

Recibido: 12 de sep de 2016
Aceptado: 5 de dic del 2016

**PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA FABRICAR ENSILAJE UTILIZANDO UN
TORNILLO SIN FIN PARA LA COMPRESIÓN DEL PRODUCTO EN BOLSA
PLÁSTICA**

**PROTOTYPE OF MACHINE FOR MANUFACTURING SILAGE USING A
ENDLESS SCREW FOR THE COMPRESSION OF THE PRODUCT IN PLASTIC
BAG**

**MSc. Edwin Espinel Blanco, Ing. Julián Yaruro Bacca,
MSc. Gustavo Guerrero Gómez.**

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Programa de Ingeniería Mecánica,
Grupo de Investigación GITYD.
Sede Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia.
PBX: (+57) 75690088.
E-mail: {eespinelb, jyarurob, gguerrero}@upso.edu.co.

Resumen: Se presenta el diseño, la construcción y la puesta a punto de un prototipo para la fabricación de ensilaje, en bolsa plástica mediante la compresión del producto a través de un mecanismo tornillo sinfín, la cual es versátil, de fácil operación y transporte. Para el diseño de la máquina se consideraron las propiedades físicas del producto a comprimir como su densidad, tamaño de grano (entre 1.5-2.0 cm) y la presión necesaria para extraerle el aire manteniendo una humedad del 70%. La máquina fue diseñada en el software SolidWorks, se calcularon, seleccionaron y manufacturaron todos los elementos mecánicos como poleas, engranes, rodamientos, eje, tolva, sin fin y chasis. Se construyó el prototipo, fue puesto a punto y probado obteniendo una capacidad de producción de máxima de 2.5 toneladas/hora, en bolsas plásticas calibre seis (6) de en promedio 50 kilogramos de producto cada una.

Palabras clave: Máquina Ensiladora, Ensilaje, Tornillo sin Fin.

Abstract: The design, construction and development of a prototype for the manufacture of silage is presented in a plastic bag through the compression of the product through a screw mechanism, which is versatile, easy to operate and transport. For the design of the machine the physical properties of the product to be compressed were considered as its density, grain size (between 1.5-2.0 cm) and the pressure necessary to extract the air maintaining a humidity of 70%. The machine was designed in SolidWorks software, all mechanical elements such as pulleys, gears, bearings, shaft, hopper, endless and chassis were calculated, selected and manufactured. The prototype was built, tested and produced with a maximum production capacity of 2.5 tones / hour in six (6) plastic bags of an average of 50 kilograms of product each.

Keywords: Silage Machine, Silage, Endless Screw.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción pecuario sobre todo los bovinos utilizan una dieta alimenticia a base de pasto, maíz u otros cultivos. Con la situación climática actual es necesario para el desarrollo de cualquier sistema de producción pecuario considerar en primera instancia el aseguramiento del alimento (Martínez & Argamentería, 2014).

El ensilaje consiste en aprovechar el excedente de forraje producido en la época de abundancia para conservarlo y que pueda ser utilizado en épocas críticas, preservando al máximo los nutrientes, es una excelente opción para la alimentación en las ganaderías del país por la gran variedad de forrajes, la intensidad solar y el nivel de lluvias que existen en el trópico (Garcés, Berrio, Ruiz, & Builes, 2014). Para garantizar la excelente calidad del forraje durante mucho tiempo, se debe evitar, que una vez compactado y empacado, entre en contacto con el aire, el empaque debe evitar la entrada de oxígeno al producto (Rojas & Catrileo, 2000).

El ensilado de forraje requiere unas etapas que van desde la recolección de la cosecha hasta el empacado del producto para su distribución final, los forrajes para ensilar deben ser picados en trozos de 1 a 2 cm, esto con el fin de facilitar el compactado y / o apisonado (Morales, 2012). La estapa de compactación del forraje es esencial pues de ella depende que extraiga el oxígeno para promover la fermentación de azúcares a ácido láctico, las bacterias ácido-lácticas causan incremento de acidez (reducción en el pH), lo cual inhibe la degradación de ensilaje por enzimas vegetales (Herrera, Median, & Hector, 2008).

La tecnificación del proceso de ensilaje es una alternativa que se viene desarrollando en los últimos años y ha permitido obtener el producto con mejor rendimiento y con la capacidad de permanecer en buenas condiciones por mayor tiempo (Quintero & Gutierrez, 2009).

La utilización de una empacadora de ensilaje en la industria ganadera, mejora la calidad del producto debido a la compactación obtenida (Vásquez, 1996), para llevar a cabalidad este objetivo se va a tener en cuenta las características y propiedades del ensilaje de pasto, se analizará el comportamiento de este durante el diseño del prototipo propuesto.

Las propiedades de los elementos mecánicos de la empacadora, son un factor importante que se va a tener en cuenta en el diseño, para permitir un buen desempeño del equipo en su contexto operacional y proporcionar la seguridad y protección de sus operadores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Inicialmente se analizaron las consideraciones generales requeridas para la producción de ensilaje en bolsa plástica, con base a las cuales se diseño en SolidWorks el prototipo, seguidamente se calcularon los elementos mecánicos y finalmente se construyó y puso en funcionamiento para conocer su rendimiento en la producción de ensilaje.

2.1. Consideraciones generales.

En la tapa inicial del diseño se comenzó definiendo los parámetros requeridos para empacar ensilaje en bolsa plástica de 50 Kilogramos en promedio de producto final, para lo cual se procedió a realizar un esquema general del prototipo de la máquina utilizando el programa de CAD Solidwork.



Fig. 1. Diseño del prototipo en SolidWorks.

El prototipo contará con un motor que impulsará el tornillo sin fin por un sistema de poleas, el material a ensilar es descargado en la tolva y empujado hacia la bolsa a través de la boquilla por el mecanismo tornillo sin fin, el cual es impulsado por un motor de combustión interna a través de sistema de transmisión de dos etapas por medio de engranes y poleas (Rodríguez O et al., 2012).

Para almacenar el producto comprimido anaeróbicamente se determinó utilizar una bolsa de calibre 6 de 60 cm de ancho x 100 cm de alto, lo que proporciona un diámetro interno de la bolsa de 38.2 cm, el cual es un factor para diseñar la boquilla por donde se va a llenar la bolsa con el

producto, para que la bolsa ingrese por la parte externa de la boquilla sin ningún problema se utilizará un diámetro de 35 cm.

De igual forma para que se realice la inyección del material sin problemas se trabajara con un diámetro para el tornillo sin fin de 35 cm, de acuerdo a la recomendación teórica de que el paso de un tornillo sin fin no pueda exceder la relación 1 a 1 entre el diámetro y el paso, se utilizará un paso del tornillo sin fin de 35 cm, siguiendo la recomendación descrita en (Budynas & Keith, 2008).

Para garantizar el suministro continuo del material se dimensiona la tolva de acuerdo a los requerimientos de cada bolsa con un volumen de 0.1 metros cúbicos, de igual forma para la seguridad de los operarios al momento de suministrar el material a la tolva con la máquina en funcionamiento, se instalará una rejilla protectora.

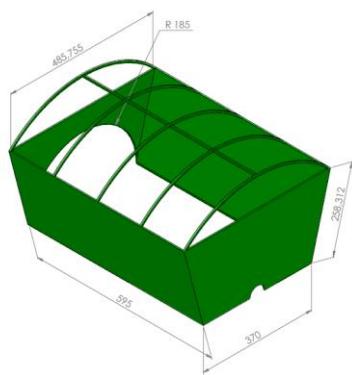


Fig. 2. Dimensiones de la tolva.

La tapa o cuchara que soporta la bolsa es un mecanismo que puede desplazarse sobre el chasis de la máquina y utiliza un freno de zapata para producir una fuerza contraria al empuje del material realizado por el tornillo sin fin, lo que comprime el material en la bolsa y le extrae el aire.

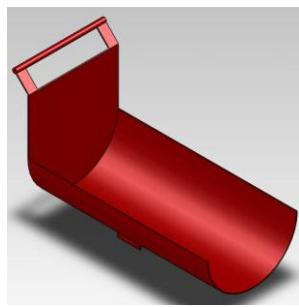


Fig. 3. Tapa o Cuchara

El chasis se pensó con el objetivo de hacer la máquina compacta y liviana, la plataforma que se diseñó en la parte delantera es para soportar el motor y disminuir las vibraciones generadas por este (Caballero A. et al., 2013).

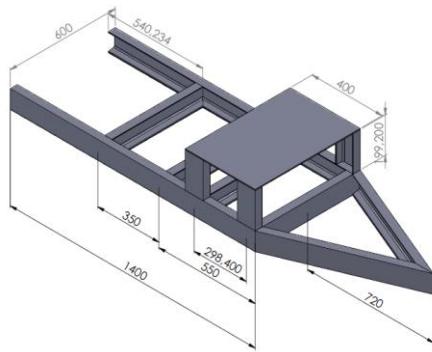


Fig. 4. Dimensiones del Chasis.

2.2 Cálculos de los elementos mecánicos.

Para calcular los elementos mecánicos de la máquina inicialmente de determinó la densidad relativa de la materia a ensilar, considerando disponer el producto en bolsa plástica calibre 6 de 38.2 cm de diámetro y 100 cm de largo, utilizando la ecuación 1 se encontró un volumen de 0.10 m³.

$$v = \pi r^2 l \quad (1)$$

Donde

v = volumen de material ensilado

r = radio de la bolsa

l = longitud de la bolsa

Considerando la masa promedio de la bolsa con 50 kg de producto y el volumen encontrado la densidad del material es de 500 kg/m³.

3.2.1 Inercia de los componentes y potencia requerida.

Para el sistema de transmisión de potencia de acuerdo a la disponibilidad del mercado se seleccionaron poleas dobles de 4 y 12 pulgadas de diámetro y engranes rectos de 11 y 29 dientes.

En la tabla 1 se muestra los momentos de inercia de cada componente (Norton, 1999) (Budynas & Keith, 2008).

Tabla 1: Momentos de Inercia

Componente	Ecuación	Momento Inercia (cm ⁴)
Tolva	$I = \frac{m}{12} (a^2 + b^2)$	0.464
Boquilla	$I = \frac{m}{8} (d_o^2 + d_i^2)$	5.34E-3
Tornillo Sin fin	$I = \frac{md}{8}$	5.08E-4
Piñón 29 dientes	$I = \frac{md^2}{8}$	1.536E-2
Piñón 11 dientes	$I = \frac{md^2}{8}$	2.5E-4
Polea 12	$I = \frac{md^2}{8}$	1.4E-3
Polea 4	$I = \frac{md^2}{8}$	1.8E-5
Eje	$I = \frac{md}{8}$	5.25E-7

La inercia total del conjunto está dada por la suma de las inercias de cada componente, por lo cual la inercia total de sistema $I_{Total} = 29.27$.

Considerando que la máquina inicia su movimiento partiendo desde el reposo con una velocidad angular $w_o = 0$, que toma alrededor de 5 segundos alcanzar una velocidad nominal $w_f = 3600$ revoluciones por minuto y que existe una pérdida de 10% del torque por transmisión en los elementos mecánicos, se aplica la ecuación 2 para determinar la aceleración angular (α) y la ecuación 3 para obtener la potencia requerida de 7.8 hp.

$$\alpha = \frac{w_f - w_o}{t} \quad (2)$$

$$T = I\alpha + T_{Perdido} \quad (3)$$

Por disponibilidad en el mercado se seleccionó un motor de 10 hp a 1800 r.p.m (revoluciones por minuto).

3.2.2 Transmisión de potencia

Se determinó mediante pruebas que el sinfín para compactar adecuadamente el material en la bolsa debe girar a 300 r.p.m, la relación de reducción de velocidad es de 6 y se realizará en dos etapas de 2:1 por poleas y 3:1 por engranes, se seleccionaron correas en V de sección trapezoidal y se determinó una distancia entre centros de polea de 23.75 pulgadas y para los engranes tipo B se tomó una cadena número 80 (Budynas & Keith, 2008, Torres et al., 2013).

Tabla 2: Resultados de los cálculos para la primera etapa del sistema de transmisión

1 ETAPA 2:1		
Ne=1800	Ns=900	C=1 pulgadas
Lp=63.8	a= ½ pulgadas	b= 11/32 pulgadas
Dmin=3 pulgadas	dp=7 pulgadas	L=66 pulgadas
K1=0.81	K2=0.95	2B66

Tabla 3: Resultados de los cálculos para la segunda etapa del sistema de transmisión

2 ETAPA 3:1		
P=10hp	Zp=11	Zg=29
ANSI 80	P=1"	H1=0
H2=22.97	K1=0.52	K2=1.0
Ha= 8.9 hp	Hd=Ha	1N ^O 80

3.2.3 Cálculo del tornillo sin fin

El tornillo sin fin es diseñado como un tornillo de potencia debido a que es utilizado para arrastrar y a la vez comprimir el material

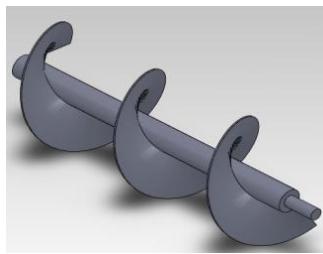


Fig. 5. Tornillo sin fin

Se determinó la longitud de $l = 1$ metro y diámetro $d = 35$ centímetros, se consideró el paso igual al diámetro según (Norton, 1999) (Budynas & Keith, 2008) y un angulo de inclinación de la helice $\varphi = 5^\circ$ y el coeficiente de relleno de la sección para tipo de carga pesada y abrasiva $\gamma = 0.125$ de acuerdo a (Departamento de Ingeniería Mecánica , 1999).

Se encontró el flujo de material a través del tornillo aplicando la ecuación 4.

$$s = \frac{\gamma \pi d^2}{4} \gamma \quad (4)$$

La velocidad de desplazamiento de material por el tornillo se calculó en 2.6 m/s utilizando la ecuación 5, con el paso $P = 35$ y $n = 300$ r.p.m

$$v = \frac{Pn}{60} \quad (5)$$

ornillo se calculó en 2.6 m/s utilizando la ecuación 5, con el paso $P = 35$ y $n = 300$ r.p.m.

Con la densidad $\rho = 500$ kg/m³ y tomando el coeficiente de disminución de flujo $k = 0.6$ (Departamento de Ingeniería Mecánica , 1999), se utilizó la ecuación 6 para encontrar el flujo máximo Q de material a través del tornillo.

$$Q = 1800Sv\rho k \quad (6)$$

3.2.4 Cálculo del chasis

El chasis se analizó como una viga con dos apoyos y con un peso máximo de la máquina de 1000 Kg el cual es tomado como referencia, se seleccionó un perfil de hierro tipo U de 4 pulgadas para su fabricación.

Se utilizó para el análisis solo los dos largueros de los costados ya que es donde se soporta el peso de la máquina.

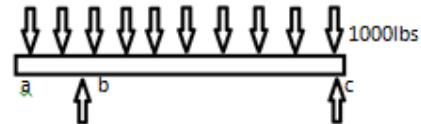


Fig. 6. Análisis del chasis como una viga

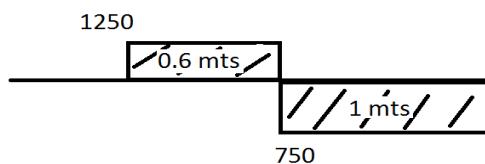


Fig. 7. Diagrama de cortante

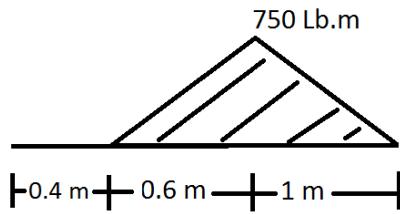


Fig. 7. Diagrama de momento flector

Tabla 4: Resultados para el análisis del chasis

$\sum M_c = 0$	$B_y = 1250\text{lb}$	$C4 \times 5.4$	Perfil en U de 4 pulg
$\sum F_v = 0$	$C_y = 750\text{lb}$	$A = 1.59\text{pulg}^4$	$\delta = 638.82\text{lb/pulg}^4$
$V_{\max} = 1250\text{lb}$	$M_{\max} = 19.05\text{lb/pulg}$	$I_x = 3.85\text{ pulg}^4$	$F_s = 22.7$

3.3 Construcción del prototipo

El prototipo fue construido y puesto en funcionamiento, realizando pruebas que arrojaron como resultado que con la utilización de la máquina se produce una bolsa de ensilaje de 50 Kilogramos en promedio cada minuto, es decir la maquina tiene una capacidad máxima de 2.5 toneladas de producto por hora. La máquina es versátil de fácil transporte lo que permite que sea conducida hasta cualquier zona agrícola, dado que

está montada sobre un chasis que es transportado como un remolque.



El producto producido se ha conservado de acuerdo a la proyectado manteniendo los nutrientes del ensilaje a través de una fermentación anaeróbica que permite su almacenamiento por largos periodos de tiempo.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se construyó y se puso en funcionamiento una empacadora de ensilaje que funciona mediante extrusión mecánica, con el propósito ensilar material verde.

La empacadora de ensilaje tiene una capacidad de trabajo de 2.5 toneladas por hora, con el trabajo de dos operarios uno para cargar el material en la máquina y el otro para cerrar la bolsa, se empaca una bolsa de 50 Kg en 1.2 minutos aproximadamente, se mejora el tiempo de empacada de 5 minutos que existe en la granja de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña utilizando una máquina que comprime el producto con un cilindro hidráulico vertical

El sistema de prensado continuo generado por la empacadora, garantiza un 95% de efectividad en la producción anaeróbica de materia verde picada.

RECONOCIMIENTO

A la granja experimental, a la División de Investigación y Extensión y al Grupo de Investigación GITYD del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

REFERENCIAS

Budynas, R., & Keith, J. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley* . México: MacGraw Hill.

- Caballero Amaury, Velasco Gabriel, Pardo García A. (2013). DIFFERENTIATIONS OF OBJECTS IN DIFFUSE DATABASES. Revista colombiana de tecnologías de Avanzada. 2 (22). Pág. 131 – 137.
- Departamento de Ingeniería Mecánica . (1999). *Diseño de Tornillos* . Madrid: Universidad Carlos III.
- Garcés, A., Berrio, L., Ruiz, S. S., & Builes, A. (2014). Ensilaje como Fuente de Alimentación para el Ganado. 1(1).
- Herrera, M., Median, J., & Hector, Q. (2008). Diseño de Máquina pra Empaque de Forraje de Maiz para Ensilaje: Dosificado y Compactado. *Scientia et Technica*, 54-59.
- Martinez, F., Hernadez, D., & Cardenas, P. (2008). *Máquina Clasofocadora de Florez: Diseño y Construcción. Revista Tcnologias De Avanzada*. 40-45.
- Martínez, A., & Argamentería, A. D. (2014). *Manejo de Forrajes para Ensilar*. Asturias: Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA).
- Morales, M. (2012). *Ensilaje como Fuente Alterna de Alimentación en Ganadería Lechera del Municipio de Puerres Nariño*. Puerres.
- Norton, R. (1999). *Diseño de máquinas*. Prentice Hall.
- Quintero, H., & Gutierrez, J. (2009). Implementación y Pruebas del Sistema de Control de una Máquina para Empaque al Vacío de Ensilaje de Maíz. Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica . Bucaramanga: UNAB.
- Rodríguez Oscar Oswaldo, Pineda Pinto Ronald Fernando, Cárdenas Pedro Fabián. (2012). Herramientas EJS 3D/MATLAB para el control del sistema no lineal aplicado al péndulo invertido sobre carro deslizante. Revista colombiana de tecnologías de Avanzada. 1 (19). Pág. 28 – 34.
- Rojas, C., & Catrileo, A. (2000). Evaluación de Ensilaje de Cebada en Tres Estados de Corte en la Engorda Invernal de Novillos. *Agricultura Técnica*, 370-378.
- Torres Clayton José, Archila John Faber, Tronco Mário Luiz, Becker Marcelo, Viera Porto Arthur José, Tiberti Alexander José. (2013). Estudio cinemático de una plataforma robótica para agricultura. Revista colombiana de tecnologías de Avanzada. 2 (22). Pág. 131 – 137.
- Vásquez, J. (1996). La Empacadora y el Ensilado de Pacas Mediante Envolvimiento. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 504-509.