

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE: DOSIFICACIÓN Y COMPACTACIÓN

DESIGN OF A MACHINE FOR THE PACKING OF MAIZE FORAGE FOR ENSILAGE: DOSIFICATION AND COMPACTATION

Marlon Jhair Herrera López¹, Joanni Medina Chaverria², Héctor Fabio Quintero Rianza³

Resumen. Se presenta una propuesta para la industrialización del proceso de empaque de forraje de maíz utilizado para ensilaje, el cual es una alternativa de alimentación para el ganado. En este trabajo se describe el diseño de la máquina, construcción y pruebas del prototipo para dosificar y compactar, así como, la adición de nutrientes del forraje del maíz. Adicionalmente, se detalla la metodología empleada para determinar la fuerza de compactación requerida por unidad de área tal que permita extraer la mayor cantidad de aire, que conserve la forma del forraje y evite la pérdida de nutrientes. Después de determinar la fuerza de compactación, se calcularon las fuerzas axiales de la estructura utilizando el programa computacional Algor, se procedió a seleccionar los ángulos de la estructura y se verificaron los esfuerzos y las deformaciones en la estructura. Con el diseño obtenido es viable automatizar el proceso de dosificación y compactado, disminuyendo tiempo del proceso, y reduciendo las pérdidas por posible contaminación del producto.

Palabras claves: Ensilaje de maíz, diseño de máquina, dosificación, compactación

Abstract. A new proposal of a packing machine of maize forage used for ensilage is presented in this work; the forage is used as an alternative for feeding cattle. A description of the machine design and the design, construction and tests of its prototype to dose, compact and add nutrients to the forage of the maize is given in this work. The methodology employed to determine the force required for compactation by unit area that allows extracting the greater amount of air of the bag that conserves its form and avoids the loss of nutrients. After determining the compactation force, the axial forces of the structure were calculate through the Algor software. The structural angles were selected and the stresses and deformations of the structure were also verified. With this design, the automation of the dosification and compactation process is feasible, reducing the losses due to potential product contamination.

Key words: Ensilage of maize, machine design, dosification process, compactation process

Durante años se ha planteado la alternativa de almacenar y conservar el alimento que se produce de más en las épocas de abundancia para suministrarlo a los animales, en los tiempos en que exista escasez del alimento o pierde calidad nutricional. Esta alternativa de solución está siendo solo empleada por agricultores y ganaderos que tienen los suficientes recursos tecnológicos y económicos, debido a que esta labor requiere utilizar gran cantidad de mano de obra, además de recursos tecnológicos como tractores y cortadoras, lo que la hace poco viable para el campesino que no cuenta con estos elementos.

La importancia del ensilaje consiste en que i) se aprovecha el excedente de forraje producido en la época de abundancia para suministrarlo en épocas críticas, ii) se cosecha y se ensila el forraje en su punto óptimo, preservando al máximo los nutrientes, iii) se necesita menos suplementación con

concentrados del mercado, disminuyendo así los costos de alimentación, iv) se pueden conservar forrajes por mucho tiempo con pérdidas pequeñas (Lafaurie, 2006).

El ensilaje puede ser definido como un 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 utilizada eficientemente por las vacas de producción lechera (Rodríguez, 1983; Cuadrado *et al.*, 2003). Técnicamente, 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 (primariamente

¹ Profesor. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Vereda la Julita, Pereira, Colombia. <marlonjherrera@gmail.com>

² Profesor. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Vereda la Julita, Pereira, Colombia. <joanni_medina@yahoo.es>

³ Profesor. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica. Vereda la Julita, Pereira, Colombia. <hquinte@utp.edu.co>

Recibido: Abril 30 de 2008; Aceptado: Octubre 24 de 2008.

Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 61(2): 4676-4685. 2008.

enzimas degradantes proteicas), especies indeseables de bacteria (enterobacteria, clostridia), levaduras, hongos, y las mismas bacterias ácido lácticas (Weinberg y Muco, 1996).

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 campesinos, los cuales realizan la mayoría del trabajo artesanalmente (Titterton *et al.*, 1999). El presente trabajo busca ser parte de la solución a este problema, por medio del diseño de un equipo que además de mecanizar las diferentes etapas del proceso es eficiente y económico.

El forraje fresco de cultivos como maíz, gramíneos, leguminosos, trigo y alfalfa, puede ser conservado por medio del ensilaje. En muchos países los forrajes ensilados son muy apreciados como alimento animal. En Europa, los agricultores de países como Holanda, Alemania y Dinamarca, almacenan más de 90% de sus forrajes como ensilaje. Aún en países con buenas condiciones climáticas para la henificación, como Francia e Italia, cerca de la mitad del forraje es ensilado (Wilkinson *et al.*, 1996). Para producir un ensilaje de buena calidad es esencial asegurar que se produzca una buena fermentación microbiana en el ensilado. El proceso de fermentación no depende sólo del tipo y la calidad del forraje, sino también de la técnica empleada para la cosecha y para el ensilaje (Oude *et al.*, 1999).

En Uruguay, se realizó un estudio de las ventajas del uso del ensilaje de maíz para alimentar el ganado vacuno; para el estudio se alimentaron dos lotes, uno de ellos se alimentó solo con pasto y el otro con ensilaje de maíz y pasto. En el tratamiento sólo de pasturas, la ganancia de peso de los animales fue significativamente menor que en los tratamientos en que se suplementaron con silo de maíz. Se pudo apreciar una relación directa entre el aumento del nivel de ensilaje de la dieta (y por lo tanto el porcentaje de grano de maíz y concentración de energía) con la ganancia diaria de peso vivo (Martins *et al.*, 2006).

Escobar y Carulla 2003, evaluaron el efecto de la oferta forrajera sobre la producción y la composición de la leche (proteína, grasa y lactosa). El

experimento se desarrolló en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) entre el 1 y 16 de marzo de 2003, con 15 vacas Holstein divididas en tres grupos con oferta forrajera (mezcla Ryegrass-Kikuyo) de 3 kg, 5 kg y 7 kg de materia seca (M.S)/100 kg de peso vivo (P.V). El consumo de forraje se determinó mediante el método agronómico durante 7 días. La producción y composición de la leche fue medida usando un Milkoscan s50 (Foss Electric) a mañana y tarde durante 5 días. Para el análisis estadístico se usó el programa SAS teniendo como unidad experimental la vaca. El consumo, la producción y composición de la leche fue analizada usando GLM (General Linear Model). Las diferencias entre tratamientos fueron determinadas usando el test de Duncan. Aumentando la oferta de forraje de 3 kg a 7 kg/100 kg de peso vivo el consumo arrojó diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,001$). Los consumos pueden estar sobrestimados ya que el método agronómico no es ideal para estimar consumo cuando la oferta de forraje es alta. Igualmente, se incremento significativamente la concentración de proteína ($P < 0,01$) y lactosa ($P < 0,001$).

En los países en vías de desarrollo es preciso aumentar el nivel de ingreso proveniente de la actividad ganadera; para ello, es indispensable contar con sistemas de alimentación eficaces y de bajo costo. El uso del ensilaje para conservar residuos y subproductos agrícolas, agroindustriales y de actividades pesqueras es una opción que ya ha sido probada en el terreno y que ofrece oportunidades para mejorar el nivel de ingreso de la finca agrícola y sus ganancias en las actividades comerciales. En cada país el Ministerio de Agricultura debería mantener al día un inventario con fuentes de subproductos con potencial forrajero, indicando el tipo, las cantidades disponibles, la calidad nutritiva y las épocas y lugares en que se puede tener acceso a ellos. También debería mantenerse información sobre el uso local de estos recursos y de su precio (Chedly y Lee, 1999).

El ensilado de forraje de maíz requiere una serie de pasos que van desde la recolección de la cosecha hasta el empaque del producto para su distribución final. A continuación se describen los pasos:

Recolección. Se recoge el maíz estando aún verde (a los cien días de la siembra aproximadamente), y se pica en pequeños trozos. Esto se hace mediante

una máquina arrastrada por un tractor, que corta la planta de maíz dejando la zoca (trozo del tallo que se eleva poco menos de 25 cm), picando la planta y descargándola en un remolque con capacidad de 1,5 toneladas.

Compactación. Se compacta el forraje de maíz para eliminar el exceso de aire. Para esto se descarga el forraje del remolque sobre un plástico (de 7 m por 10 m) y posteriormente un tractor pasa sobre él para compactarlo (Sánchez, 2005).

Rociado. El forraje de maíz es rociado con melaza para acelerar el proceso de fermentación. Esto se hace usando una fumigadora de espalda.

Sellado. Todos estos pasos se repiten hasta acumular una cantidad aproximada de diez toneladas en el silo, momento en el que se tapa el silo con un plástico; una vez tapado se da comienzo a la fermentación anaeróbica.

Empacado. El ensilado tarda alrededor de 25 días para estabilizarse, y queda listo para ser removido. Para esto se retira la cubierta del silo, y el ensilaje se empaca manualmente en bolsas plásticas de alto calibre (150 μ m de espesor), generalmente se empaca de 30 kg a 60 kg, dependiendo del cultivador. El forraje empacado se arruma a la intemperie en lugares abiertos para evitar el ataque de roedores. Una vez empacado el ensilaje está listo para ser distribuido comercialmente.

Michel *et al.* (2003), presentan el diseño de una máquina compactadora en la que se llena de forraje cuatro moldes simultáneamente por ciclo, y que reemplaza el sistema tradicional que consiste en llenar una cubeta de 19 L. Con el producto mezclado y enseguida son compactados, por consiguiente se

ahorrrará tiempo, se facilitará el manejo del forraje, también ahorrara espacio de almacenamiento, reducir el trabajo físico al operario. También se debe tomar en cuenta que al usar este equipo se elimina el uso de bolsas o costales, ya que almacena en tanques, que con el tiempo pasan a ser desechos inorgánicos que dañan el ecosistema de la región. En Costa Rica existe la compañía Forrajes Ensilados S.A., representante de una empresa Suiza Siloprensa, en las que se tienen soluciones para el embolsado de forrajes de subproductos industriales en tres modalidades: 650 kg, 450 kg y 50 kg.

En este artículo se presenta el diseño de una máquina para dosificar, empacar y compactar el forraje verde que se produce de exceso en las épocas de abundancia, facilitando su almacenamiento y conservación. Se presentan las pruebas realizadas al prototipo de la máquina diseñada. En un trabajo paralelo, se diseñó la máquina para la extracción de aire y sellado de la bolsa, una vez finalizado el proceso de compactación (Gutiérrez, 2008). De esta forma, se obtiene una máquina que realiza todas las operaciones requeridas en el proceso de ensilaje.

METODOLOGÍA

Descripción del diseño final de la máquina.

Con el fin de cumplir las necesidades especificadas para el equipo, se plantea el diseño de una mesa giratoria, la cual en la parte superior, aloja cuatro cajones contruidos en lámina de aluminio, cada cajón tiene puertas que permiten una fácil extracción del producto y que se denominaron contenedores (Figuras 1 y 2).

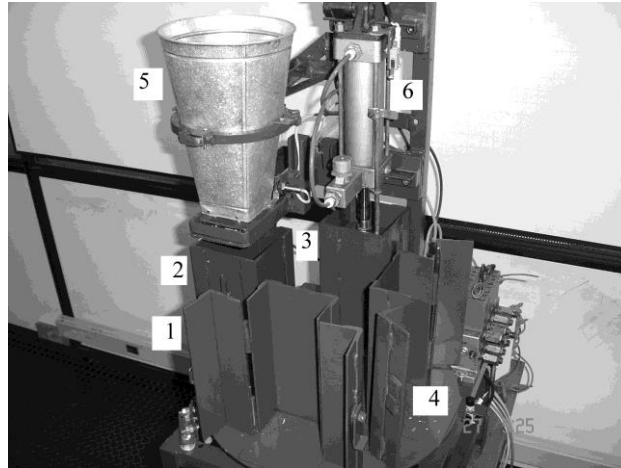


Figura 1. Mesa giratoria y contenedores: 1. Estación de preparación, 2. Estación de pesaje y llenado del contenedor, 3. Estación de compactado, 4. Estación de extracción del producto, 5. Tolva dosificadora, 6) Cilindro de compactado.

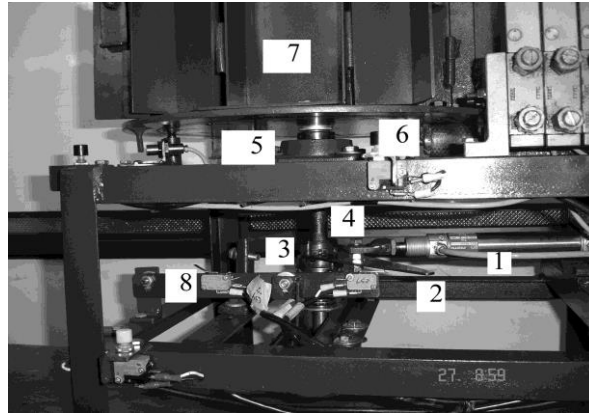


Figura 2. Mecanismo para el giro de la mesa: 1. Cilindro, 2. Brazo, 3. Trinquete unidireccional, 4. Eje, 5. Soporte de rodamiento, 6. Mesa giratoria, 7. Contenedor, 8. Final de carrera

Estación 1: Preparación. Como su nombre lo indica, el operario encargado de esta estación debe preparar el contenedor para que se pueda llenar con el forraje a compactar. Para realizar esta operación, se deben abrir las puertas del contenedor y apoyar, en su borde superior, la bolsa encargada de contener el forraje. Una vez que el operario realice correctamente esta operación, debe verificar que las puertas del contenedor estén debidamente cerradas. Al finalizar esta labor la mesa debe girar 90° a la estación 2.

Estación 2: Pesaje y llenado del contenedor. Una vez que el forraje ha sido transportado desde la zona de descarga hasta la máquina, es enviado

hasta una tolva identificada como 5 en la Figura 1, y que está ubicada encima de la estación 2. En esta tolva se determina el peso a compactar por medio de una balanza digital la cual, una vez que detecta el peso establecido, envía una señal que actúa una válvula direccional. Esta válvula controla la compuerta que permite el paso de forraje entre la tolva y el contenedor, este último identificado como 2 en la Figura 1, y al cual previamente se le coloca la bolsa en la estación 1, cuando esta operación finaliza, la mesa gira otros 90° hasta la estación 3.

Estación 3: Compactado. Cuando el contenedor llega a la estación 3, el sensor de posición de la mesa indica un alineamiento entre el cilindro de

compactado y el contenedor. Cuando esto se cumple, el cilindro es accionado desplazándose para compactar el forraje que está al interior del contenedor, hasta alcanzar el valor de presión de compactado y sostener dicho valor por un tiempo de tres segundos. Una vez finalizado este tiempo, el cilindro retorna hasta actuar un final de carrera que envía una señal para permitir nuevamente el giro de la mesa hasta la estación 4. Para evitar que la mesa giratoria se deforme o se presenten daños en el eje central y sus rodamientos, durante los repetitivos procesos de compactación, se diseñaron dos rodillos los cuales se ubican bajo la mesa rotatoria y en la posición de la estación de compactado. El propósito de estos rodillos es soportar la fuerza generada por el cilindro, protegiendo así el eje central de la mesa y los rodamientos a grandes esfuerzos de flexión.

Estación 4: Extracción. En esta estación un operario se encargará de abrir las puertas del

contenedor y extraer la bolsa con el forraje compactado. Una vez extraída la bolsa el operario debe realizar dos operaciones: la primera consiste en cerrar las puertas del contenedor, con el fin que la mesa gire nuevamente y el contenedor inicie un nuevo ciclo; en la segunda operación, se debe entregar la bolsa con el ensilaje compactado a la máquina que debe realizar el proceso de extracción del aire y sellado de las respectivas bolsas.

Accionamiento de la mesa giratoria. El giro de la mesa se logra por medio de un cilindro hidráulico, el cual acciona un brazo mecánico que está acoplado a un trinquete unidireccional (Figura 3). El giro de la mesa se logra únicamente cuando el cilindro se extiende, pero al contraerse el cilindro nuevamente mueve el brazo pero no la mesa. En cada movimiento completo del cilindro, es decir avance y retroceso, se logra un giro de 90° de la mesa.

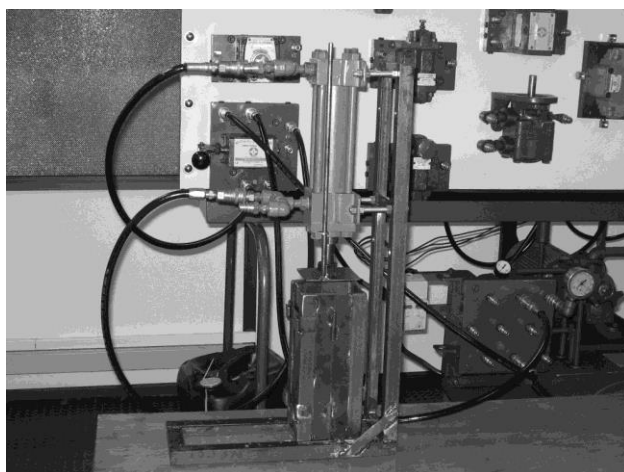


Figura 3. Mecanismo para prueba de compactación del forraje

Para mover este cilindro se aprovecha la unidad hidráulica seleccionada para el proceso de compactación. Tanto para la carrera de avance como de retroceso, se utilizan válvulas reguladoras de caudal con el fin de controlar la velocidad de giro de la mesa, adicionalmente se deben utilizar dos finales de carrera que permitan identificar cuando el cilindro presenta el vástago extendido y cuando es retraído.

En la lógica de los movimientos de la máquina, se obligará a este cilindro a estar extendido hasta finalizar el proceso de compactado. La mesa

giratoria sirve como plataforma de apoyo para los contenedores, el material usado para su construcción es lámina de acero estructural A-36.

Prueba de compactación. Esta prueba se realiza para evaluar la fuerza requerida por unidad de área, que permite extraer la mayor cantidad de aire de las plantas de maíz previamente picadas, y que es vital para el proceso de fermentación anaeróbica, además de reducir significativamente el volumen ocupado por el producto. También se busca probar que, una vez compactado el producto, éste puede conservar

una forma que, al terminar el proceso de empaque, facilite la labor de almacenamiento y conservación; dicha presión debe evitar la pérdida de humedad y como consecuencia la pérdida de nutrientes y valor alimenticio del forraje.

Con el fin de determinar el valor aproximado del peso específico del forraje, se requiere encontrar una relación entre el peso del forraje compactado y el volumen que éste ocupa después de ser compactado; esto permite calcular el tamaño de los contenedores que se deben construir de acuerdo con el peso que se desee compactar, tanto en el prototipo como en la máquina. Una de las condiciones básicas del proceso de ensilaje es la necesidad de cortar la planta de maíz en unas condiciones de humedad específica, aproximadamente entre 70 y 75%, lo que da validez a la búsqueda del

peso específico del forraje, ya que éste tiene un valor aproximadamente constante.

$$\gamma_F = \frac{W_C}{V_C} \quad (1)$$

Donde γ_F es el peso específico del forraje, W_C es el peso del forraje compactado y V_C es el volumen del forraje compactado.

Para determinar el peso específico del forraje, se construye un mecanismo para la compactación en el que se dispone de un contenedor de lámina de hierro calibre 12 de apertura central, Figura 4. Las dimensiones del contenedor son 10 cm de ancho, 10 cm de profundidad y 26 cm de altura.

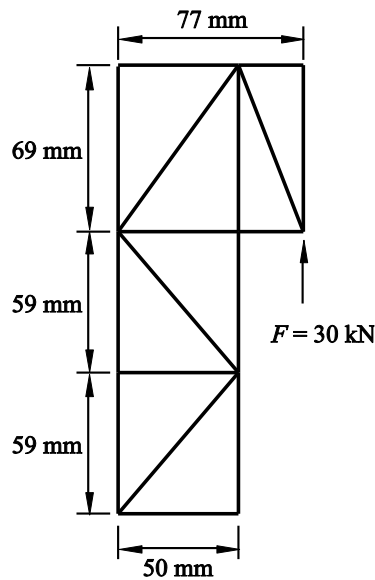


Figura 4. Estructura que soporta el cilindro para compactado en una máquina diseñada para el empaque de forraje de maíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar la prueba de compactación, se eligió un cilindro hidráulico existente en el Laboratorio de Sistemas Dinámicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira. El diámetro del embolo fue de 50,8 mm (2 pulg); con este cilindro se genera la fuerza necesaria para lograr el compactado del forraje, según los cálculos anteriormente realizados.

$$A_p = \frac{\pi}{4} (50,8 \text{ mm})^2 = 0,002 \text{ m}^2 (3,1416 \text{ pulg}^2) \quad (2)$$

$$P_t = \frac{882 \text{ N}}{0,002 \text{ m}^2} = 441 \text{ kPa} \quad (3)$$

Siendo A_p el área del pistón y P_t la presión de trabajo. Las pruebas de compactación del forraje se llevaron a cabo bajo las siguientes características:

- Un peso del forraje compactado de 500 g.
- Una presión de compactado entre 414 kPa (60 psi) y 690 kPa (100 psi).
- Luego de alcanzar el valor de presión de la prueba, ésta se mantuvo por un tiempo de tres segundos.
- Para cada prueba se consignó el valor del volumen ocupado por el forraje antes y después de ser compactado.
- En cada prueba se verificó que una vez compactado mantuviera la forma con el fin de facilitar su manipulación y almacenamiento sin presentar escurrimiento del material a ensilar.
- Se utilizaron bolsas comunes de las utilizadas en los supermercados, con el fin de empacar el forraje. Las medidas de estas bolsas son: 22 cm x 40 cm.
- La consistencia del compactado es muy similar a la obtenida a 621 kPa y a 690 kPa, pero sin tanto consumo de potencia, lo que será vital a la hora del diseño del equipo.
- No se presentó pérdida de fluidos en el forraje.
- Se descartaron las presiones de compactado de 414 kPa y 483 kPa debido principalmente al bajo nivel de compactación que se obtiene en el forraje.
- Con los resultados obtenidos en la prueba de compactación seleccionada fue posible realizar un dimensionamiento del tamaño real del contenedor que se debe construir para lograr empacar y compactar 40 kg de forraje, así mismo dimensionar los diferentes elementos que permitan realizar esta labor.

Las pruebas de compactación se realizaron a 414 kPa, 483 kPa, 552 kPa, 621 kPa y 690 kPa. En la primera prueba, el forraje no mantuvo por mucho tiempo la forma, perdió cohesión y se desmoronó; no se observó pérdida de agua. En la prueba a 483 kPa, el forraje mantuvo la forma, se observó la posibilidad de lograr un mayor grado de compactación; no se presentó pérdida de agua. En la tercera prueba a 552 kPa, el forraje mantuvo la forma, se observó una muy buena compactación pues al pesar de sacar el producto de la bolsa, éste conservó su forma de cubo y no se apreció pérdida de líquido. En la prueba a 621 kPa, el forraje mantuvo la forma, no varió significativamente respecto con la prueba anterior, se observó una muy buena compactación y se notó un poco de humedad en las paredes de la bolsa, pero no se observó una pérdida de líquidos. Finalmente en la prueba a 690 kPa, el forraje mantuvo la forma, el producto estaba muy bien compactado pero se apreció una mayor cantidad de humedad en las paredes de la bolsa. El volumen antes y después de compactar fueron, respectivamente $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ y $1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Una vez realizadas las pruebas de compactación, se encontró que las mejores opciones de trabajo se obtienen a una presión de 552 kPa (80 psi) debido principalmente a los siguientes aspectos:

- Se obtuvo una muy buena compactación del producto con lo que se logra una eficiente extracción del aire al interior del forraje.

Aplicación de los resultados obtenidos en la prueba de compactación. Establecido el valor de presión con el que se obtiene la mejor compactación del forraje, se puede realizar una aproximación al tamaño del contenedor que se debe construir para lograr compactar 40 kg de forraje, además de establecer un valor cercano de la magnitud de la fuerza que debe aplicarse en el proceso. Para ello se determinaron las características del forraje que es compactado a una presión de 552 kPa (80 psi).

Cálculo de la presión de compactación sobre el forraje. La fuerza desarrollada por el vástago del cilindro, aplicada sobre el área de la platina que compacta el forraje, permite establecer la presión por unidad de área que se ejerce sobre él.

$$F_v = p_{\text{TUH}} \cdot A_p = 552 \text{ kPa} \cdot 0,002 \text{ m}^2 = 1,104 \text{ kN} (250 \text{ lbf}) \quad (4)$$

$$p_c = \frac{F_v}{A_{pc}} = \frac{1,104 \text{ kN}}{0,009 \text{ m}^2} = 122,67 \text{ kPa} (18 \text{ psi}) \quad (5)$$

donde F_v es la fuerza desarrollada en el vástago, p_{TUH} es la presión de trabajo de la unidad hidráulica, A_p es el área del pistón, p_c es la presión de compactación sobre el forraje, A_{pc} es el área de la platina de compactado.

Cálculo del peso específico del forraje.

$$\gamma_F = \frac{W_C}{V_C} = \frac{0,5 \text{ kg}}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 417 \text{ kg m}^{-3} \quad (6)$$

Cálculo de la relación de volúmenes. Se puede establecer una relación entre el volumen que ocupa el forraje antes y después de ser compactado

$$R_V = \frac{V_o}{V_f} = \frac{2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 2,2 \quad (7)$$

siendo R_V la relación de tamaños.

Cálculo aproximado del tamaño del contenedor. En esta etapa no se pretende el cálculo exacto de las dimensiones del contenedor para compactar 40 kg del producto, se busca obtener una aproximación del tamaño del contenedor, esta información es requerida para el análisis del diseño definitivo.

Volumen ocupado por 40 kg de forraje. Utilizando el peso específico del forraje y el peso que se desea compactar se obtiene el volumen final.

$$V_{\text{final}} = \frac{W}{\gamma} = \frac{40 \text{ kg}}{417 \text{ kg/m}^3} = 0,096 \text{ m}^3 \quad (8)$$

Si se toma la decisión que la forma del forraje compactado es un cubo, el valor de sus aristas será:

$$V = L^3 = 0,096 \text{ m}^3; L = 46 \text{ cm} \quad (9)$$

Por lo tanto, el área de compactado sería:

$$A_{\text{comp}} = L^2 = (0,46 \text{ m})^2 = 0,2116 \text{ m}^2 = 328 \text{ pulg}^2 \quad (10)$$

Sistema de transporte. Se diseñó un sistema de transporte neumático encargado de transportar el forraje del sitio de descargue hasta la tolva en la que se realiza el pesaje. Este sistema facilita la

extracción del producto del lugar de descargue sin la necesidad de un sistema de almacenamiento adicional minimizando el trabajo físico de los operarios, además de evitar la contaminación del material transportado. Este sistema es de fácil construcción y su número limitado de piezas lo hace muy confiable.

El paso del forraje a la tolva es permitido por un dámper accionado por un cilindro. Este sistema se abre o se cierra por la señal enviada desde la báscula digital, el dámper permanece abierto hasta que la báscula detecte un peso de 40 kg y envía una señal que activa el sistema de cierre el cual impide el paso de forraje a la tolva.

En busca de entregar un producto totalmente terminado, la máquina diseñada para dosificar, pesar y compactar el forraje de maíz, debe ser complementada por un equipo que permita realizar vacío y sellado a las bolsas en las que se compacta el forraje. Este equipo ha sido diseñado en un trabajo paralelo *Equipo para el empaque al vacío de forraje de maíz para ensilaje*, (Gutiérrez, 2008). Los dos proyectos se desarrollaron, buscando que cada uno de ellos sea el complemento del otro y así ofrecer una solución integral al sector agropecuario dedicado a la producción de ensilaje para la alimentación de ganado. Con el diseño obtenido, se realiza todo el proceso en una sola operación, disminuyendo la posibilidad de contaminación del proceso manual tradicional.

Análisis estático de la estructura con Algor. En el análisis estático la parte crítica de la estructura de la máquina es el brazo que sirve como soporte para el cilindro encargado de la compactación del forraje (Figura 5).

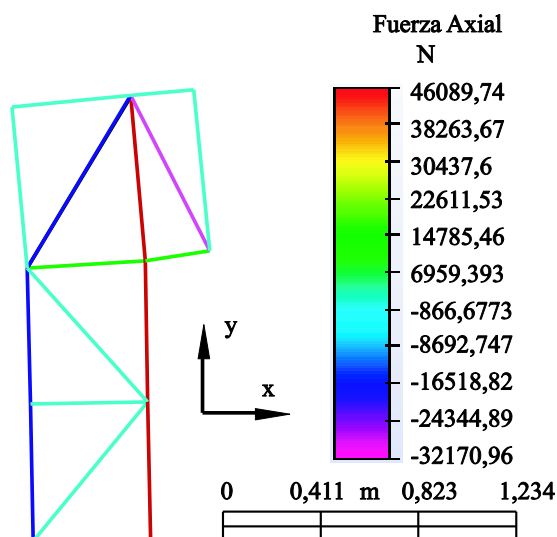


Figura 5. Fuerzas axiales en la estructura de una máquina diseñada para el empaque de forraje de maíz.

Con la ayuda del programa ALGOR, se pueden calcular las fuerzas a las que estarán solicitados los elementos, una vez que se realiza la compactación del forraje. Se aplica una fuerza de 30000 N, en el nodo marcado que soporta al cilindro, ésta es la fuerza de reacción debida al proceso de compactado que se realiza sobre el forraje. Con estas condiciones se analiza la estructura en ALGOR.

Como los elementos sometidos a compresión son más críticos que los elementos solicitados a tracción, los cálculos se realizaron con base en la carga del elemento de mayor carga a compresión, el cual está sometido a una fuerza de 32171 N = 3283 kgf = P_u . Se verificó un ángulo de alas iguales de la siguiente dimensión: 2 pulgadas \times 3/16 de pulgada. Las propiedades de este elemento son:

- Área = 4,61 cm²
- Inercia = $I_x = I_y = 11,45$ cm⁴
- Radios de giro = $r_x = r_y = 1,57$ cm.
- Radio de giro = $r_z = 0,99$ cm.
- Distancia al centroide = $\bar{x} = \bar{y} = 1,45$ cm

CONCLUSIONES

En este trabajo se describe el diseño de máquina y la construcción y pruebas del prototipo para dosificar, compactar y adición de nutrientes del forraje del maíz. Con el equipo diseñado se

disminuyen los tiempos del proceso, y complementado con el equipo para vacío y sellado, se reduce la posibilidad de contaminación respecto con los procesos tradicionales.

El tamaño y peso del equipo diseñado, permite que éste sea instalado en la parte superior de un remolque, facilitando su transporte, esta característica del equipo hace que sea viable su adquisición por parte de asociaciones y cooperativas de campesinos, las cuales pueden emplear el equipo para compactar y empacar rápidamente el forraje cosechado en una finca, y, posteriormente, trasladarlo para que realice las mismas operaciones en otra, esto gracias a la capacidad de la máquina.

La construcción de un prototipo como base para el desarrollo y prueba del diseño definitivo del equipo, permite evaluar la eficacia y la eficiencia de los sistemas seleccionados, con un costo relativamente bajo. Un valor agregado del prototipo, es que facilita la corrección de problemas, además de poder realizar ajustes y cambios, incluso detectar la inviabilidad de un equipo, aspectos estos que de otra manera sólo serían detectados cuando la máquina fuera construida, con las respectivas pérdidas de tiempo y dinero.

Aunque la máquina fue diseñada para empacar y compactar forraje de maíz, puede utilizarse para

realizar las mismas operaciones con otros tipos de forraje utilizados para la obtención de ensilaje, siempre y cuando se tengan condiciones similares de tamaño y humedad por parte del forraje. En caso de que estas condiciones sean diferentes, y exista la necesidad de procesar el forraje, la presión de compactación puede ser ajustada fácilmente, sin que éste genere problemas de sobre esfuerzo en el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chedly, K. y S. Lee. 1999. Ensilaje de subproductos agrícolas como opción para los pequeños campesinos. p. 87-98. En: Memorias. Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos
- Cuadrado, H., S. Mejía, A. Contreras, A. Romero, J. García. 2003. Manejo agronómico de algunos cultivos forrajeros y técnicas para su conservación en la región Caribe colombiana. *Corpoica*, Bogotá, 52 p.
- Escobar, A., J. Carulla. 2003. Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias* 16. Supl: 87.
- Forrajes Ensilados S.A. En: Forrajes Ensilados, <http://www.Iapcr.com/forrajes/maquinaria.htm>; consulta: marzo 2007.
- Gutiérrez, J. 2008. Equipo para el empaque al vacío de forraje de maíz para ensilaje: diseño de máquina, construcción de prototipo y prueba, Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.
- Lafaurie, J. 2006. Alternativas para enfrentar una sequía prolongada en la ganadería colombiana. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Corpoica-Fedegan. Bogota. 36 p.
- Martins, D., L. Olivera y D. Cozzolino. 2006. Ensilaje de maíz como componente de la dieta en la fase de terminación de novillos. *Revista INIA* 7: 5-8.
- Michel, F., F. Hernández, J. Soto y R. Parra. 2003. Maquina Compactadora de Forraje para Ganado. EXPODIME 2003, Universidad de Guadalajara.
- Rodríguez C.S. 1983. Ensilaje. En: Fonaiap Divulga N° 12, <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Revistas/Tecnicas/FonaiapDivulga/fd12/texto/ensilaje.htm>.
- Sánchez L. 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Revista Corpoica* 6(2): 69-80.
- Oude, S., F. Driehuis, J. Gottschal y S. Spoelstra. 1999. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. pp. 17-30. En: Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos.
- Titterton, M., O. Mhere, T. Kipnis, G. Ashbell, Z. Weinberg y B. Maasdorp. 1999. Desarrollo de técnicas de ensilado para pequeños ganaderos en Zimbabwe. p. 123-126. En: Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos.
- Weinberg, Z. and R. Muck. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews* 19(1): 53-68.
- Wilkinson, J.M., F. Wadehul and J. Hill. 1996. Silage in Europe: a survey of 33 countries. Chalcombe Publications. Lincoln. 154 p.