

MÁQUINA ESTIRADORA DE MELCOCHAS CON CAPACIDAD PARA 25 LIBRAS DE MASA.

López Cheza Byron Hernán
Ing. Carlos Villareal
byron22adx@hotmail.com
Universidad Técnica del Norte

Resumen.- Este proyecto, tiene como principal propósito mejorar el proceso de elaboración de la melcocha, este producto tradicional es muy reconocido en el Ecuador y de gran demanda en otros países, es fabricado de forma completamente artesanal. [1]

Este proyecto está enfocado principalmente en el proceso de estirado de la melcocha, proceso donde se estira el producto durante algunos minutos, además de ser un proceso poco ergonómico para el artesano, el cual debe trabajar con el producto a una temperatura elevada y debe realizar un gran esfuerzo físico con sus brazos para obtener la consistencia característica del producto. [2]

Palabras Claves: estiradora, aséptica, beneficios, calidad, mejorar, producir, problemática, recursos.

Abstract. -

This project, its main purpose is to improve the process of pulling taffy. This traditional product is very recognized in Ecuador and other countries, it completely handcrafted.

This project focuses mainly on the process of pulling the taffy, a process where the product is stretched for a few minutes, a process nothing Ergonomic for the craftsman. They work with the product at high temperature and a great physical effort with the arms to obtain the characteristic consistency of the product.

Keywords: pulling machine, aseptic, benefits, quality, improve, produce, problematic, resources.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación está comprendida en seis capítulos que constituye la problemática, el objetivo general y los objetivos específicos que se pretende cumplir, así como también el alcance y la justificación del proyecto.

Se explica las características del producto, el proceso de elaboración artesanal, los tipos de máquinas y su funcionamiento.

En otro apartado se detalla las alternativas de diseño, y los factores que sirvieron para el análisis y la selección de la mejor alternativa, referente al diseño y selección de elementos mecánicos de la máquina.

Se muestra los cálculos realizados para determinar los esfuerzos a los que se somete la máquina, la resistencia de sus materiales, y los métodos de selección de los elementos mecánicos. Luego de la parte mecánica viene la parte eléctrica, donde está el diseño del circuito de control y fuerza para el accionamiento del motor reductor.

Al final de todo el proceso investigativo esta lo referente a la construcción, y puesta a punto de la máquina, donde se muestra el proceso que se llevó a cabo para la fabricación y montaje de los diferentes elementos de la máquina.

2. ANTECEDENTES

En el Ecuador la melcocha es un producto muy tradicional de elaboración artesanal tipo confitura, producido básicamente de miel espesa de panela o miel de azúcar.

La melcocha se prepara con panela y agua. Ambos componentes deben hervir hasta que la mezcla quede en un punto de caramelo. Luego, la masa se coloca sobre planchas de piedra para que se enfríe, una vez que la masa esta tibia, se la estira en ganchos de madera empotrados en las paredes, se oxigena y se hace de color blanquecino. [2]

En uno de sus procesos importantes como es el estirado de la melcocha, se utiliza las manos por un tiempo considerable, lo que reduce la higiene y por ende la calidad del producto.

Los artesanos realizan una tarea poco ergonómica al trabajar con una gran cantidad de masa de melcocha diariamente, además esta requiere de fuerza para estirar y sostener el producto durante algunos minutos hasta conseguir el punto adecuado. La temperatura de la melcocha representa un riesgo para el artesano debido a que cuando se la manipula

aún está caliente y por ende el artesano puede sufrir quemaduras.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Modernizar el proceso de estirado de la melcocha para mejorar la higiene y ergonomía en su elaboración.

2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema mecánico apropiado que permita estirar la melcocha sin el contacto manual de una persona.
- Implementar la parte eléctrica y los respectivos botones para el encendido y apagado, necesarios para el adecuado funcionamiento de la máquina.
- Montar la máquina por completo con todos los subsistemas que la conforman.
- Realizar las pruebas de trabajo del sistema mecánico planteado.
- Realizar el manual de usuario y de mantenimiento correspondiente.

3. DESARROLLO

La máquina amasadora de melcochas brazos tipo vertical, esta constituida en cuatro sistemas como se detalla en *figura 1* [3]

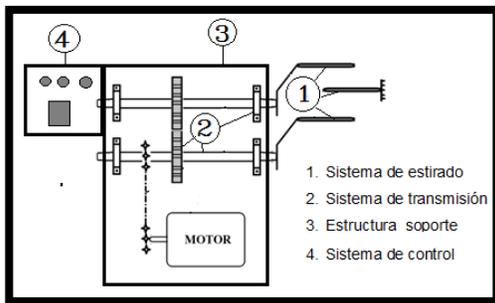


Figura 1. Esquema general de la máquina.

3.1. SISTEMA DE ESTIRADO

Este sistema extiende y estira la masa, donde cada brazo va a girar de forma excéntrica, plegando varias veces el producto hasta conseguir la consistencia que caracteriza a la melcocha.



Figura 2. Sistema de amasado

3.1.1. Fuerza de estiramiento

Para determinar la fuerza necesaria para realizar el estiramiento de la masa de melcocha, se utiliza una balanza romana, con un peso de 12kg, donde se obtuvo como máximo valor 25 kg.

3.2. DIAMETRO DE LOS EJES DE AMASADO

Para dimensionar el diámetro se toma en cuenta la carga la que estará sometido el eje, donde tenemos una fuerza de estiramiento (F_e). En el elemento existen un esfuerzo flector y un esfuerzo de corte. Para el análisis se representa como una viga redonda en voladizo.

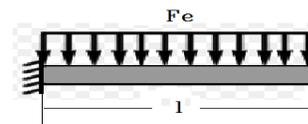


Figura 2. Viga en voladizo.

Dónde:

A : Punto de empotramiento

F_e : Fuerza de estiramiento

$$F_e = 245,25 \text{ N}$$

n : Factor de Seguridad

l : longitud de los ejes de amasado

$$l = 0,28 \text{ m}$$

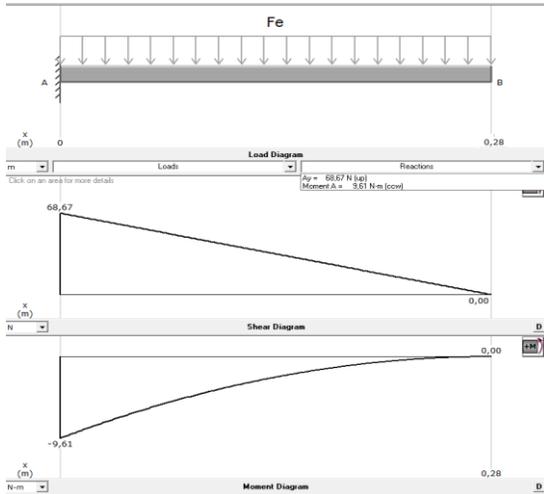


Figura 3. Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector.

Para el diseño estático se toma el momento flector máximo. Mientras que se desprecia el esfuerzo cortante.

$$d = \left[\frac{32n(M)}{\pi S_y} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Se asume un factor de seguridad de $n = 3$

$$d = 0.0102 \text{ m}$$

$d = 19,05 \text{ mm}$. Estándar comercial.

3.2.1. Análisis dinámico

Para el diseño dinámico del eje se deben determinar los esfuerzos, mediante las fuerzas máximas y mínimas que actúan en el eje fijo.

Dónde:

M_f : Momento flector

$$M_f = Fe \frac{l^2}{2}$$

F_{\max} : Fuerza máxima de estiramiento = 245.25 N

F_{\min} : Fuerza mínima de estiramiento = 117.72N

$M_{fa} = 5 \text{ Nm}$; $M_{fm} = 14,22 \text{ Nm}$

$$\sigma_{fa} = 7,37 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} ; \sigma_{fm} = 20,9 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

El material seleccionado para la construcción del brazo es acero inoxidable AISI 304, el cual tiene las siguientes características de resistencia del material:

$$S_y = 40 \text{ Kpsi} = 276 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 82.4 \text{ Kpsi} = 568 \text{ Mpa}$$

Para el diseño a fatiga comenzamos calculando el primer valor, que es S_e ,

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e$$

$$S'_e = 0.504 S_{ut}$$

$$S_e = 247,20 \text{ Mpa}$$

Una vez calculado el valor del límite de fatiga se utiliza la ecuación de Soderberg,

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Despejamos, n :

$$n = 9,11.$$

Podemos concluir que el factor de seguridad es alto, por lo tanto, tenemos como diámetro un valor de 19.05mm, medida estándar. El material utilizado para el eje de amasado es un acero inoxidable 304.

3.3. DISEÑO DE LOS BRAZOS

Para este proyecto se tienen dos brazos de una longitud 20 cm, se investiga las medidas estándar de platina de acero inoxidable, más cocidas en el mercado nacional. En la siguiente figura se detalla las especificaciones de la platina.

Dimensiones		Propiedades	
Ancho (a)		Espesor (e)	Peso
Pulg	mm	mm	Kg/m
1"	25,4	3	-
1 1/2"	38,1	3	0,955
1 1/2"	38,1	4	1,195
1 1/2"	38,1	6	1,920
2"	50,8	3	1,186
2"	50,8	4	1,560
2"	50,8	6	2,386

Figura 4. Platinas Acero Inoxidable

Para el diseño del brazo se utiliza una platina de 50.8 mm de ancho (a), y un espesor (e) de 6 mm.

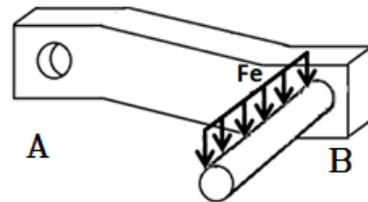


Figura 5. Brazo De Amasadora.

3.3.1. Análisis de esfuerzos

Para el análisis de esfuerzo y obtener el diagrama de cortes y momentos se utilizó el programa MdSolid.

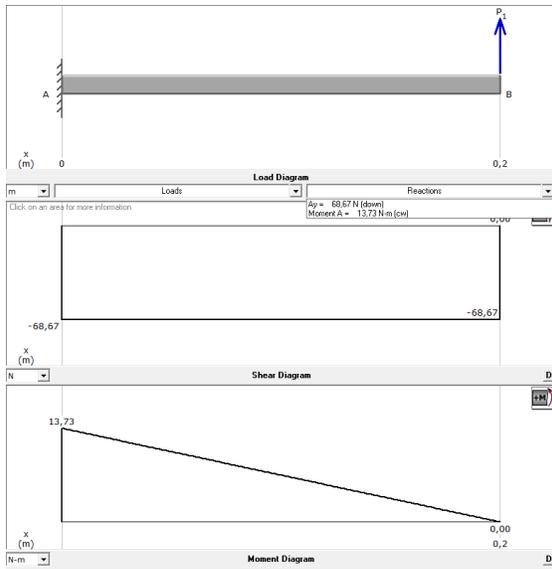


Figura 6. Diagrama De Cortes Y Momentos.

Donde,

$$R_A = 68,67 \text{ N}$$

$$M_1 = 68,67 * 0,20 \text{ m}$$

$$M_1 = 13,73 \text{ Nm}$$

$$T = 9,61 \text{ Nm}$$

3.3.2. Flexión

El momento flector alcanza un máximo valor en el extremo a, equivalente a $M_{fmax} = 13.73 \text{ N}$, entonces el esfuerzo flexionante de una sección rectangular estará dado por la ecuación 4.9.

$$\sigma_{fmax} = \frac{M_f}{Z} \quad \text{ecuación 3.12}$$

$$\sigma_{fmax} = 5.4 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Dónde,

σ_{fmax} = esfuerzo flexor máximo.

M_f = Momento flexor máximo.

Z = Módulo de Sección rectangular

3.3.3. Torsión

El esfuerzo en torsión está dado por la ecuación

$$\tau = \frac{T}{\alpha hb^2} \quad \text{ecuación 3.13}$$

Donde,

$$\tau = 18,40 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Aplicamos la teoría de esfuerzo cortante máximo para determinar n, tenemos:

$$(\sigma_{fmax}^2 + 3\tau^2)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

$$n = 7$$

3.3.4. Diseño dinámico

Para el diseño dinámico del brazo se deben determinar los esfuerzos, mediante las fuerzas máximas y mínimas que actúan en el sistema.

Dónde:

$$M_{fmax} = 13,73 \text{ Nm}; M_{fmin} = 6,59 \text{ Nm}$$

$$T_{max} = 9,61 \text{ Nm}; T_{min} = 4,61 \text{ Nm}$$

Calculo de los esfuerzos flectores

$$M_{fa} = \frac{M_{fmax} - M_{fmin}}{2}; M_{fm} = \frac{M_{fmax} + M_{fmin}}{2}$$

$$M_{fa} = 3,57 \text{ Nm}; M_{fm} = 10,16 \text{ Nm}$$

Ahora aplicamos la ecuación y determinamos los esfuerzos,

$$\sigma_f = \frac{M_f}{Z} = \frac{\pi d^3}{32}$$

Obtenemos los esfuerzos aplicando la ecuación:

$$\sigma_{fa} = \frac{M_{fa}}{Z}$$

$$\sigma_{fa} = 1,4 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \sigma_{fm} = 0$$

Para el calcular los esfuerzos de torsión utilizamos los momentos torsores máximo y mínimo, y los aplicamos en la siguiente ecuación.

$$\tau_{a,m} = \frac{T_{max} \mp T_{min}}{2}$$

$$\tau_a = 2,5 \text{ Nm}$$

$$\tau_m = 0$$

$$\sigma_{\tau a} = \frac{\tau_a}{0,2905hb^2}$$

$$\sigma_{\tau a} = 4,78 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_a = (\sigma_{fa}^2 + 4\sigma_{\tau a}^2)^{1/2}$$

$$\sigma'_a = 9,6 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \sigma'_m = 0$$

El material seleccionado para el brazo es una platina de acero inoxidable, con las siguientes características.

$$S_y = 40 \text{ Kpsi} = 250 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 82.4 \text{ Kpsi} = 550 \text{ Mpa}$$

3.3.5. CÁLCULO DEL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FÁTIGA DEL ELEMENTO MECÁNICO

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e$$

$$S'_e = 0.504 S_{ut}$$

$$S_e = 87.21 \text{ Mpa}$$

Una vez calculado el valor del límite de fatiga utilizamos la ecuación de Soderberg,

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$n = 9$$

Luego de realizar el análisis de fatiga con una platina de estándar comercial, se tiene como factor de seguridad 9. Por lo tanto la platina tendrá un grosor de 6mm y un acho de 5.8mm.

3.4. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN

Para seleccionar el motor a utilizar, consideramos la velocidad de rotación.

Operarios	Primera amasada	Amasado final	Promedio
Prueba 1	13	30	21.5
Prueba 2	16	31	23.5
Prueba 3	14	28	21
Velocidad adecuada	21	30	

Tabla 1 Velocidad de Rotación

Después de analizar los datos obtenidos mediante pruebas se obtiene una velocidad promedio de 30 ciclos por minuto, pero por razones comerciales se adopta una velocidad de 60 rpm como máxima velocidad.

Torque necesario para mover los brazos.

Para obtener este dato se utilizó la fuerza estiramiento más el peso de la melcocha. Además se duplicada ya que son dos brazos, y se le suma la carga con la que se trabaja. [4]

$$T = 150Nm$$

Potencia necesaria para girar los brazos

$$P = T * \omega$$

Donde,

$P =$ Potencia (Kw).

$T =$ Torque (Nm).

$\omega =$ Velocidad angular (rad/seg).

Por lo tanto,

$$P = 942 \text{ watts}$$

Calculamos la potencia mecánica que requiere el motor, mediante la ecuación

$$P_m = \frac{P}{\eta_c}$$

$P_m =$ Potencia Mecánica

$\eta_c =$ factor de Rendimiento de la cadena (98%) (Sección 1.6.2)

$$P_m = \frac{942,48}{0,98}$$

$$P_m = 961,74 \text{ watts}$$

Se calcula la potencia eléctrica P_e del motor reductor que esta dada la ecuación 4.21

$$P_e = \frac{P_m}{\eta_m}$$

Asignando el factor de rendimiento del motor como equivalente al 76%, tomado del catálogo del fabricante.

Por lo tanto,

$$P_e = 2HP$$

Para seleccionar el motor debemos determinar el torque necesario, que sea capaz de superar la resistencia producida por la melcocha. Para nuestra maquina hemos seleccionado un motor las características son:

Marca:	Watt Drive
Potencia:	1.5 Kw.
Voltaje:	240V.
Amperaje:	7.8 A.
Velocidad motor:	1650 rpm.
Frecuencia:	60Hz.
Reducción	i: 27.
Velocidad de salida:	60 rpm.
Rendimiento	M: 75%

Tabla 2. Características Del Motor Reductor

3.5. DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN

Par el diseño del eje es necesario determinar las fuerzas producidas por la cadena, los engranes rectos, y las fuerza de estiramiento que se produce en los demás elementos previamente diseñados, Para eso contamos con los siguientes datos.

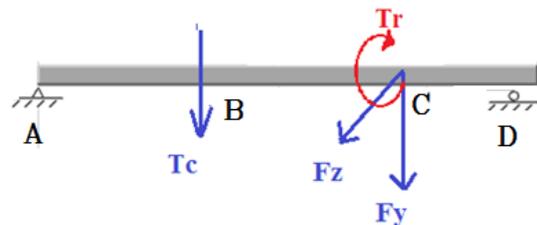


Figura 7. Eje de transmisión de potencia

Donde,

$$F_y = 2232,15N$$

$$F_z = 585.59 N$$

$$T_r = 150 Nm$$

$$T_c = 4895.016 N$$

3.5.1. Análisis de Esfuerzos

El eje se lo analizara en los dos planos, tanto en el plano XY como en el plano XZ, que son en donde actúan las diferentes cargas.

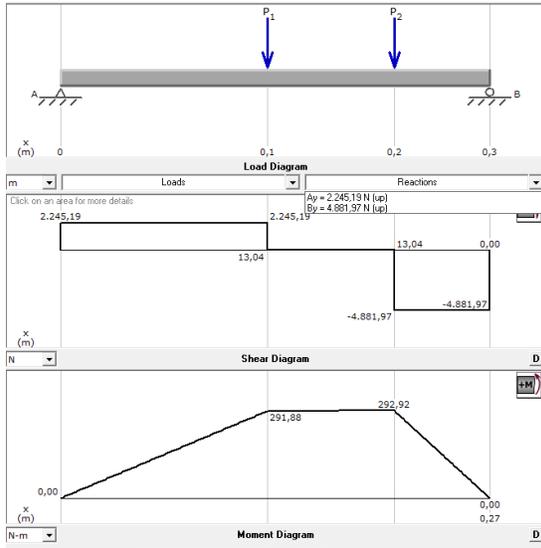


Figura 8. Diagrama De Cortes y Momento Plano XY.

Donde,

$$R_{AY} = \text{reacción en el apoyo A} = 2245 \text{ N}$$

$$R_{DY} = \text{reacción en el apoyo D} = 4481 \text{ N}$$

$$M1 = 291.88 \text{ Nm}$$

$$M2 = 292.95 \text{ Nm}$$

Determinamos el momento flector máximo mediante el análisis de fuerzas cortantes, y podemos decir que este se encuentra en el punto c.

$$M_{fmaxXY} = 292.95 \text{ Nm}$$

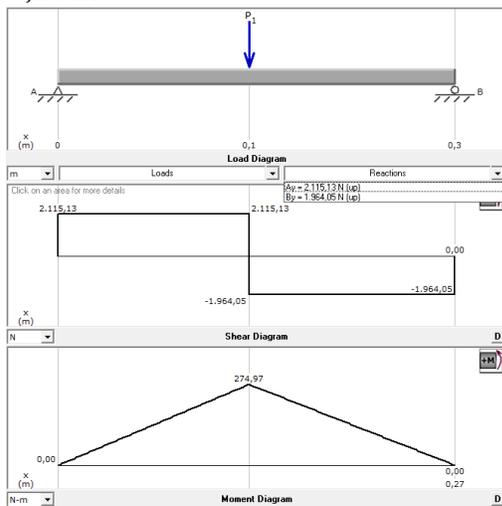


Figura 9. Diagrama De Cortes y Momento Plano XZ.

Donde,

$$R_{AZ} = \text{reacción en el apoyo A} = 2115 \text{ N}$$

$$R_{DZ} = \text{reacción en el apoyo D} = 1964 \text{ N}$$

$$M3 = 274.97 \text{ Nm}$$

En este plano existe un solo momento, por lo tanto es el momento flector máximo

$$M_{fmaxXZ} = 274.97 \text{ Nm}$$

Luego de determinar los momentos flectores máximos en los dos planos, calculamos el momento flector máximo resultante.

$$M_{fmax} = \sqrt{M_{fmaxXY}^2 + M_{fmaxXZ}^2}$$

$$M_{fre} = 401,76 \text{ Nm}$$

3.5.2. Diseño Estático

Como el eje está sometido a flexión y torsión se utiliza la ecuación 4. De la teoría de la energía de distorsión

$$d = \left[\frac{32n(M^2 + T^2)^{1/2}}{\pi S_y} \right]^{1/3}$$

$$d = 0.0285 \text{ m}$$

Flexión alternante

Para el diseño dinámico del eje se deben determinar los esfuerzos, mediante las fuerzas máximas y mínimas que actúan en el sistema.

$$\sigma_f = \frac{32 M_f}{\pi * d^3}, \quad Z = \frac{I}{c} = \frac{\pi d^3}{32}$$

Dónde:

$$\sigma_{fa} = 0$$

3.5.3. Torsión continúa

Se establecen las ecuaciones de los esfuerzos de amplitud y de esfuerzo medio tanto para torsión, con las que se determina los esfuerzos equivalentes en función del diámetro. Aplicamos la ecuación

$$\sigma_\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

Donde,

$$\sigma_\tau = \text{esfuerzo torsor}$$

Obtenemos los esfuerzos aplicando la ecuación 3.4

Entonces:

$$\sigma_{faeq} = \sqrt{\frac{32 M_f a}{\pi * d^3} + 3 \left(\frac{16 T}{\pi d^3} \right)^2}$$

$$\sigma_{fmeq} = 0$$

3.5.4. CÁLCULO DEL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FÁTIGA DEL ELEMENTO MECÁNICO

Los ejes de transmisión serán diseñados en Acero SAE 1020 CD (Recocido en caliente). El cual tiene las siguientes características:

$$S_y = 393 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 468 \text{ Mpa}$$

Para el diseño a fatiga comenzamos calcula el primer valor, que S_e , para esto procedemos a calcular los diferentes factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, utilizamos la ecuación 3.6

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e$$

$$S'_e = 0.504 S_{ut}$$

$$S_e = 99.95 \text{ Mpa}$$

Aplicamos la teoría de falla Goodman Esfuerzo seguro:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

Se asume un $n=2$

Despejamos d , y obtenemos el diámetro óptimo.

$$d = 0,0318 \text{ m} \approx 1\frac{1}{4} \text{ in.}$$

4. SISTEMA ELÉCTRICO [4]

La máquina está compuesta por un motor trifásico a 220v, el cual es activado a través de un variador de frecuencia. WEG CFW-10, el cual esta instalado adecuadamente en el tablero de control de la máquina. Como se puede observar en figura



Figura 10. Tablero de control

La máquina se controla externamente a través del panel de control como se muestra en la *figura 11*.

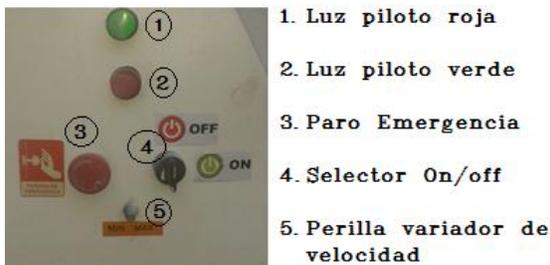


Figura 11. Panel de control

Para el variador de velocidad se pueda controlar externamente es necesario configurar las funciones de entrada y variación de velocidad como se muestra en *la tabla 10*. [5]

4.1. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

Funciones	Parametros	Rango
Entrada analógica	221 y 222,	1
Variación de velocidad	235	1
Entradas Digitales	263,264, 265, 266,	4

Figura 10. Parámetros Variador.

5. CONCLUSIONES

- Con la utilización de la máquina estiradora de melcochas, se reduce la intervención del artesano para estirar la miel, en un 80 % ya que solo interviene en el instante en el que se coloca la miel en la máquina.
- La utilización del variador de frecuencia CFW10 se garantiza una velocidad de giro del motor de 30 rpm, en el caso de poner una cantidad diferente de masa, el variador permite variar de 0 a 60 rpm.
- En base a pruebas de campo realizadas con los artesanos expertos en la elaboración de melcochas, se comprueba que el producto final que se obtiene con la máquina es similar al producto elaborado artesanalmente. Comparado con respecto al color y textura del producto.
- El uso de la máquina estiradora de melcochas, permite al artesano una mejor ergonomía en la producción de melcochas. Ya que se reduce el riesgo de lesione musculares o posibles quemaduras.

6. RECOMENDACIONES

- Para poner en marcha la máquina verificar el correcto ajuste de las piezas.
- Al finalizar el trabajo diario realizar la limpieza del equipo, en especial los brazos amasadores.
- Realizar el respectivo mantenimiento de cada uno de los sistemas que conforman la máquina de acuerdo al plan de mantenimiento. Para garantizar su vida útil.
- Se recomienda no sobrepasar la capacidad máxima para la cual está diseñada la maquina estiradora de melcochas.

Autor



BYRON HERNAN LOPEZ CHEZA

Nació en la ciudad de Ibarra –Imbabura- Ecuador, el 11 de Julio de 1988.

Estudios Universitarios realizados en la Universidad Técnica del Norte, Carrera de ingeniería Mecatrónica.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Entre dulces artesanales se ofrecen en Bogotá destinos del Ecuador a potenciales turistas <http://www.andes.info.ec/es/turismo-reportajes/391.html>,» 01 03 2012

[2] C. O. G. Carolina, Proyecto de Inversión para la Industrialización y Comercialización de Melcocha en Guayaquil, 2011

[3] R. L. Norton, Diseño De Máquinas, PEARSON.

[4] Sadiku, Fundamentos de Circuitos Eléctricos, México: Mc Graw Hill, Tercera edición.

Robert L. Mott, P. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: PEARSON EDUCACIÓN.

[5] WEG Equipamientos eléctricos S.A., Manual Del Convertidor de Frecuencia, Brazil, 2011.