

NOTA TÉCNICA

Prototipo compactador de forraje

Prototype to compact the Fodder

Pedro Cruz Meza¹ y Ricardo D. Améndola Massiotti²

RESUMEN. Uno de los problemas que enfrenta la ganadería en México es la escasez de alimento en la temporada de sequía. El ensilado es una de las actividades que soluciona ésta problemática. Para este fin se diseñó y construyó en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, un prototipo para el compactado del forraje previamente picado. El dispositivo consiste de un rodillo que gira a 7 rev/min dentro de un recipiente de forma cilíndrica de acero. Las capas a compactar son de aproximadamente 15 cm de espesor. Una vez de que el material es compactado se abre lateralmente el recipiente aflojando una serie de tornillos y se envuelve el material compactado con plástico. El rodillo se eleva y baja mediante un aparejo. Se requiere de dos personas para operar el equipo. La capacidad del equipo es de 4,26 m³/h (3,2 t/h).

Palabras clave: máquina, compactador, silo.

ABSTRACT. One of the troubles cattle farming faces in México is the shortage of fodder in the drought season. The preservation of fodder is the solution for that problem. For this objective, The Mechanical Agricultural Engineering Department of Universidad Autónoma Chapingo, developed and built a prototype to compact the fodder chopped previously. The mechanism consists of a cylinder that turns in 7 min⁻¹ in a cylindrical steel container, the layers in order to compact are 15 centimeters of thickness, once the material is compacted, the container is opened by the side and the compacted fodder is wrapped in a plastic material. It takes two people to operate the equipment and the capacity of the equipment is 4,26 m³/h (3,2 t/h).

Keywords: Machine, tamping roller, fodder storage.

INTRODUCCIÓN

El problema de la alimentación del ganado tiene relación estrecha con la disponibilidad de forraje. En México se puede encontrar una amplia variedad de condiciones ambientales y casi todas las formas climáticas tipificadas en el mundo, lo que trae consigo una baja producción de forraje (Jiménez, 1993). Durante años se ha planteado la alternativa, de almacenar y conservar el alimento que se produce de más en las épocas de abundancia, con el propósito de poderlo suministrar a los animales, en los tiempos cuando este escasea o pierde calidad nutricional. Esta alternativa de solución está siendo solo empleada por agricultores y ganaderos que tienen los suficientes recursos económicos y tecnológicos, debido a que esta labor requiere utilizar gran cantidad de mano de obra, tractores y ensiladoras, lo que la hace poco viable para el agricultor que no cuenta con estos elementos.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su división para alimentos y agricultura (FAO), manifiesta por medio de varios documentos acerca del ensilaje, la necesidad de un equipo que permita facilitar las diferentes etapas del proceso, especialmente para los pequeños productores, los cuales realizan la mayoría del trabajo artesanalmente. Tomando en cuenta la importancia que tiene el manejo de la producción como alternativa para regular las variaciones en el abastecimiento de forraje al ganado, para garantizar la estabilidad productiva, es necesaria la conservación del forraje, que es una opción de la solución al problema y gran papel en esta conservación lo tienen los silos.

El ensilaje puede ser definido como el método de conservación de forraje en el que la mayoría de la energía, proteínas y otros nutrientes que se hallaban originalmente en la planta permanecen en una forma que puede ser utilizado eficientemente por las vacas de producción lechera. Técnicamente,

Recibido 05/06/10, aprobado 10/09/11, trabajo 52/11, nota técnica.

¹ Profesor Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Carretera México- Texcoco, km 38,5, Chapingo, México, C.P 56230, teléfono/ fax (595) 4 71 78, E-[✉: pcruzmeza@yahoo.com.mx](mailto:pcruzmeza@yahoo.com.mx)

² Profesor Investigador, Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia.

se define como un método de conservación de un recurso de alimento que está basado en la eliminación de aire (oxígeno) contenido en la masa de alimento, para promover la fermentación de azúcares a ácido láctico. Esta eliminación se debe a unas bacterias ácido-lácticas que causan un incremento de acidez (reducción en el PH), lo cual inhibe la degradación de ensilaje por enzimas vegetales (primeramente enzimas degradantes proteicas), especies indeseables de bacterias (enterobacterias, clostridia), levaduras, hongos, y las mismas bacterias ácido lácticas (Iglesias y Soto, 1987).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo el diseño y construcción de una máquina para el compactado del forraje previamente picado, que sea eficiente y económica para las unidades de producción de pequeños productores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo de compactado fue diseñado y construido en los talleres y laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, con los aportes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. La metodología empleada en el trabajo es la propuesta por Pahl y Beitz (2005).

1) Propiedades físico-mecánicas del cultivo

En todo tipo de trabajo en el área de la mecanización y manipulación de los productos agrícolas requiere del conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de dicho producto (Tabla 1).

TABLA 1. Propiedades físico-mecánicas del forraje ensilado (Paneque, 1988)

Propiedad	Valor
Densidad	0,60-0,75 t/m ³
Coefficiente de fricción respecto a metal	0,66-0,70
Coefficiente de fricción respecto a la madera	0,75

2) Sistemas componentes de la máquina

La máquina debe de tener los siguientes sistemas, cuyas funciones de manera resumida, se da a continuación (Figura 1):

- Sistema de alimentación.** La máquina se alimentará a través de una picadora ensiladora de forraje, mediante una cuchilla acoplada al rodillo de compactado se distribuirá el material en toda la zona de compactado.
- Sistema de distribución del forraje.** En la parte posterior de la rueda exterior de compactado, tiene un rastrillo que se acciona para distribuir el forraje en el cincho.
- Sistema de compactado.** En esta parte se compactará el forraje. Sus elementos principales son:
 - Un rodillo, constituido por 4 ruedas que giran independientemente y que compactará el material al moverse sobre éste.
 - Un cilindro exterior (anillo), sobre el cual se va compactando el material. Este consta de 4 secciones de tal manera que una vez que se ha formado el material se

aflojan los tornillos que lo sujetan, se colocará el plástico y se le tensará de arriba hacia abajo, se aplicará vacío, se sellará con tierra o tepetate en la base.

- Sistema de accionamiento.** Este se encargará de darle movimiento a las partes que así lo requieran. Sus elementos principales serán un motor eléctrico, un reductor de velocidad, catarinas y cadenas.
- Sistema de izaje.** Tiene como finalidad el regular la altura del material a compactar y una vez de que el material se ha compactado de levantar el rodillo de compactado para poder extraer el material.
- Bastidor y sistema de transporte.** Este será el cuerpo sobre el cual se montaran todas las partes que componen la máquina y permitirá su traslado en una distancia corta.



FIGURA 1. Prototipo para el compactado de forraje.

3) Cálculo de los principales sistemas de la máquina

3.1 Cálculo de la velocidad lineal del dispositivo de compactado (m/s)

$$V = \omega \cdot r \quad (1)$$

donde:
 ω -frecuencia de rotación, rad/s; y
 r-radio del tambor, m.

3.2 Cálculo del rendimiento del compactador

El rendimiento teórico del compactador (m^3/h) es:

$$R_{teórico} = 3\,600 \frac{b \cdot e \cdot V}{N} \tag{2}$$

donde:
 b-ancho de compactación efectivo, m;
 e-espesor de la capa compactada, m;
 V-velocidad de trabajo del compactador, m/s;
 N-número de pasadas del compactador en la misma superficie, adim.

3.3 Cálculo de las resistencias

Resistencia al rodamiento (N)

$$W_r = m \cdot g \cdot f \tag{3}$$

Resistencia debida a la inercia (N)

$$W_{in} = m \frac{v}{t} \tag{4}$$

Resistencia que resulta del cambio de dirección (N)

$$W_d = A \cdot R_B \tag{5}$$

donde:
 m-masa del rodillo, N;
 t-tiempo, s; se toma $t=2-3$ s;
 f- coeficiente de resistencia al rodamiento, adim; (Tabla 2)
 R_B -reacción en el punto exterior del cilindro, N;

A-Coeficiente de cambio de dirección, adim, se toma $A=0,2-0,3$ para grava (Jaworski, 1982).

La resistencia total es:

$$W = W_r + W_{in} + W_d \tag{6}$$

TABLA 2. Coeficiente de resistencia al rodamiento para rodillos de aceros lisos (Jaworski, 1982)

Material	f	
	Primeras vueltas	Últimas vueltas
Hormigón asfáltico	0,12 – 0,14	0,03 – 0,06
Piedra partida, grava	0,10 – 0,15	0,06 – 0,09
Tierra	0,07	

3.4 Cálculo de la potencia del motor (kW)

Se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{W \cdot v}{1000\eta} \tag{7}$$

donde:
 W-resistencia total, N;
 v-velocidad de movimiento del rodillo, m/s;
 η -rendimiento, adim.

RESULTADOS

Es indispensable primeramente determinar los datos necesarios para el cálculo, es decir los datos de partida para los cálculos de la máquina: frecuencia de rotación: 7 min^{-1} ; diámetro del tambor: 0,508 m; longitud del tambor: 0,80 m. Con estos datos se calcularon los siguientes parámetros (Tabla 3). El costo del equipo es de \$30 000.00.

TABLA 3. Parámetros del compactador de forraje

Velocidad, m/s	W_r , N	W_{in} , N	W_d , N	Potencia, hp (kW)	Rendimiento, m^3/h
0,58	1275,3	74,48	1226,25	$\frac{3}{4}$ (0,56)	4,26

La altura de la estructura de la máquina es de 3,23 m, 2,5 m de largo y 2,15 m de ancho. Las dimensiones del cincho son de 1,90 m de diámetro interior y de altura de 1,24 m. La capacidad es de $4,77 \text{ m}^3/h$ ($3,2 \text{ t/h}$).

CONCLUSIONES

- Con esta máquina se resuelve un problema real del compactado del forraje para el ganado ya que en algunas regiones de México se realiza todavía manualmente con la ayuda de un

tambor lleno de agua. Se logra compactar hasta densidades de 700 kg/m^3 de alfalfa en función del número de pases.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IGLESIAS, C. C. y W. SOTO: *Mecanización de los procesos pecuarios*, 325pp., Tomo I., Ed. Félix Varela, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba, 1987.
 JAWORSKI, J.: *Maquinaria para movimiento de tierras*, 100pp., Guanajuato, Gto., México, 1982.
 JIMÉNEZ, M. A. *La producción de forraje en México*, 100pp., México. 1993.
 PAHL, G. and W. BEITZ: *Engineering Design*, Second Edition, Springer, London, UK, 2005.
 PANEQUE, R. P.: *Transportadores en la agricultura*, 276pp., Ed. Félix Varela, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba, 1988.