

Diseño de un prototipo de máquina peletizadora del mezquite dulce para la alimentación del ganado vacuno y porcino

Design of a prototype of a sweet mesquite pelletizing machine for feeding cattle and pigs

Recepción del artículo: 25/02/2023 • Aceptación para publicación: 14/04/2023 • Publicación: 30/06/2023

● <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.309>

María Victoria Gómez-Águila*

Abel Enriquez-Sánchez

Marcelino Benito Vásquez-López

Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano

Universidad Autónoma Chapingo. Centro de investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura (CIISCINASCY). Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. México-Texcoco Chapingo, Edo. México. México.

Alfredo Castellanos-Suárez

Universidad Autónoma Chapingo. Centro de investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura (CIISCINASCY). Departamento de Sociología Rural. México-Texcoco Chapingo, Edo. México. México.

Marcelino Aurelio Pérez-Vivar

Universidad Autónoma Chapingo. Centro de investigaciones Interdisciplinarias y de Servicio en Ciencia, Naturaleza, Sociedad y Cultura (CIISCINASCY). Departamento de Fitotecnia. México-Texcoco Chapingo, Edo. México. México.

*Autor para correspondencia: mgomez@chapingo.mx

Resumen

El objetivo del presente trabajo consistió en diseñar una máquina peletizadora para la producción de alimento animal a partir de mezquite dulce. El diseño de la máquina respondió a la solicitud de los clientes, consistente en una máquina pequeña con una productividad de 640 kg día⁻¹ en 8 horas de trabajo. Durante el diseño de la peletizadora se efectuaron los cálculos correspondientes de resistencia, el dimensionamiento y la selección de los materiales adecuados para la estructura y demás sistemas que componen la máquina, tales como: sistema de transmisión, eje de transmisión, sistema acondicionador, sistema de peletización.

La máquina recibe una mezcla pre-elaborada y triturada, la cual es procesada a través de los sistemas de distribución, compresión, corte, descarga y embalaje. El sistema de granulación de la máquina comienza con la entrada de alimentos en la tolva, distribuyéndose posteriormente desde las paletas hacia los rodillos en el sistema de compresión y desplazándose hacia la cara de un troquel. Los rodillos aplican una fuerza de compresión que obliga al alimento a pasar a través de orificios. Una vez extruido el alimento, los pellets son cortados por cuchillas y almacenados en el fondo de la máquina, donde se coloca un recipiente. El tamaño promedio del pellet a producir por el diseño propuesto resulta de: 10,55 mm de longitud con un diámetro de 4,13 mm.

Palabras clave: Diseño, pellet, ejes, poleas motrices.

Abstract

The present work consisted in designing a pelletizing machine for the production of animal feed from sweet mesquite. The design of the machine responded to the request of the clients, consisting of a small machine with a productivity of 640 kg day⁻¹ in 8 hours of work. During the machine design, the corresponding resistance calculations, sizing and selection of the appropriate materials for the structure and other systems that make up the machine were made, such as: transmission system, transmission shaft, conditioning and pelletizing systems.

The machine receives a pre-elaborated and crushed mixture, which is processed through the distribution, compression, cutting, unloading and packaging systems. The granulation system of the machine begins with the entry of food into the hopper, being subsequently distributed from the vanes towards the rollers in the compression system and traveling towards the face of a die. The rollers apply a compression force that forces the food to pass through the holes. Once the feed has been extruded, the pellets are cut by blades and stored at the bottom of the machine, where a container is placed. The average size of the pellet to be produced by the proposed design is: 10.55 mm in length with a diameter of 4.13 mm.

Keywords: Design, pellet, shafts, drive pulleys.

Introducción

El Mezquite es un árbol o arbusto leñoso que se desarrolla en las regiones áridas y semiáridas de México, presentando múltiples usos. Es un recurso biótico con amplia distribución geográfica en zonas áridas mexicanas. Para las etnias nómadas precolombinas fue y sigue siendo muy útil. Lo utilizan como fuente de alimento, material de construcción, combustible y uso medicinal, sus comunidades proporcionan sitios para recreación humana, refugio de fauna silvestre. En la actualidad, según Ruiz (2011), se le considera con potencial como forraje para la alimentación de animales; las vainas y flores del mezquite son consumidas por el ganado doméstico y la fauna silvestre; es una fuente de néctar para abejas y otros insectos. Por otro lado, la goma de mezquite puede ser un sustituto de la goma arábica, de importancia en la industria como agente emulsificante, entre otros usos. Las vainas y semillas se utilizan para elaborar una harina para consumo humano de excelente calidad (Lara, 2014, Vásquez *et al.*, 2015). El Mezquite es un árbol o arbusto leñoso, el tallo se ramifica a baja altura, en ocasiones al nivel del suelo, alcanzando 2 / 10 entre 12 a 15 m de altura. La madera del Mezquite es dura, pesada y consistente. Las hojas son bipinnadas, y las flores son sumamente pequeñas, encontrándose agrupadas en inflorescencias en espigas, produciendo un aroma y néctar agradable para la polinización (Rodríguez *et al.*, 2014) afirman que el Mezquite presenta un amplio uso para la alimentación de diferentes animales, como es el caso, del empleo de las vainas para la elaboración de concentrados, en la alimentación de las cabras, las ovejas omaníes, etc., en sustitución de los concentrados comerciales. A través del tiempo, con ayuda de investigaciones multidisciplinarias, el entendimiento de la fisiología y la nutrición de los animales ha llevado a la industria productora a formular mezclas apropiadas para la producción segura de aves de corral que servirán de alimento para la población mundial. Esta responsabilidad exige un entendimiento de las propiedades físicas y químicas del producto para darle las cantidades mínimas de proteínas, vitaminas y calorías necesarias para que se alcance un nivel nutricional

adecuado que el animal no podría encontrar mediante otros métodos de alimentación (Vásquez *et al.*, 2015). Las vainas de Mezquite se emplean en la alimentación del ganado vacuno y porcino, ya que son ricas en nutrientes y minerales, y por ser un alimento dulce. La alimentación eficiente de los cerdos es una de las prácticas más importantes de una porqueriza, ya que de ella depende no solo los rendimientos productivos de los cerdos, sino también la rentabilidad de la granja. La alimentación representa entre un 80 a un 85% de los costos totales de producción. Por esta razón es importante que el porcicultor conozca ciertos conceptos importantes relacionados con la alimentación eficiente de los cerdos, así como aquellos factores que pueden afectar el uso eficiente de un programa de alimentación. Entre los nutrientes que deben recibir los cerdos en la dieta, se encuentran las proteínas, los minerales, las vitaminas y los energéticos. Unos se requieren en mayor cantidad; mientras que otros en menor cantidad; sin embargo, todos son importantes y la falta de uno de ellos afecta los rendimientos productivos de los cerdos. Las proteínas están formadas por aminoácidos (Vásquez *et al.*, 2015). En el caso de la harina de soya actualmente empleada para la elaboración de los concentrados tradicionales para la alimentación de los cerdos en particular, así como para otros animales de forma general, es posible su sustitución en determinadas raciones por la harina o el pellets de Mezquite, y se aportan ahorros económicos considerable en la elaboración de la dieta de dichos animales, por ser un cultivo que se da de forma silvestre en la zona objeto de estudio, manteniendo similares características nutricionales en dicha dieta.

Tomando en cuenta la experiencia de los productores de la región de Izúcar de Matamoros, Puebla, las vainas de mezquite, pueden ser utilizada como sustituto de la soya en la alimentación de cerdos, sin embargo, a pesar de ser muy aceptada por éstos, la consumen hasta que se cansan de masticar y no hasta ser saciados, por lo que no la aprovechan de la mejor manera ya que al ser masticadas por el ganado, la semilla se desprende con facilidad de la vaina, desperdiándose los nutrientes. Como vía para la solución de esta dificultad, surge la presente investigación, en el que se pretende desarrollar el

equipamiento requerido para el molinado y peletizado de dichas vainas de Mezquite. En investigaciones realizadas se aprecian estudios relacionados con diferentes sistemas de peletizadoras para la alimentación de peces, a partir de diferentes productos, lo cual es una práctica realizada a nivel internacional con frecuencia, (Regupathi *et al.*, 2019), sin embargo, las máquinas que se comercializan en el mercado internacional son muy costosas, limitando la adquisición de las mismas. Otra de las limitaciones en el funcionamiento activo de la máquina, es el período de trabajo en fase con la cosecha del mezquite comprendido entre los meses de julio a septiembre de cada año. Por tal motivo el objetivo principal de la investigación consiste en el diseño de un prototipo de máquina peletizadora de las vainas del Mezquite dulce (*Prosopis Glandulos Foliile*) para la alimentación del ganado vacuno y porcino, de bajo costo de fabricación, mantenimiento, y reparación.

Materiales y métodos

Para el diseño y dimensionado de la máquina peletizadora de la planta de mezquite (Figura 1), se establece el flujo tecnológico por los que deberá transitar y transformarse la planta (Figura 2), para finalmente obtener lo pellets proveniente de la harina de mezquite. Esto son: alimentación 1 - extracción de humedad a través de túnel de secado 2, trituración del mezquite 3, vaciado a la máquina peletizadora 4.



Figura 1. Planta del mezquite.

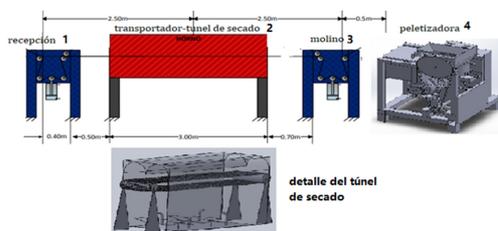


Figura 2. Flujo tecnológico para peletizar la harina de mezquite.

El prototipo de máquina peletizadora (figura 3) es accionado por un mecanismo de transmisión compuesto por poleas y bandas, accionado por un motor eléctrico. La etapa de alimentación de la pre-

mezcla de harina húmeda ingresa de forma manual a la tolva que dosifica y permite un proceso continuo, además de garantizar la seguridad del operario. La premezcla llega a la etapa de acondicionamiento por gravedad, un eje de paletas la transporta y homogeniza a la vez que se le suministra vapor (humedad y calor), buscando darle las condiciones adecuadas antes de la etapa de preformado del pellet. En la etapa de preformado, la mezcla es sometida a un proceso mecánico de transformación, dado por una fuerza de presión que aglomera y densifica el alimento en pequeñas porciones. Esto se realiza, mediante un par de rodillos acanalados montados sobre un mismo eje, que giran independientemente sobre una matriz horizontal a la que se le transmite movimiento accionado por una polea acoplada al motor. La etapa de preformado, es generada por las cuchillas que cortan el pellet según el tamaño predeterminado, en función de la velocidad de giro de la matriz. Por último, se embalan en costales o contenedores.

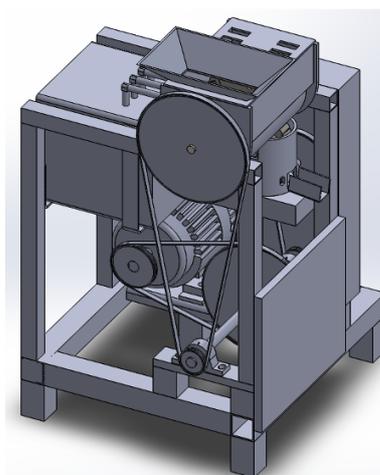


Figura 3. Prototipo de máquina peletizadora.

Sistemas de la máquina peletizadora

En el sistema de alimentación (Benito *et al.*, 2015), se deposita el alimento a peletizar, proveniente del molino triturador.

Sistema de distribución

El sistema de distribución tiene la función de dosificar y dispersar en el contenedor de la máquina, que a su vez facilita que la compresión de la harina.

Sistema de compresión

El sistema de compresión es generado por dos rodillos que giran en sentido contrario para facilitar el compactado de la harina, hasta la boquilla de salida

regulada por tamices de acuerdo con el tamaño de los pellets prefijado por el cliente.

Sistema de corte

El sistema de corte se realiza por medio de cuchillas, con la facilidad de acoplar un cable acerado.

Sistema de descarga y embalaje

El sistema de descarga es regulado por la velocidad de trabajo de los rodillos y acorde al tamaño de los orificios de la combinación de tamices.

Diseño del rodillo

Para el diseño y selección de rodillos, se considera las dimensiones de los tamices. El rodillo figura 4, se encuentra en contacto directo con el área de prensado para introducir la mezcla en los orificios de compresión, los rodillos se consideraron con una superficie acanalada para aumentar la fricción produciendo un mayor giro sobre estos, para aumentar o disminuir el área de contacto entre los rodillos, mezcla y tamices, el eje de los rodillos se encuentra apoyado sobre tornillos por fuera de la cámara peletizadora. La función del rodillo es proporcionar la fuerza de compresión entre el alimento y los tamices.

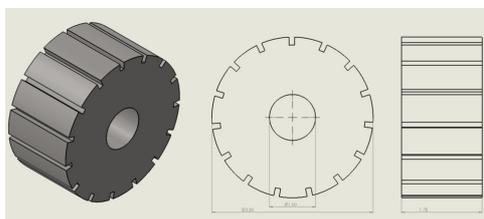


Figura 4. Rodillo acanalado.

Sistema acondicionador

El sistema acondicionador se define según la ecuación 1. El mismo considera el volumen del cilindro, dentro del contenedor de la máquina peletizadora.

$$V_t = \pi * r^2 * h; \quad (1)$$

Donde:

V_t - Volumen de acondicionamiento: (cm³).

r - Radio; $r = 13.34$ (cm).

h - Altura; $h = 40$ (cm).

Sustituyendo en la ecuación 1, se obtiene el volumen total V_t igual a:

$$V_t = 3.1416 * 13.34^2 * 40 = 22362.6 \text{ cm}^3$$

$$V_t = 2.24 \text{ m}^3$$

Los componentes principales, del sistema acondi-

cionador (Figura 5), están integrados por: tolva 1, eje de paletas 2, paletas 3, canalón 4.

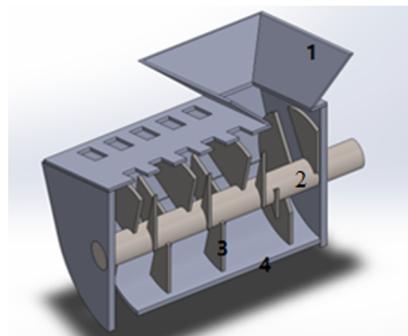


Figura 5. Sistema acondicionador (tolva 1, eje de paletas 2, paletas 3, canalón 4).

Sistema de peletizado

El sistema de peletizado (Figura 6) se diseña en lo fundamental considerando el tamaño de los pellets y la productividad exigida.

Tamaño del pellet promedio para realizar las primeras pruebas para cerdos de cero a 2 meses, son de un diámetro igual a 4.13 mm, una longitud de los rodillos de 15.5 mm. La productividad requerida por segundo (q) está en kg s^{-1} se determina con la ecuación 2, tomando como referencia una producción de 80kg h^{-1} .

$$q = 80 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 0.0222 \text{ Kg s}^{-1} = 22.2 \text{ g s}^{-1} \quad (2)$$

Lo cual se infiere que para lograr una de 50 kg se tienen 100 orificios en promedio. La propuesta contempla la posibilidad de intercambiar los tamices (matriz) de salida. Permitiendo que para orificios que oscilen entre 145-150, se logrará una producción de 75-80 kg, teniendo como dimensiones geométricas un orificio de 5.5 mm, y así sucesivamente. Para lograr la especificación de la productividad, según Benito y col, 2015, se requieren 24 orificios por cada hilera del rodillo.

El número mínimo para 24 orificios por hilera se determina según la ecuación 3, mismos que influyen en el tamiz o matriz circular de salida.

$$N_h = \frac{N_o}{O_h}; \quad (3)$$

Donde:

N_h - Número de hilera

N_o - Número de orificios; $N_o = 150$

O_h - Orificios por hilera; $O_h = 24$

Sustituyendo en la ecuación 3, se obtiene el núme-

ro de hileras igual a:

$$N_h = \frac{150}{24} = 6.25 \text{ hileras}$$

El número de hileras para el diseño no puede ser menor que el calculado, por lo que se consideran como mínimo 7 hileras.

Sistema de transmisión

El sistema de transmisión se selecciona en dependencia de la potencia requerida y el material a manipular. Se elige un motor trifásico SD10, marca Siemens 60 Hz, 208-230 V, 3 hp, y que gira a 900 rpm, (Siemens, 2015), Vásquez y col 2015.

Sobre el eje (Figura 6) actúan las fuerzas que se representan según el Diagrama de Cuerpo Libre (Figura 7), que surgen en los puntos de apoyo A, B y C.



Figura 6. Representación del eje

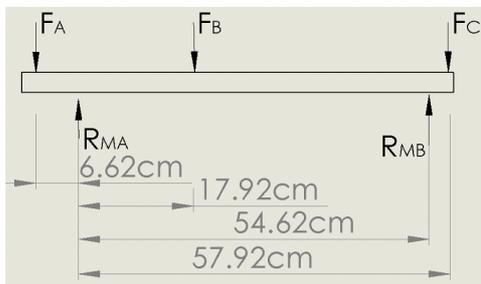


Figura 7. Diagrama de cuerpo libre del eje (figura 5)

Aplicando las condiciones de equilibrio estático, ecuaciones 4 y 5, se determinan las reacciones que surgen en los apoyos A y B (Beer *et al.*, 2018).

$$\begin{aligned} \sum \square M_A = 0; \\ 247.19(2.61) + 158.73(7.06) - R_{MB}(21.51) + 22.81(243); \\ 645.16 + 1111.32 - R_{MB}(21.51) + 5542.83; \\ R_{MB}(21.51) = 7299.31; \\ R_{MB} = 339.5 \text{ lb} = 1.51 \text{ kN} \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \sum \square F_y = 0; \\ R_{MA} - 247.19 - 158.73 - 243 + R_{MB} = 0; \\ R_{MA} - 648.92 + R_{MB} = 0; \\ R_{MA} - 648.92 + 339.5 = 0; \\ R_{MA} = 309.42 \text{ lb} = 1.37 \text{ kN} \end{aligned} \tag{5}$$

Aplicando el método de las secciones para los tramos característicos (Beer *et al.*, 2018; Cortizo *et al.*, 2014) se determinan las fuerzas cortantes y momentos flectores, y se representan en las figuras 8 y 9.

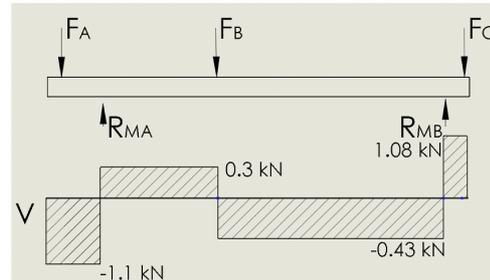


Figura 8. Diagrama de fuerza cortante del eje motriz

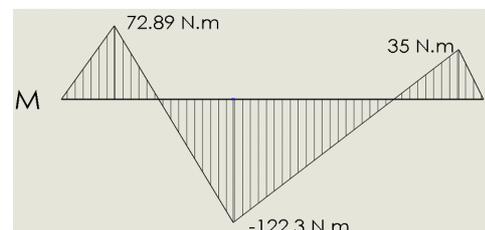


Figura 9. Diagrama de momento flector del eje motriz

El diámetro del eje se determina según el criterio de diseño establecido por Von Mises, ecuación 6 Mott (2006), Budynas (2012).

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{6}$$

Donde:

D - Diámetro mínimo de diseño.

N - Factor de diseño, medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga.

K_t - Coeficiente por cambios en la geometría del eje.

M - Momento flector.

S_n - Resistencia estimada a la fatiga real del material de construcción del eje.

T - Momento torsor.

S_y - Resistencia de fluencia del material del eje.

Sustituyendo las magnitudes, acorde a los puntos críticos (puntos más cargados) sometidos en el eje, al acero elegido 4140 AISI según Budynass. 2012 obtiene que el diámetro del eje es igual a 3.175 cm (1.25 in).

Eje acondicionador

El eje del acondicionador (Figura 10), proporcionara la fuerza necesaria a los subsistemas

del mezclado del alimento en la tolva, el cual soporta mayores cargas generadas por el peso del alimento y las paletas sobre el eje. En el diagrama de cuerpo libre (Figura 11), se encuentran los rodamientos A y B, los que generan reacciones.

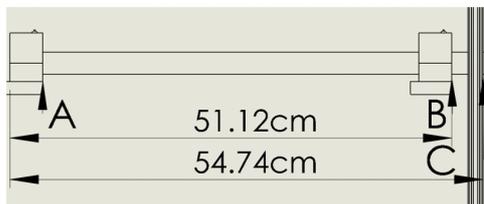


Figura 10. Eje acondicionador



Figura 11. Esquema de fuerzas que actúan en el eje

El peso de las paletas, se determina según la ecuación 7 Budynass (2012).

$$M_{sp} = (W_{PL})(N_{PL}); \quad (7)$$

Donde:

W_{PL} - Peso de una paleta; lb.

N_{PL} - Número de paletas; lb.

Sustituyendo las magnitudes en la ecuación 8, se obtiene la masa de la paleta igual a:

$$M_{sp} = 7.41 \text{ Kg}$$

La cantidad de material que puede ser acondicionado interviene en el cálculo del eje, y es igual a:

$$M_{sm} = 17.64 \text{ lb} = 8 \text{ kg}$$

La masa total se determina según la ecuación 9.

$$M_{stotal} = M_{sp} + M_{sm}; \quad (8)$$

Donde:

M_{stotal} - Masa total, lb.

M_{sp} - Masa de las paletas, lb.

M_{sm} - Masa de la mezcla, lb.

La masa total es igual a: $M_{stotal} = 15.41 \text{ kg}$

La fuerza que actúa será igual a:

$$F_w = (15.41 \text{ kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 33.963 \frac{\text{lb}}{\text{in}} = 151.074 \text{ N/m}$$

Y sobre el eje actúa un peso total igual a:

$$W = \frac{151.074 \text{ N}}{0.475 \text{ m}} = 1.816 \frac{\text{lb}}{\text{in}} = 318.04 \text{ N m}^{-1}$$

Considerando las condiciones de equilibrio estático, se determinan las reacciones que surgen en los apoyos A y B (rodamientos), las ecuaciones 9 y 10; y las fuerzas cortantes, ecuaciones 11, 12, 13 y 14, y momentos flectores, ecuaciones 15, 16 y 17. Las magnitudes obtenidas se representan, para el caso de la fuerza cortante en el diagrama figura 12, y el momento flector en el diagrama figura 13.

$$\Sigma M_{AA} = 0; \quad 33.963(10.8) - (R_{AB})(20.37) + 247.19(21.75) = 0 \quad (9)$$

$$366.8 - (R_{AB})(20.37) + 5376.383 = 0; \quad R_{AB} = \frac{5743.18}{20.37} = 281.153 \text{ lb} = 1.25 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_{AA} = 0; \quad R_{AA} - 33.963 + R_{AB} - 247.19 = 0; \quad (10)$$

$$R_{AA} + R_{AB} - 281.153 = 0; \quad R_{AA} = -282.06 + 281.153 = 0; \quad R_{AA} = 4.44 \text{ N}$$

$$V_1 = 1 \text{ lb} = 0.0045 \text{ kN} \quad (11)$$

$$V_2 = 1 \text{ lb} - 33.98 \text{ lb} = -32.98 \text{ lb} = 0.15 \text{ kN} \quad (12)$$

$$V_3 = -32.98 \text{ lb} + 281.153 = 248.173 \text{ lb} = 1.104 \text{ kN} \quad (13)$$

$$V_4 = 248.173 - 247.19 = 0.98 \text{ lb} = 0.0044 \text{ kN} \quad (14)$$

$$M_{fmax} = X R_{AA} - \frac{W X^2}{2} \quad (15)$$

La magnitud máxima del momento flector se obtiene, cuando la fuerza cortante es mínima; y esto sucede para:

$$X = \frac{R_{AA}}{W} = \frac{1}{1.816} = 0.6 \text{ m}$$

Sustituyendo la magnitud de $X = 0.6 \text{ m}$ en la ecuación 15, se obtiene el momento flector máximo igual a:

$$M_{fmax} = (0.6)((1) - \frac{(1.816)(0.6)^2}{2})$$

$$M_{fmax} = 0.28 \text{ lb. in} = 0.031 \text{ N. m}$$

$$M_2 = \frac{(19.77)(32.98)}{2} = -326 \text{ lb. in} = -36 \text{ N. m} \quad (16)$$

$$M_3 = -326 + (1.38)(248.173) = 16.5 \text{ lb. in} = 1.8 \text{ N. m} \quad (17)$$

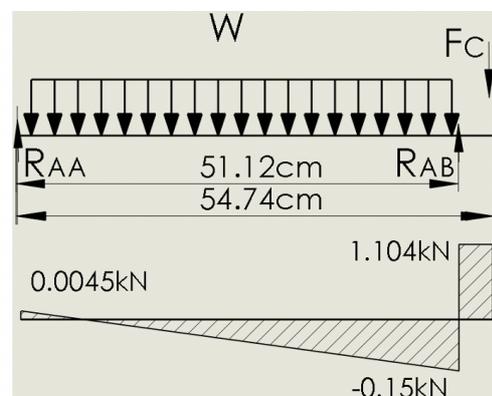


Figura 12. Diagrama de fuerza cortante del eje acondicionador

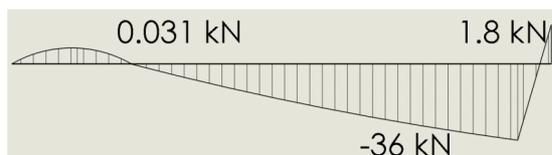


Figura 13. Diagrama de momento flector del eje acondicionador

El diámetro mínimo del eje acondicionador se determina con la ecuación 6, considerando las magnitudes de las reacciones que surgen en los rodamientos y las fuerzas que actúan a lo largo del eje. El diámetro mínimo es igual $D = 0.42 \text{ pulg.} = 1.06 \text{ cm}$. De igual manera para el caso del eje de transmisión el diámetro mínimo es igual a $D \approx 1.25 \text{ in} = 31.75 \text{ m}$.

Costo de fabricación de la máquina

El monto aproximado de fabricación (Cuadro 1) de la máquina es de 48 mil pesos. Aquí no se hace referencia al costo de renta de espacios, embalaje, mano de obra para el ensamble (soldadura, tornillería), compra y traslados de materiales, compra de pintura y solventes, y la mano de obra para el pintado, impuestos, y otros.

Cuadro 1. Lista de materiales y precios de adquisición.

Elemento	Material	Unidad	Cantidad	Precio(MN)	Precio total
Motor Trifásico.	SD100 (carcasa de fundición de hierro) de 3 hp.	Pieza	1	8855	8855
Placa de Acero 1 1/4	Acero inoxidable A36.	Kg/m	2.5	60.65	151.625
Placa de Acero 1/4.	Acero inoxidable A36.	Kg/m	84	50.67	4256.28
Placa de acero 1/2.	Acero inoxidable A36.	Kg/m	62	56	3472
Lámina protectora	Lámina número 10 espesor 0.1495	Kg/m	27	45.56	1230.12
Conector de 90°.	Conector curvo para tubo.	Pieza	5	12	60
Cable Eléctrico.	Cable de uso rudo.	Metro	10	28	280
Centro de carga.	Gabinete para interruptor.	Pieza	1	500	500
Tubería 3/4.	Tubería sanitaria de acero calibre 14.	Metro	5	5.5	27.5
PRT 3x3.	PRT verde calibre 9.	Kg/m	31	52.5	1627.5
PRT 2x2.	PRT verde calibre 9.	Kg/m	16.75	27.5	460.625
Barra 1.25".	Barra de acero inoxidable recocido acero industrial.	Kg/m	3	83.3	249.9
Barra 1".	Barra de acero inoxidable recocido acero industrial.	Kg/m	5	79.5	397.5
Válvula de presión.	Válvula de presión soldable o rosca.	Pieza	5	45	225
Engrane.	Engrane recto de 90° relación 1:1 HM1025B.	Pieza	2	522	1044
Redondo de 6".	Tubería sanitaria de acero inoxidable grado alimenticio.	Metro	1	350	350
Redondo 5".	Tubería sanitaria de acero inoxidable grado alimenticio.	Metro	1	400	400
Poleas.	Poleas varios diámetros.	Pieza	6	1000	6000
Redondo 1 3/4.	Tubería sanitaria de acero inoxidable grado alimenticio.	Metro	0.5	350	175
Rodamientos rodillos.	Rodamiento rígido de bolas, sola fila rodamientos rígidos de bolas.	Pieza	2	63	126
Rodamiento 1.25".	Rígido de bolas rodamiento 6032.	Pieza	2	130	260
Rodamientos 1".	Rígido de bolas rodamiento 6805.	Pieza	4	80	320
Chumaceras 1".	Chumacera de piso o pared grado alimenticio.	Pieza	4	400	1600
Chumaceras 1.25".	Chumacera de piso o pared grado alimenticio.	Pieza	2	499	998
Bandas.	Banda 3V o 3VX.	Pieza	3	200	600
Accesorios.	Tuercas, tornillos, rondanas, lubricante, soldadura.	Piezas	1	2000	2000
Maquinado			1	300	300
Mano de obra			20	100	2000
				Total \$	37966.05

Resultados

1. Se diseñó el sistema de transmisión de potencias en los diferentes sistemas de la máquina, seleccionando los elementos necesarios con dimensiones para su buen funcionamiento.
2. Se diseñó el sistema acondicionador compuesta por tolva, paletas, eje de paletas, tomando en cuenta la capacidad de la tolva, reacciones en el eje y el peso total del material a peletizar.
3. Se diseñó el sistema de peletizado, compuesta por rodillos, matriz, eje, cuchilla.
4. Se seleccionó un motor trifásico SD10, marca siemens 60 Hz, 208-230 V, 3 Hp-900 min⁻¹, adecuadas a la necesidad de la máquina peletizadora.
5. La productividad máxima calculada será de 89 kg h⁻¹ obteniendo un promedio de 0.64 ton día⁻¹ durante una jornada de 8 horas.

Conclusiones

El diseño de prototipo de máquina peletizadora de la harina de mezquite, para la alimentación del ganado vacuno y porcino es fácil funcionamiento y mantenimiento, factible para el traslado hacia otras comunidades, de bajo costo de fabricación, con posibilidades de intercambiabilidad de la matriz o tamices para ajustarse a la demanda de las edades del ganado.

Literatura citada

- Budynas, N. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. (9th Ed). Editorial Mc Graw Hill. ISBN 978-607-15-0771-6.
- Catálogo de motores siemens. (2015). [publicación en línea], disponible en <http://industria.siemens.com.mx/Motores/Docs/Motores/20NNM.pdf>.
- Cortizo, J.L., Rodríguez, E., Fernández, J., Sierra, J., Fernández, M. y Vijande, R. (2014). *Elementos de máquinas: teoría y problemas* Universidad de Oviedo.
- Dilwym J. (2009). *Wood pellet heating systems*. Editorial Frank Jackson. Europa.
- Ortiz R, C. (2003). *Guía para alimentación animal y elaboración de concentrados*.
- P. Beer, F y col. (2018). *Mecánica de materiales*. (8va Ed). Mc Graw Hill.
- Regupathi, (2019). On studying different types of pelletizing system for fish feed. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(2), 187-192.
- Mian N. R. (2000), *Extrusores en la aplicación de alimentos*. (2da Ed). Acribia Hispanoamericana S.A. México.
- Mott, R. L (2006). *Diseño de elementos de máquina*. (4ta Ed). Pearson Educación. México.
- Lara R. M. y León R. M. (2014). *Diseño de una máquina peletizadora de alimentos balanceados*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Vásquez López, Marcelino B. (2015). *Diseño de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para ganadería a pequeña escala*. Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniero Mecánico Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora, Edo de México.