195,210,240,270,300,330,360,390,420,480,540,600,660

Fuente: Budynas y Nisbett, 2012.

Teniendo en cuenta la ecuación 11, se determina que la banda es una A-64 y que la distancia entre centros debe ser de 42 cm.

Arco de contacto (A)

“La polea determinante en el diseño y en la duración de la vida útil de la correa será la de menor diámetro. Por ello, es necesario conocer el ángulo de contacto sobre esta polea” (Velasco, s.f.). Se aplica la siguiente ecuación:

$$A = 180 - 60 \frac{(D - d)}{E} \quad (16)$$

Donde: A es el arco de contacto; D, el diámetro de la polea mayor; d, el diámetro de la polea menor, y E, la distancia entre centros de las poleas. Al remplazar la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$A = 180 - 60 \frac{(360 - 76)}{420} = 139.42^\circ \quad (17)$$

Fuerza de deflexión

Uno de los procesos más importantes en las bandas en V es la tensión, ya que una tensión exagerada puede afectar la vida útil de la banda. Para esto se utiliza el método de “deflexión”, como se indica posteriormente.

Para calcular la fuerza de deflexión se debe conocer el valor de TL, el cual corresponde al tramo libre en metros, E que corresponde a la distancia entre los centros de las poleas, y los valores de diámetros como se indica la siguiente ecuación:

$$TL = \frac{E^2 - \left(\frac{D - d}{2}\right)^2}{1000} \quad (18)$$

Al remplazar los valores en esta ecuación se obtiene lo siguiente:

$$TL = \frac{420^2 - \left(\frac{360 - 76}{2}\right)^2}{1000} = 156.23 \text{ metros} \quad (19)$$

Una vez obtenido este resultado, se multiplica este valor por 16 mm/m para obtener la longitud de deflexión en milímetros, como se indica a continuación:

$$DF = 156.23 \text{mts} \times \frac{16 \text{mm}}{\text{mts}} = 2499.68 \text{ mm} \quad (20)$$

Al obtener este valor, se aplica una fuerza correspondiente para desplazar la correa 2499.68 mm, según lo planteado anteriormente, dicha fuerza corresponde a:

$$F = 1.4 \text{ KG} \quad (21)$$

Luego de encontrar este valor se procede a realizar una comparación con la Figura 2, para medir la tensión de la correa.

Figura 2

Fuerza de deflexión para medir la tensión

Perfil de la correa	Diámetro de la polea pequeña [mm]	Fuerza de deflexión	
		Correas nuevas [Kg]	Correas trabajadas [Kg]
A	75-90	1.5	1.0
	91-120	1.9	1.3
	121 o mayores	1.3	1.5
AX	75-90	1.9	1.3
	91-120	2.3	1.5
	121 o mayores	2.7	1.8
B	85 - 105	1.8	1.2
	106 - 140	2.7	1.8
	141 o mayores	3.2	2.4
BX	85 - 105	2.4	1.6
	106 - 140	3.2	2.2
	141 o mayores	4.1	2.7
C	175 - 230	5.1	3.4
	231 o mayores	7.2	4.8
CX	175 - 230	6.2	4.1
	231 o mayores	8.0	5.4
D	305 - 400	11.2	7.5
	201 o mayores	15.0	10.0
E	505 - 610	21.8	14.5

Fuente: shorturl.at/lnyC4

Como se indica en la ecuación 21, la fuerza para desplazar la correa Tipo A 2499.68 mm es de 1.4 Kg.

De la Figura 2 se puede inferir que la banda se encuentra distensionada, ya que el valor de la fuerza obtenido es menor a la fuerza de deflexión de correas nuevas.

Frecuencias de flexiones

“La frecuencia con que flexiona una correa es inversamente proporcional a su longitud, es decir, a mayor longitud de correa implica menor número de flexiones de cada sección, y por tanto mayor duración” (Luna y Poma, 2014, p. 56), la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{V \times Z \times 1000}{L} = \text{Flexiones segundo} \quad (22)$$

Donde: V= Velocidad m/s, Z=Numero de poleas, L=Longitud de m/m, F= Flexiones por segundo. Al remplazar los valores de la ecuación 22 se obtiene lo siguiente:

$$F = \frac{33,92m/s \times 1000}{1638,43} = 41,40 \text{ Flexiones por segundo} \quad (23)$$

Por lo tanto, se obtiene que la frecuencia de flexiones corresponde a 41.40 flexiones por segundo.

5. Rodamiento: La vida útil para una máquina agrícola o equipos técnicos es de 3.000 horas de funcionamiento (Zingg, 2009). Por otro lado, es importante conocer la duración en millones de revoluciones, este proceso se realiza con la siguiente ecuación:

$$L=rph \cdot h \quad (24)$$

Donde: rph es la velocidad de rotación en revoluciones por hora y h, la duración en horas (vida útil), L es el número de millones de revoluciones. Al remplazar se obtiene:

$$L = 234 \quad (25)$$

Los rodamientos solo soportan una carga radial no axial. Como mejor alternativa y la más económica es la de los cojinetes de bolas. Los rodamientos de bolas comprados tienen las siguientes características:

Capacidad de carga radial = 13600N

Capacidad de carga estática radial=6600N

Carga límite de fatiga = 345N

De igual manera, en la Figura 3 se indica las características de carga dinámica.

Figura 3
Características de carga dinámica

Carga radial dinámica equivalente
 $P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$

$\frac{f_0 F_a}{C_0}$	e	Fa / Fr ≤ e		Fa / Fr > e	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19	1	0	0.56	2.3
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.3				1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1

Fuente: shorturl.at/imZ23

- **Análisis funcional:** En esta actividad se realizó una investigación de los dispositivos tecnológicos a utilizar en el prototipo, como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4

Análisis funcional

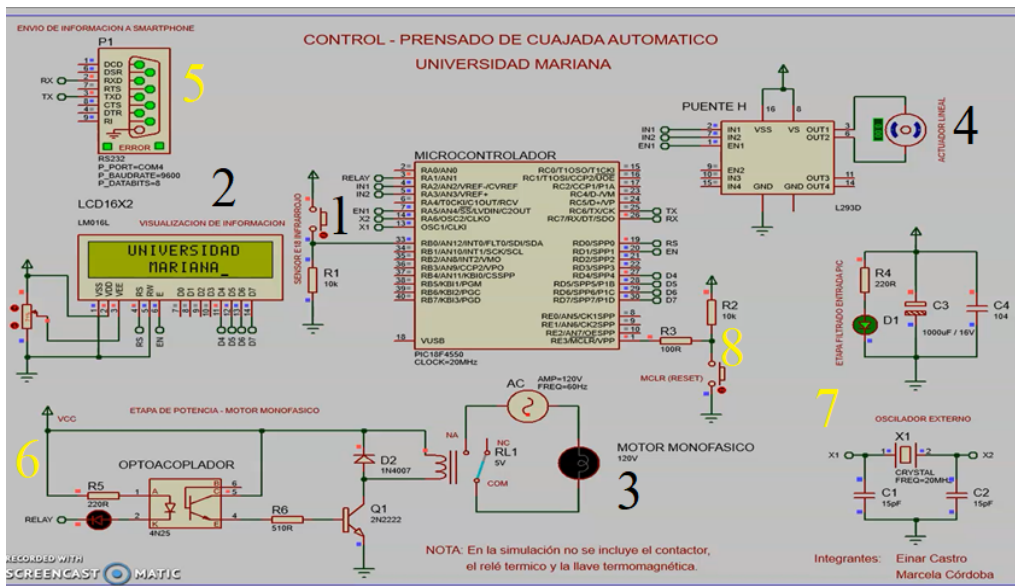
Tecnología	Acción
Motor eléctrico a 110v	Convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación
Contactor	Abrir y cerrar circuito
Poleas	Disminuir velocidad del motor
Correa	Permite el giro de las poleas
Actuador	Prensar
Molino	Triturado7
Tolva	Entrada y recipiente de alimento
Tanque de almacenamiento	Recepción de alimentos
Malla milimétrica	Desuerado
Sensor infrarrojo e18	Detección de tanque de almacenamiento
Driver de motor 30 amperios	Control de motor (corriente)
Fuente 12v 10 amperios	Alimentación controlada
SensorDs1302	Controla el actuador
Bluetooth	Enviar datos
Módulo relé	Abrir y cerrar el paso de corriente
Llave termomagnética	Interrumpir corriente eléctrica cuando sobrepasa los valores máximos
Teléfono	Recepción de datos enviados por bluetooth
Lcd	Muestra de procesos y acciones en los que se encuentran los componentes eléctricos
Pic	Memoria de programa a ejecutar

Fuente: Castro y Córdoba, Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana.

- **Diseño de planos de componentes mecánicos:** En esta etapa se realizó los planos de diseño por piezas con medidas en formato A4, de igual manera, su correspondiente ensamble y despieceado en el programa Solidworks 2016.
- **Diseño de la simulación y sus correspondientes componentes elementos:** Se realizó la simulación de los componentes electrónicos en el programa PROTEUS, el cual consiste en el encendido y apagado de la fase uno (molido) y la activación del actuador, con el fin de realizar la fase dos (moldeo), como se indica en la Figura 4.

Figura 4

Simulación en proteus del sistema electrónico



En la Figura 4 se puede observar que el simulador se divide en 4 fases, así: las subrayadas con el color negro representan los procesos principales, ya que se puede observar su funcionamiento en el prototipo, y las etapas secundarias señaladas con color amarillo cumplen funciones internas, como se detalla a continuación.

Procesos principales:

1. Sensor infrarrojo E18 es el encargado de la detección del tanque de almacenamiento, recibe y envía una señal para dar inicio al proceso de molido.
2. Pantalla display Lcd indica los estados del prototipo por medio de mensajes.
3. Motor monofásico Ac se encarga de transformar la energía eléctrica en mecánica para ejecutar el proceso de molido en el prototipo.
4. Punto H controla el movimiento horizontal del actuador lineal eléctrico.

Procesos secundarios:

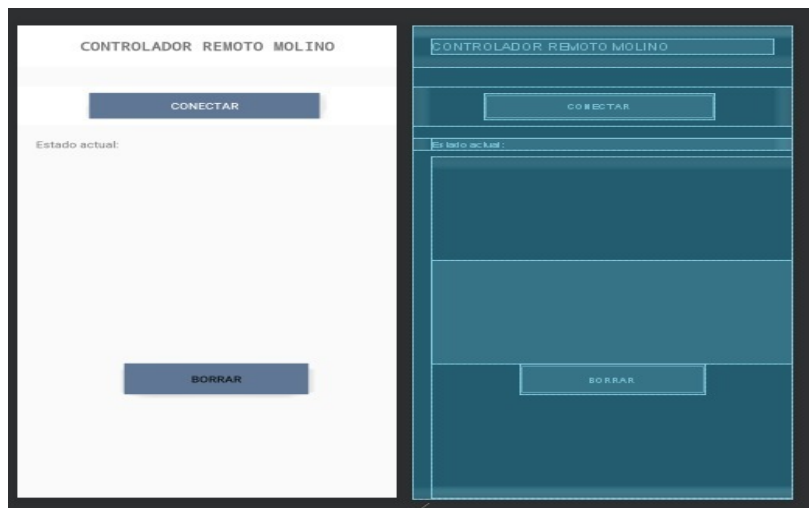
1. RS232 es el puerto virtual que representa la conectividad de un dispositivo móvil, sustituido en el prototipo por un módulo Bluetooth HC05.
2. Optoacoplador es el interruptor que recibe señal infrarroja (sensor E18) para dar arranque al motor.
3. Filtrado tiene como función proteger señales de frecuencias indeseadas como ruidos o interferencias.
4. Reset se encarga de reiniciar el microcontrolador a su estado inicial.

La programación correspondiente se realizó en MPLABX. En esta aplicación se ordena y se crea líneas de código para convertirlas en órdenes a los componentes electrónicos.

- **Diseño de la interfaz gráfica:** Se representa en el programa Android Studio. Los estados del prototipo, como se indica en las Figura 5 y 6, se pueden evidenciar, ya que reciben la señal del módulo Bluetooth HC05 y se remite a un teléfono móvil antes conectado. La interfaz gráfica del teléfono indica un título referente: “control remoto molino” y dos botones: el primero tiene como función conectar y desconectar con un dispositivo Bluetooth; el segundo permite borrar lo que se encuentra en la interfaz gráfica.

Figura 5

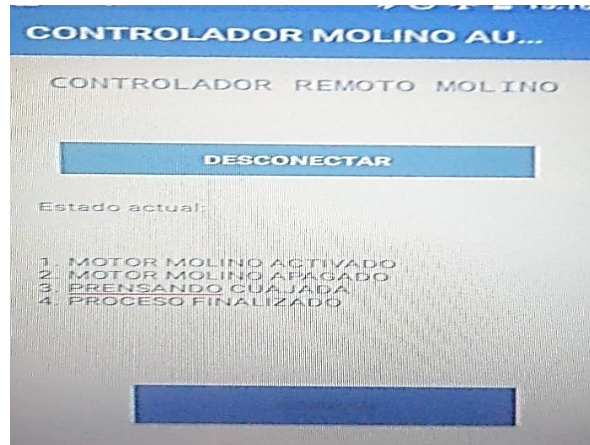
Interfaz gráfica Android Studio



En el estado actual aparecen las acciones que se están realizando en el prototipo como: motor molino activado, motor molino apagado, prensando cuajada y proceso finalizado, tal como se indica en la Figura 6.

Figura 6

Interfaz Android Studio, estados del prototipo

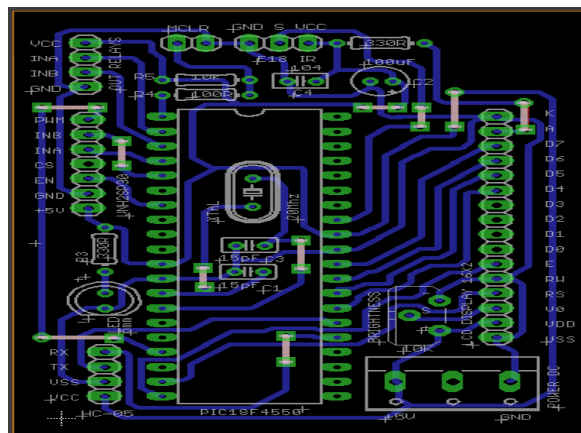


El código se realizó e implementó en el programa Android Studio.

- **Diseño del circuito eléctrico e impreso (PCB):** Para el procesamiento y ejecución del sistema eléctrico en PCB se importan los componentes eléctricos al panel de trabajo de Eagle, posteriormente, se realiza un esquemático, el cual está compuesto por símbolos y líneas de los componentes electrónicos y sus conexiones en el circuito, como se indica en la Figura 7.

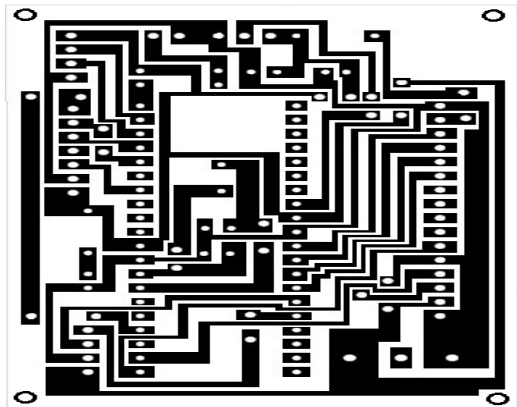
Figura 7

Diseño del circuito impreso PCB



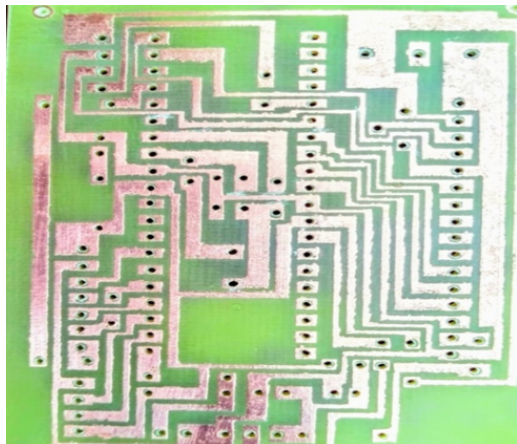
Una vez verificado que no contiene errores, se procede a la impresión de este circuito eléctrico en una impresora láser, se utilizó hojas de papel transfer, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8
Impresión del diseño Pcb



Para finalizar se realiza el planchado sobre la tarjeta (baquela o fibra), adhiriéndose así totalmente a la baquela, posteriormente, se introduce la tarjeta en un recipiente, el cual contiene ácido nítrico combinado con agua, a continuación, se remueve el papel transfer de la tarjeta, de manera que se obtiene como resultado final el circuito impreso, como se observa en la Figura 9.

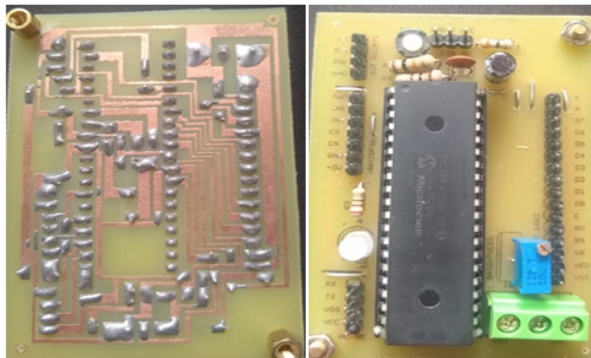
Figura 9
Circuito impreso



Una vez obtenido el circuito impreso se realiza pruebas de continuidad entre los caminos, para determinar si los trayectos del circuito estan despejados; se procede a soldar los componentes sobre la placa del circuito impreso, asegurandose de que tengan buen contacto electrico, como se indica en la Figura 10.

Figura 10

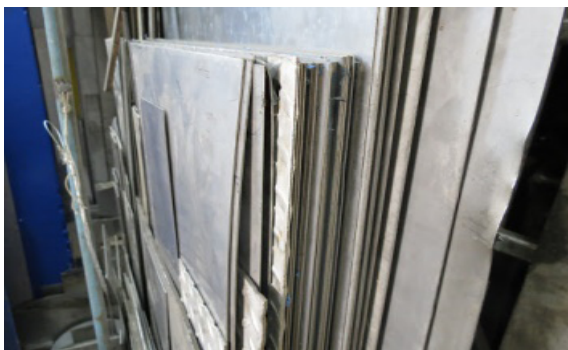
Circuito impreso Pcb final



- **Obtención de los materiales:** En esta fase se obtuvo las láminas de acero inoxidable y de aluminio para la fabricación del prototipo, como se indica en la Figura 11.

Figura 11

Láminas de acero y aluminio



- **Cortes y fabricación de piezas en contactos con los alimentos:** Una vez se obtuvo el material, se realizaron los cortes para la fabricación del prototipo. Una de estas piezas fue la tolva para la recepción del alimento, como se muestra en la Figura 12, esta se realizó según la capacidad de producción de las microempresas en el departamento de Nariño, la cual va de 5 kg a 8 kg de materia prima; las dimensiones se muestran en la etapa de cálculos.

Figura 12

Tolva



Fuente: Castro y Córdoba,
Ingeniería Mecatrónica,
Universidad Mariana.

- **Ensamblaje de las piezas:** En esta etapa se realizó el ensamblaje de cada una de las piezas fabricadas, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Materiales de construcción



Fuente: Castro y Córdoba, Ingeniería
Mecatrónica, Universidad Mariana.

Resultados

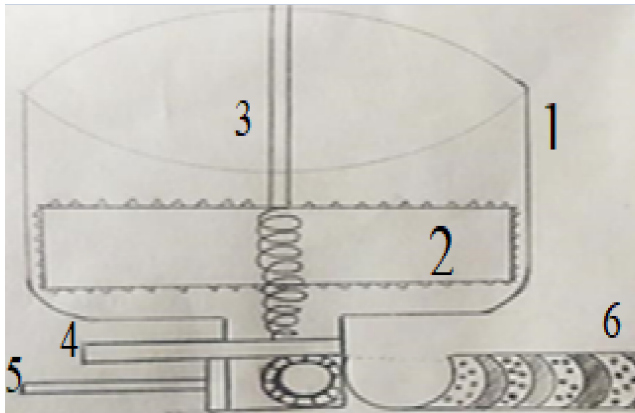
Prediseño

En esta etapa se realizó tres bocetos a mano alzada, como se observa en las Figuras 14, 15 y 16.

- **Primer boceto- propuesta uno**

Figura 14

Primer boceto a mano alzada



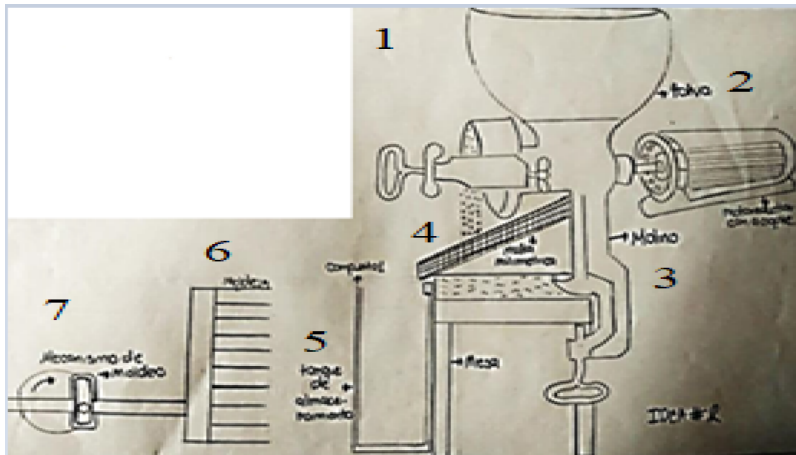
El primer boceto a mano alzada se encuentra numerado del 1 al 6. A continuación, se describen sus elementos:

1. Tolva de almacenamiento permite la recepción del producto.
2. Aspa ejecuta el proceso de molido alrededor de la tolva.
3. Tornillo sin fin tritura la materia prima (cuajada).
4. Compuerta permite el acceso de cuajada al actuador.
5. Actuador realiza el proceso de moldeo, llevando la materia prima (cuajada) al tubo de almacenamiento.
6. Tubo de almacenamiento recoge el queso de forma horizontal.

- **Segunda propuesta de diseño**

Figura 15

Segunda propuesta a mano alzada



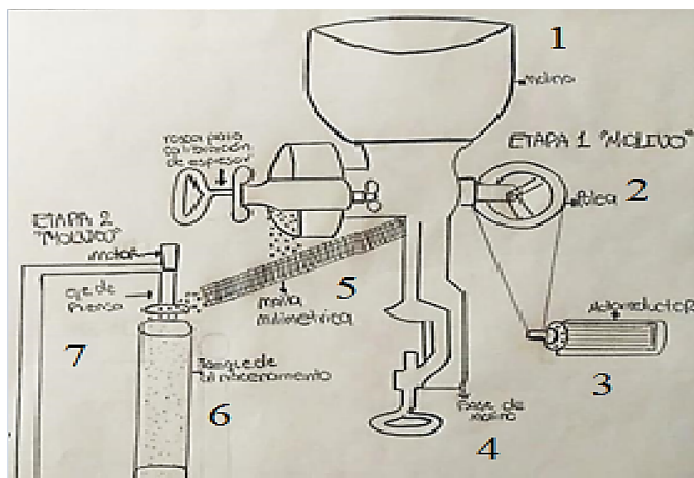
En la Figura 15 se observa el segundo boceto a mano alzada, el cual se encuentra numerado del 1 al 7, como se indica a continuación:

1. Tolva recibe el producto.
2. Motor permite el giro del tornillo sin fin para ejecución del proceso de molido.
3. Molino tritura la materia prima (cuajada).
4. Malla milimétrica recibe el producto para efectuar el proceso de desuerado.
5. Tanque de almacenamiento recibe la materia prima triturada.
6. Recipiente de moldes aloja el producto para la realización del proceso de moldeo.
7. Mecanismo de moldeo realiza el movimiento de biela, manivela manual.

- **Diseño final- propuesta tres**

Figura 16

Tercera propuesta a mano alzada



En la Figura 16 se observa el tercer boceto a mano alzada, el cual se encuentra numerado del 1 al 7 junto con la descripción de sus piezas, como se indica a continuación:

1. Tolva recibe el producto.
2. Polea reduce la velocidad.
3. Motor permite el giro del tornillo sin fin para ejecución del proceso de molido.
4. Molino tritura la materia prima (cuajada).
5. Malla milimétrica recibe el producto para efectuar el proceso de desuerado.
6. Tanque de almacenamiento recibe la materia prima (cuajada).
7. Actuador es el componente electrónico que efectúa un movimiento horizontal, con el fin de moldear la materia prima (cuajada) de forma automática.

Después de realizar las propuestas de diseño se realizó una comparación de propuestas, evaluando de 1 a 10, donde de 1 a 5 es deficiente, ya que causa maltrato en el producto, desperdicios, costos elevados y mayor dificultad en los procesos; y de 6 a 10 es excelente, ya que realiza correctamente las etapas, sin generar daños al producto ni desperdicios, los puntajes se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de evaluación de propuestas

Propuesta	Buen proceso de molido	Desuera-do	Baja mani-pulación	Buen mol-deo de quesos	Evita des-perdicios de material	Evitar maltrato del pro-ducto	Total
1	5	0	4	6	2	5	22
2	8	8	5	5	5	4	35
3	9	8	6	9	8	8	48

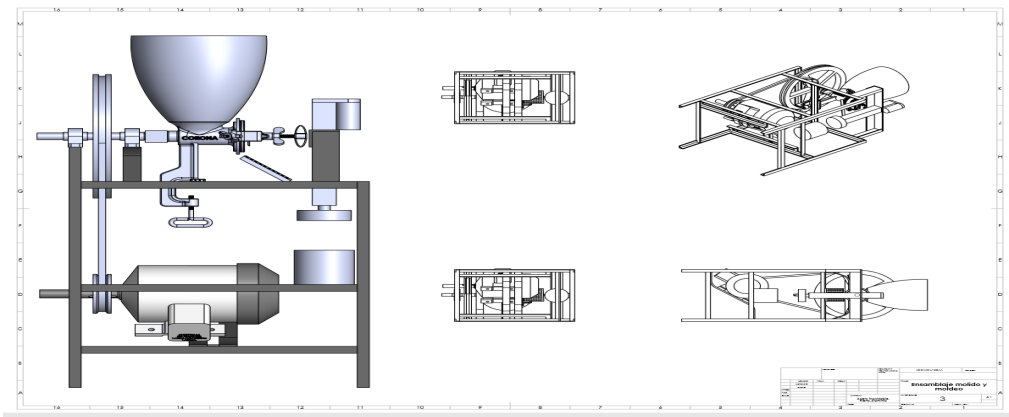
De esta manera, la tercera opción fue seleccionada con un total de 48 puntos, superando por 26 puntos a la opción uno y con 13 puntos a la opción dos. El modelo tres presenta un buen proceso de desuerado, mayor exactitud en el moldeo, lo cual evita el maltrato de la materia prima y con ello la no generación de desperdicios.

Diseño de planos y ensamblaje de componentes

En la Figura 17 se observa el diseño del prototipo semiautomático de molido y moldeo de quesos, diseñado en el software SolidWorks.

Figura 17

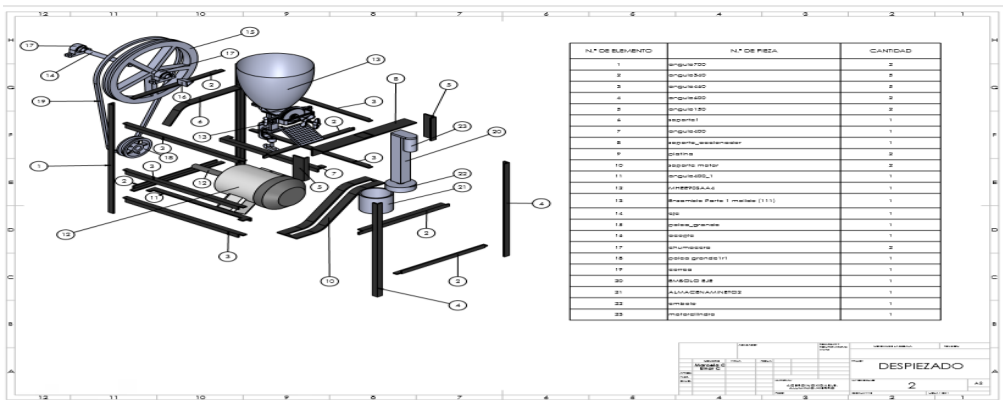
Diseño del prototipo semiautomático de molido y moldeo



Posteriormente, se realizó el despiezado del prototipo nombrando cada una de sus partes en el software SolidWorks, como se indica en la Figura 18.

Figura 18

Despiezado del prototipo de molido y moldeo de quesos

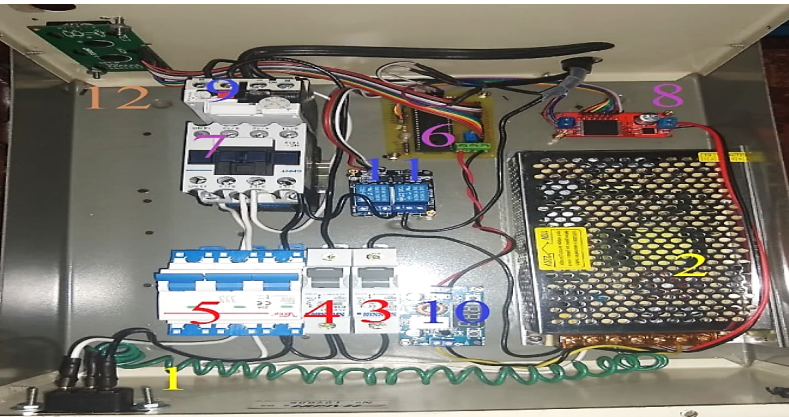


Diseño eléctrico y electrónico

El tema que se desarrolló en esta sección es el diseño, construcción y verificación del sistema eléctrico y electrónico. Una vez ejecutadas las simulaciones correspondientes y el diseño del circuito impreso (PCB) finalizado, se procedió con la construcción y ensamblaje del sistema electrónico, como se indica en la Figura 19.

Figura 19

Sistema de control eléctrico y electrónico



El sistema de control eléctrico y electrónico del prototipo semiautomático de molido y moldeo de quesos se encuentra numerado del 1 al 12, y se divide en seis etapas, como se indica a continuación:

- **Primera etapa**

La primera fase representada con el color amarillo, pertenece a la energización del sistema. El número 1 corresponde a la entrada de corriente alterna, la cual se dirige a una fuente de 12 voltios, la cual se encarga de alimentar a los componentes, está representada por el número dos.

- **Segunda etapa**

La segunda etapa se encuentra marcada con los números 3, 4 y 5 en color rojo, y corresponde a la etapa de activación o inicio del prototipo, como se indica a continuación:

3. Interruptor (Breaker): activa el sistema, energizando los componentes eléctricos.

4. Interruptor (Breaker): activa la bobina del contactor.

5. Interruptor (Breaker): se encarga de la activación del motor.

- **Tercera etapa (Control)**

Esta fase está marcada con los números 6, 7 y 8 en color morado, así:

6. Circuito de control recibe señales del sensor E18 y ordena al motor ejecutar el encendido.

7. Contactor permite el paso de corriente al motor.

8. Puente H controla el movimiento del servomotor lineal.

- **Cuarta etapa**

Esta fase se encuentra enumerada del 9 al 11 con el color azul, tienen como función la protección, como se explica a continuación:

9. Relé térmico protege de posibles sobrecargas al motor eléctrico.

10. Conversor de voltaje DC disminuye el voltaje de 12 v a 5v, con el fin de alimentar la tarjeta de control, sin causar corto eléctrico.

11. Relé doble canal, el cual se encarga de abrir y cerrar un circuito eléctrico.

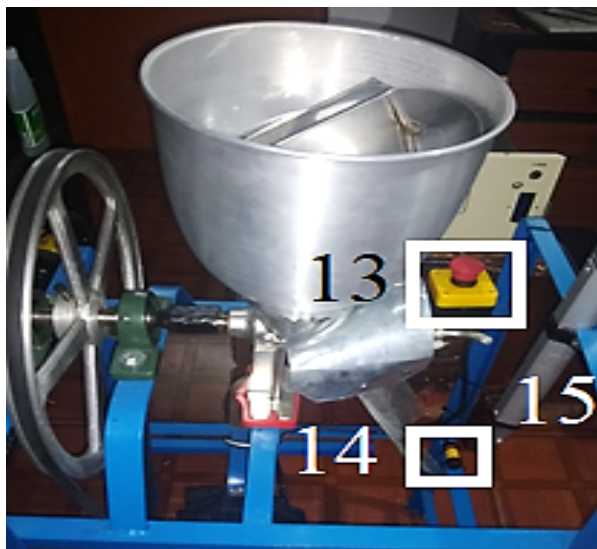
- **Quinta etapa**

En esta etapa se encuentra la pantalla display de visualización (LCD), la cual informa los estados del prototipo y las acciones a seguir, está representada con el color tomate y el número 12.

- **Sexta etapa**

Figura 20

Componentes electrónicos externos



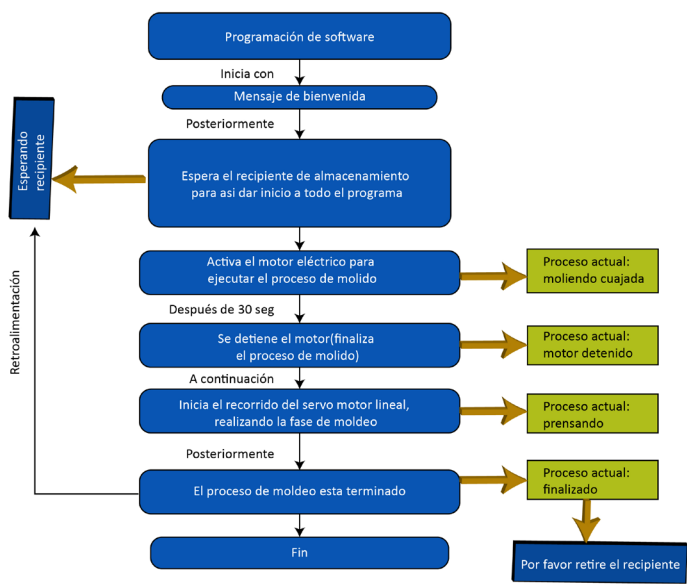
El prototipo de molido y moldeo de quesos cuenta con elementos electrónicos externos, como se indica en la Figura 20, los cuales están enumerados del 13 al 15, así:

13. Pulsador de paro de emergencia, elemento de seguridad y prevención que protege al prototipo y a su operario de posibles fallas mecánicas y eléctricas.
14. Sensor E18 permite detectar objetos dentro de su rango.
15. Servomotor lineal eléctrico se encarga de realizar el proceso de moldeo, efectuando un recorrido de manera horizontal.

Programación de software

Figura 21

Diagrama de flujo de la programación



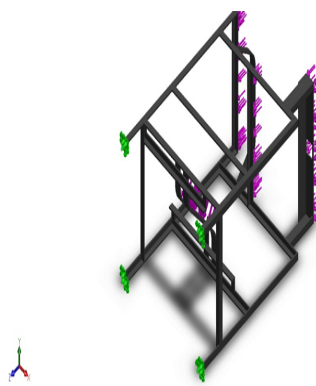
En la Figura 21 se puede observar el diagrama de flujo correspondiente a la programación del software. Dicha programación inicia con un mensaje de bienvenida, posteriormente, informa al operario que se encuentra a la espera de un recipiente de almacenamiento, cuando detecta el recipiente, por medio del sensor E18, inicia el proceso de molido, trasformando la energía eléctrica en energía mecánica al encender el motor monofásico durante 30 segundos, durante este proceso nos indica la LCD el siguiente mensaje: **moliendo cuajada**. Una vez se termina el proceso correspondiente se detiene el motor y, a su vez, aparece el mensaje: **motor detenido** en la pantalla display (LCD). Seguidamente, se inicia el proceso de moldeo con la activación del servomotor lineal, el cual efectúa un recorrido de manera horizontal hacia el recipiente de almacenamiento, simultáneamente se muestra el mensaje; **prensando** en la LCD, durante 10 segundos. Al concluir aparece el mensaje: **proceso actual finalizado**. Para completar el ciclo, el operario debe retirar el recipiente después de observar dicho mensaje en la pantalla LCD. En el momento en que el operario realice esta acción, se repetirá nuevamente el ciclo de programación en el prototipo.

Análisis Estructural

Para el análisis de la estructura se procedió a fijar la parte inferior, como se muestra en la Figura 36, representada por el color verde. La fuerza identificada por el color morado tiene una magnitud de $300\text{N} = 30.56\text{ KG}$, y simula el peso de los componentes en la parte superior, que se estimaron en 22.5 kg . Por lo tanto, se excede la fuerza para determinar lo que sucede con la estructura, como se observa en la Figura 22:

Figura 22

Estructura con fuerzas y sujeciones



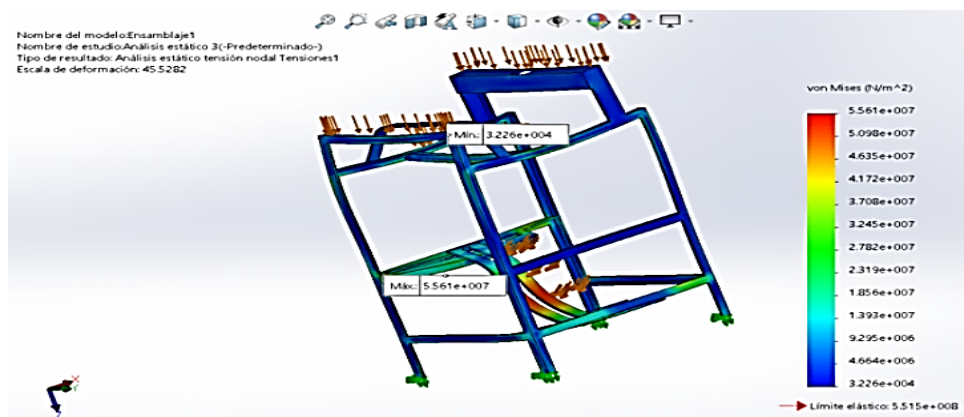
Nombre del modelo: Ensamblaje1
Configuración actual: Predeterminado

Como resultado del análisis se obtuvo la Figura 23:

Tensión

Figura 23

Esfuerzo de tensión



La estructura tiene un límite elástico de 74766.95 psi.

Para calcular el factor de seguridad se utilizó la siguiente formula:

Donde: es el esfuerzo máximo de von mises y equivale a 8065.55 Psi.

La Escuela Politécnica Superior (2019) afirma que la resistencia de fluencia o máxima resistencia de tensión (S_y) es de (14068.7-24946.5 Psi), del cual se seleccionó el valor máximo para realizar este cálculo, como se muestra a continuación:

Lo anterior indica que el factor de seguridad es 3.09.

Construcción del prototipo

Haciendo alusión al objetivo: “construir el prototipo para el control del molido y prensado de quesos campesinos”, se dividió el proyecto en dos etapas. La primera corresponde al molido y la segunda se refiere al moldeo y estructura.

La etapa de molido está formada por: molino, motor, poleas, ejes y rodamientos. En la Figura 24 se muestra esta fase a nivel de diseño y construcción.

Figura 24

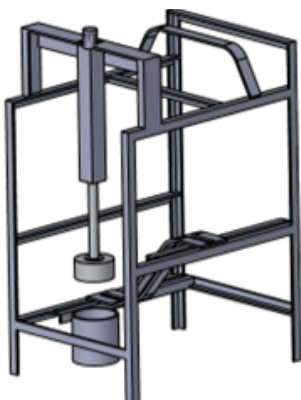
Molino



La etapa de moldeo y estructura está conformada por: actuador lineal eléctrico, tanque de almacenamiento y estructura. En la Figura 25 se indica dicha fase a nivel de diseño y de construcción:

Figura 25

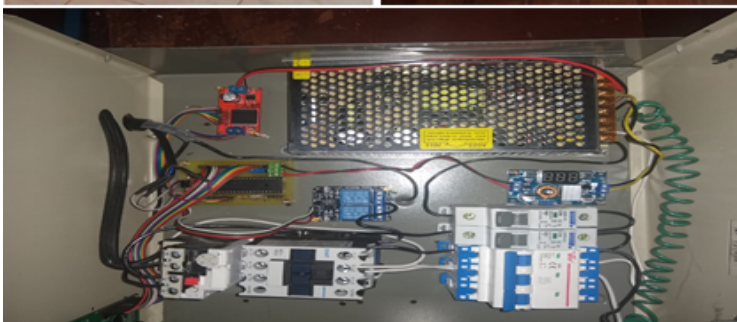
Estructura del prototipo



Para el ensamble se procedió a unir las dos etapas: molido y moldeo-estructura, cada una con su adecuado procedimiento electrónico, como se indica en la Figura 26.

Figura 26

Ensamble del prototipo



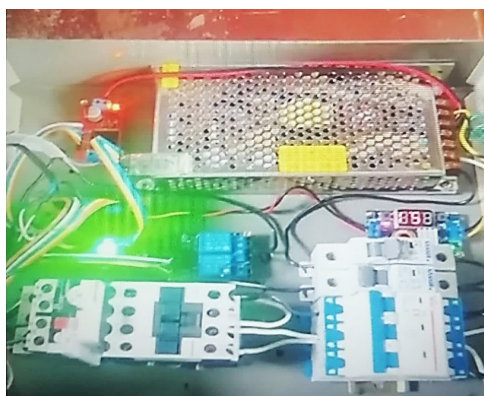
En la Figura 26 se puede evidenciar el procedimiento mencionado y se da cumplimiento total al objetivo, ya que se implementó tecnología, normas del CODEX ALIMENTARIUS, optimización del tiempo de producción, calidad del producto, innovación en cuanto a manejo y control.

Pruebas de verificación del funcionamiento

Posterior a la construcción y ensamblaje del prototipo de molido y moldeo de quesos, se procede a realizar una prueba con la materia prima (cuajada), con el fin de evidenciar los resultados obtenidos. En la Figura 27 se puede observar la energización y activación del sistema.

Figura 27

Energización y activación del prototipo



Una vez activado el sistema, se procede a depositar la materia prima (cuajada) acompañada de la sal en la tolva de recepción, como se indica en la Figura 28.

Figura 28

Ingreso de materia prima



Una vez depositada la materia prima, el prototipo se encuentra en la espera del tanque de almacenamiento, como se indica en la Figura 29.

Figura 29

Detección del tanque de almacenamiento



En el momento en que el sensor E18 detecte la presencia de este tanque de almacenamiento iniciara el proceso de molido durante 30 segundos, como se muestra en la Figura 30.

Figura 30

Proceso de molido



Al final el proceso de molido, el prototipo inicia la etapa de moldeo durante 10 segundos, como se indica en la Figura 31.

Figura 31

Proceso de moldeo



Una vez completado este proceso, se retira el tanque de almacenamiento para iniciar reiteradamente el ciclo de molido y moldeo.

Es importante resaltar la importancia de los cálculos para la construcción del prototipo, principalmente con respecto a motor y poleas en relación a la fuerza y distancia que ejercen estos dos componentes, ya que si llegasen a ser desproporcionales generarían daños eléctricos y electrónicos por una fuerza mayor o menor a la que se debe mantener el motor o viceversa. El prototipo fue construido con un tamaño adecuado para facilitar la manipulación y el transporte del mismo al respectivo lugar de trabajo. Además, se diseñó un manual de funcionamiento y mantenimiento como apoyo para la manipulación del prototipo por parte de los operarios. La seguridad se refleja en el paro de emergencia, como se observa en la Figura 32, ya que previene situaciones que puedan poner en peligro al operario y, de igual manera, evitar daños en la máquina o en trabajos en curso, minimizando posibles riesgos.

Figura 32

Paro de emergencia



Conclusiones

Se diseñó y se construyó el prototipo semiautomático para molido y moldeo de quesos campesinos.

Los componentes mecánicos facilitaron el transporte del prototipo a su estación de trabajo y su respectiva operación. Se verificó el funcionamiento eléctrico y electrónico, mediante simulaciones en donde se garantizó la efectividad del prototipo.

Después de realizar las pruebas en el prototipo, se concluye que el sensor infrarrojo E18 debe ubicarse de 5 a 20 cm de distancia del tanque de almacenamiento, para su adecuado funcionamiento.

El prototipo se diseñó en acero inoxidable y aluminio, cumpliendo con la norma sanitaria del CODEX ALIMENTICIUS.

Se utilizó un tornillo sin fin, ya que cumple con la característica de hacer grandes reducciones de la materia prima en espacios reducidos.

La estructura fue diseñada para soportar 300N de fuerza, presentando un punto mínimo de tensión de 32257.1 N/m^2 , un máximo de $5.56093\text{e}+007 \text{ N/m}^2$ y un límite elástico de $5.515\text{e}+008 \text{ N/m}^2$

El prototipo tiene producción de 2 kg de queso por minuto, ajustándose a las PYMES nariñenses, que tienen una capacidad promedio de 2 a 5 kg de queso por minuto.

El prototipo diseñado emplea una relación de transmisión de una polea mayor de 14.1in y una polea menor de 3 in, con el fin de mejorar la producción de quesos y mantener la velocidad del motor

Después de realizar las pruebas de verificación, se concluye que el prototipo cumple con los procesos de molido y moldeo de quesos.

Referencias

Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (J. Murrieta, Trad.; 9.^a ed.). McGraw Hill. (Trabajo original publicado en 2008).

Física Práctica. (s.f.). Velocidad en MCU. <https://www.fisicapractica.com/velocidad-tangencial-mcu.php>

- Luna, J. y Poma, P. (2016). *Diseño y construcción de una cortadora de Pasto tipo remolque para zonas agrícolas con capacidad de 600 m²/h"* (tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana). Repositorio IPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6982>
- Taípe, N. y Caiza, L. (2016). *Diseño e implementación de un multiplicador de fuerzas para la optimización de energía eléctrica, para el cuarto de máquinas de energías alternativas de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica Cotopaxi, periodo 2016* (tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi). UTC Repositorio Institucional. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3607>
- Velasco, G. (s.f.). Ingeniería Industrial. Elementos de máquinas [Diapositivas]. file:///C:/Users/UMARIANA/Downloads/BANDAS_TRAPEZOIDALES.pdf
- Zingg, A. (2009). Vital útil y uso anual de los tractores agrícolas en el Valle de Cajamarca-departamento de Cajamarca. Periodo 1996-2007. *Anales científicos*, 70(2), 207-215.