



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Querétaro

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE QUERÉTARO

DISEÑO DE MÁQUINA COMPACTADORA PARA SER USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL ENSILAJE PARA RUMIANTES

TESIS

Que para obtener el Grado de:
MAESTRA EN INGENIERÍA

presenta

CINTIA HERNÁNDEZ LUCERO

Dirigida por:

M.A. Teresa de Jesús Gómez Lemus

Co-director: M.C. Omar Alejandro Cervantes Gloria

Asesor: Dr. Raúl Ramírez López

Noviembre 2019





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Querétaro
División de Posgrado e Investigación

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Querétaro, Qro., **07 de Noviembre del 2019**
DIV. DE EST. POSG. E INV.
DEPI-246/2019

HERNÁNDEZ LUCERO CINTIA
ESTUDIANTE
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
PRESENTE

De acuerdo con el Reglamento para Exámenes Profesionales de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica, se le autoriza la impresión de la Tesis, para obtener el Grado de MAESTRIA EN INGENIERÍA, titulada:

"DISEÑO DE MÁQUINA COMPACTADORA PARA SER USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL ENSILAJE PARA RUMIANTES"

Para el correspondiente Examen de Grado.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"la tierra será como sean los hombres"

MA. DEL CONSUELO ALCÁNTARA TÉLLEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



C.C.P. Archivo
MCAT/mrr*



Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, C.P. 76000, Querétaro, Qro., México
Plantel Centro tel. 01(442) 2274400, Ext. 4421 e-mail: depin@mail.itq.edu.mx
Plantel Norte tel. 01(442) 2435554

www.tecnm.mx / www.itq.edu.mx



SNAS
Reg No 3910/01

Santiago de Querétaro, Qro. 19 de noviembre del 2019.

La que suscribe, egresada de la **MAESTRÍA en INGENIERÍA**, de manera libre y voluntaria autorizo al Centro de Información del Instituto Tecnológico de Querétaro a difundir la obra de mi autoría con el Título del trabajo **DISEÑO DE MÁQUINA COMPACTADORA PARA SER USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL ENSILAJE PARA RUMIANTES**. Para fines académicos, científicos y tecnológicos, mediante formato CD-ROM o digital, desde Internet, Intranet y en general cualquier formato conocido o por conocer.

Dicha obra estará disponible al estudiantado de esta Institución a partir del **19 de noviembre del 2019**, fecha en la cual se puede difundir la obra.

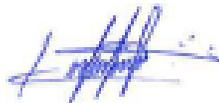
Postulante: **CINTIA HERNÁNDEZ LUCERO**

No. de Control: **M17142635** Correo electrónico: **cintia.hdez@live.com**

Título de la obra: **DISEÑO DE MÁQUINA COMPACTADORA PARA SER USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL ENSILAJE PARA RUMIANTES**

Área del conocimiento: **Mecánica**

Palabras clave de la obra: **Diseño, compactadora, sellado hermético, deformación tangencial, simulación con Ansys Workbench, silopaca.**



ING. CINTIA HERNÁNDEZ LUCERO



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Querétaro

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
COORDINACIÓN DE POSGRADO

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE TESIS

Santiago de Querétaro, Qro. a 04 de NOVIEMBRE de 2019

Ma. Del Consuelo Alcántara Téllez
Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Tecnológico de Querétaro
PRESENTE.

Nos permitimos hacer de su conocimiento, que después de haber procedido a la revisión y evaluación rigurosa y detallada de la Tesis del (de la) C.

ING. CINTIA HERNÁNDEZ LUCERO

Cuyo título es:

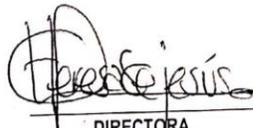
DISEÑO DE MÁQUINA COMPACTADORA PARA SER USADA POR PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL ENSILAJE PARA RUMIANTES

Este jurado considera APROBADA dicha Tesis y se le notifica que la tesista puede continuar con los trámites correspondientes para obtener el Grado de Maestría.

Sin más por el momento, nos despedimos de usted.

Atentamente,

Comité Tutorial



DIRECTORA

M.A. Teresa de Jesús Gómez Lemus



CODIRECTOR

M.C. Omar Alejandro Cervantes Gloria



ASESOR

Dr. Raúl Ramírez López

c. c. p. Presidente comité tutorial
Expediente del alumno
alumno



Av. Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, C.P. 76000, Querétaro, Qro., México
Campus Centro Tel. 01(442) 2274400 Fax: 01(442)2169931
Campus Norte 01(442) 2435554
www.itq.edu.mx



Índice

Capítulo 1	1
Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Metas.....	5
1.4 Justificación	6
Capítulo 2	9
Marco teórico	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Estado del arte.....	10
2.3 Generalidades.....	15
2.4 Alternativas de diseño.....	20
Capítulo 3	28
Metodología	28
3.1 Empatizar (Descubrir de la gente).....	28
3.2 Definir	29
3.3 Idear	29
3.4 Selección de variables	29
3.5 Diseño experimental	30
3.6 Diseño del sistema de sellado.....	30
3.7 Integración del diseño	31
Capítulo 4	33
Resultados	33
4.1 Necesidades de los pequeños productores.....	33

4.2 Selección de variables de estudio	36
4.3 Diseño del cilindro hidráulico.....	40
4.4 Estimación de la presión	48
4.5 Diseño del sistema de sellado.....	53
4.6 Integración de componentes	56
Conclusión.....	60
Trabajos futuros.....	62
Anexos	63
Referencias.....	78

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Máquina compactadora de forraje y bloque de forraje obtenido (España Patente nº P201530032, 2016)	10
Figura 2. 2 Prensa y método para producir pacas comprimidas (Países bajos Patente nº PCT/EP2010/002299, 2010)	11
Figura 2. 3 Contenedor para envolver pacas (Europa Patente nº EP2050330B1, 2011).	12
Figura 2. 4 Silo prensa vertical hidráulica	15
Figura 2. 5 Silo de montón de la Universidad Nacional Autónoma de México Campus Tequisquiapan, Querétaro	18
Figura 2. 6 Silo de trinchera	18
Figura 2. 7 Conservación de ensilaje por método silo de bolsa	19
Figura 2. 8 Pasos del ensilaje. Fuente: (Nutrimax, 2018)	20
Figura 2. 9 Componentes básicos de un sistema hidráulico	23
Figura 2. 10 Esquema de un circuito hidráulico (Noya, 2010)	23
Figura 2.11 Unidad de potencia	24
Figura 2. 12 Cilindro hidráulico con resorte	24
Figura 3. 1 Metodología “Design thinking”	28
Figura 3. 2 Diagrama de la metodología	29
Figura 3. 3 Metodología general del diseño de la compactadora.....	32
Figura 4. 1 Problemas presentados en el desarrollo de actividades.....	34
Figura 4. 2 Alternativas de diseño para el prototipo	35
Figura 4. 3 Alternativa del sellado	36
Figura 4. 4 Modelo general	37
Figura 4. 5 Diagrama de cilindro hidráulico	38
Figura 4. 6 Interacción para la respuesta el tiempo	40
Figura 4. 7 Recipientes utilizados como tolva.....	41
Figura 4. 8 Proceso de compactación: a) Recipiente/Tolva, b) Recipiente con producto, c) Compactación, d)Producto compactado	42
Figura 4. 9 Aplicación de la fuerza en el vástago	45
Figura 4. 10 Factor de seguridad para el vástago	45
Figura 4. 11. Esfuerzo de Von-Mises	46
Figura 4. 12. Deformación émbolo	46

Figura 4. 13 Análisis de esfuerzo Von-Mises	46
Figura 4. 14. Teoría de falla Von-Mises.....	47
Figura 4. 15 Deformación total	47
Figura 4. 16 Colocación de galga extensiométrica	48
Figura 4. 17 Experimentación para estudiar la deformación.....	49
Figura 4. 18. Presión interna.....	51
Figura 4. 19. Factor de seguridad	51
Figura 4. 20. Deformación máxima	52
Figura 4. 21. Teoría de Von-Mises	52
Figura 4. 22. Factor de seguridad en parte inferior de la tolva.....	53
Figura 4. 23. Esfuerzo de Von-Mises	53
Figura 4. 24. Deformación parte inferior	53
Figura 4. 25 Mordaza de sellado verticales (Greener corporation, 2019)	54
Figura 4. 26 Mordaza de sellado.....	55
Figura 4. 27 Mordaza de sujetadora.....	55
Figura 4. 28 Compactadora de alimento para rumiantes.....	57
Figura 4. 29 Componentes de la máquina compactadora	58
Figura 5. 1 Gráfica de normalidad	64
Figura 5. 2 Residuos vs valores ajustados	65
Figura 5. 3 Supuesto de aleatoriedad	66
Figura 5. 4 Media de los factores	66
Figura 5. 5 Comprobación de supuesto de normalidad	68
Figura 5. 6 Independencia residuos vs valores ajustados	69
Figura 5. 7 Residuos vs Orden de observación.....	69

Índice de Tablas

Tabla 1. 1	Problemas presentados en el desarrollo de las actividades agropecuarias.....	3
Tabla 2. 1	Comparativa de atrículos	12
Tabla 2. 2	Resumen de las máquinas que existen en el mercado para realizar silo-bolsas.13	
Tabla 4. 1	Evaluación de los tipos de sellado	35
Tabla 4. 2	Identificación de niveles y rangos	36
Tabla 4. 3	Resultados del tiempo	38
Tabla 4. 3	Resultados del tiempo	38
Tabla 4. 4	Análisis de Varianza	38
Tabla 4. 5.	Esfuerzos S_y y S_u de aceros estructurales	40
Tabla 4. 6	Resultados de compactación	42
Tabla 4. 7	ANOVA para variable Fuerza.....	43
Tabla 4. 8	Deformación	49
Tabla 4. 9	Componentes básicos de la máquina compactadora	56
Tabla 4. 10	Dimensiones y especificaciones del diseño	58

ACRÓNIMOS

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ANOVA: Análisis de varianza

DOE: Diseño de experimentos

FS: Factor de seguridad

FAO: Organización para la Agricultura y la Alimentación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme sabiduría y conocimiento para poder culminar uno de los proyectos que tenía trazado en mi vida y por ser mi guía. Agradezco a mis padres por todo el apoyo incondicional que me dieron para cumplir una de mis metas, que a pesar de la distancia siempre estuvieron al pendiente de mí, gracias por cada esfuerzo que hacían al venir a verme. A mis compañeros por compartir sus experiencias, conocimientos en las aulas por su apoyo y cariño brindando durante mi estancia.

Agradezco a los Doctores, Maestros e Ingenieros que me apoyaron para que este proyecto saliera adelante, por los conocimientos y experiencia compartida, además por su paciencia y comprensión que tuvieron, ustedes son parte importante en mi formación académica.

Gracias a todas las personas que estuvieron a mi lado apoyándome e hicieron que este sueño se hiciera una realidad.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme sabiduría, paciencia y fortaleza para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres Omar y Leticia por apoyarme en todas las decisiones que he tomado. Por estar siempre a mi lado dándome fuerzas y consejos que me han servido para seguir adelante, ustedes han sido mi pilar fundamental e inspiración en mi vida.

RESUMEN

Una inquietud del pequeño productor en el sector agropecuario son las considerables pérdidas y afectaciones que se presentan en el almacenaje de alimento (pasturas) de los rumiantes debido a la descomposición del mismo. Esto con lleva la necesidad de empaclar el alimento, eliminando el exceso de aire que incide en la descomposición de éste además de que sea manejable. Esta problemática dio pauta a considerar la falta de tecnología de vanguardia sencilla de utilizar por el usuario y económica para este fin específico. Este proyecto propone el diseño de un nuevo dispositivo para empaquetar alimento debidamente procesado, es decir, ensilar lo que denomine silo-pacas, en una presentación manejable de 45 kg de capacidad para la compactación de alimento de los rumiantes. Se logró el diseño del dispositivo general y cada uno de sus componentes emitiéndose los planos de detalle correspondientes. Se habilitó una máquina universal para realizar una experimentación previa que nos diera datos para la simulación. Esta máquina compactó el alimento procesado con la fuerza y presión necesarias para la compactación, los datos experimentales fueron utilizados para realizar la simulación en ANSYS del modelo realizado en SolidWorks. Se llevó a cabo un diseño de experimentos para determinar mediante regresión lineal la fuerza necesaria para realizar la compactación de acuerdo a los resultados que se obtuvieron durante la experimentación en la máquina universal y se utilizaron galgas extensiométricas para determinar la máxima deformación y obtener mediante la ecuación de paredes delgadas la presión máxima soportada por la tolva. Finalmente, se realizó un análisis mecánico de la tolva para validar los valores de presión obtenidos en la experimentación y en el vástago se aplicó la fuerza que se obtuvo durante la experimentación, se hizo un sistema de sellado hermético para las bolsas evitando así la presencia del oxígeno. Con los valores de fuerza de 4.7 kN y presión de 1.56 MPa calculados y validados se logró reducir el volumen inicial hasta en un 50%. Se concluye que este tipo de dispositivos podría ayudar considerablemente a reducir el espacio requerido para almacenar el alimento, así como extender su tiempo de caducidad. Además, que el diseño de esta máquina resulta más eficiente la compactación del alimento para los rumiantes, además de las mordazas que sellan la bolsa hace la producción más vertiginosa para posteriormente almacenarlo.

Palabras clave: *Diseño, compactadora, sellado hermético*

ABSTRACT

A concern of the small farmers in the agricultural sector are the high losses and affectations that occur in the pasture storage of ruminant food due to its decomposition, this leads to the need to pack them, eliminating the excess of air that affects in the decomposition of this in addition to being manageable. This problem set the lack of cutting-edge technology and simple to use by the farmer and economical for this specific purpose. This study proposes the design of a new device to package properly processed food, that is easy to ensile what is called silobales, in a manageable presentation of 45 kg capacity for the compaction of ruminant food. The design of the general device and each of its components was achieved by issuing the corresponding detailed drawings. A universal machine was enabled to perform a previous experimentation that gave us data for the simulation. This machine compacted the processed food with the force and pressure necessary for compaction, the experimental data was used to perform the simulation in ANSYS of the model made in SolidWorks. A design of experiments was carried out to determine by means of linear regression the force necessary to perform the compaction according to the results obtained during the experimentation in the universal machine and strain gauges were used to determine the maximum deformation and obtained by the equation of thin walls the maximum pressure supported by the hopper. Finally, a mechanical analysis of the hopper was carried out to validate the pressure values obtained in the experimentation and in the stem the force that was obtained during the experimentation was applied, a hermetic sealing system was made for the bags thus avoiding the presence of the oxygen. With the force values of 4.7 kN and pressure of 1.56 MPa calculated and validated, the initial volume was reduced by up to 50%. It is concluded that making these types of devices could greatly help reduce the space required to store the food, as well as extend its expiration time. In addition, that the design of this machine is more efficient the compaction of food for ruminants in addition to the jaws that seal the bag makes the production more vertiginous to later store it.

Key words: *Design, sealing system, compaction*

Capítulo 1

Introducción

México requiere transformar su agricultura, basada en el conocimiento que permita aumentar no solo su productividad, sino la competitividad de productores de empresas medianas y pequeñas, capaces de atender la demanda local y así posicionarse en el mercado nacional; por lo que es necesario reducir las barreras que impiden la innovación en los sistemas agropecuarios, para coadyuvar a la productividad del sector primario.

Aunado a lo anterior, actualmente existe una gran necesidad del desarrollo de proyectos que ayuden a mitigar la deficiente alimentación de los rumiantes en los municipios del Estado de Querétaro, esta se ha generado debido a la escasez de alimentos que existe en temporadas de sequía. Este proyecto nace de la necesidad que tienen los productores dedicados a la producción de rumiantes, de empaquetar y almacenar los alimentos, pasturas, para asegurar la alimentación en la temporada de escasez o estiaje.

El objetivo principal de esta investigación consiste en diseñar una compactadora para empaquetar, almacenar y mejorar en su caso la alimentación en rumiantes (ovino, bovino, caprino), para lo cual, se realizará una investigación previa de las necesidades de los pequeños productores que no tienen recursos suficientes para solventar los gastos de ensilaje y almacenaje.

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los factores que más afecta a los pequeños productores del estado de Querétaro debido a su clima semidesértico, es la limitada disponibilidad de forrajes con alta calidad nutritiva durante la época seca. La oferta de forraje guarda estrecha relación con la disponibilidad de germoplasma, las condiciones del suelo, del clima y del manejo que le proporcione el productor. Los forrajes constituyen la fuente más económica de nutrientes para los rumiantes y su disponibilidad se caracteriza por épocas de abundancia que coinciden con las lluvias, y de escasez, que coinciden con la sequía. Este aspecto conduce al sobrepastoreo, a la disminución de la producción de leche, así como pérdida de peso de los animales, retraso en el crecimiento, incremento de los costos de producción y a un menor ingreso percibido (Giraldo, Argel , & Burgos, 2007).

Los primeros meses hasta el mes de noviembre de 2011 en México existió una sequía que repercutió de manera importante en las actividades agrícola, ganadera y forestal; causando siniestro en 963 mil hectáreas (ha) correspondientes a 4.4% de los 22 millones de ha. cultivables, la muerte de 450,000 cabezas de ganado bovino equivalentes a 1.4% del hato ganadero conformado por más de 32.6 millones de cabezas, daños cuantiosos en la actividad forestal provocados por los incendios y, disminución en la disponibilidad de agua en las presas de entre 60 y 70% (SAGARPA, 2011).

Para superar estas limitantes, se requieren estrategias de conservación de forrajes que conduzcan a la disponibilidad del mismo en buena calidad de forma permanente y a bajo costo durante la época crítica que es primavera-verano.

En Querétaro existen vendedores de “pacas” que ofrecen la tonelada de alimento en \$1,600.00 pesos, además del costo de transporte. Esto causa que aproximadamente el 80% de productores no tengan la facilidad de comprarlas, de acuerdo a una encuesta realizada por el INEGI que muestra los problemas que presentaron varios productores como se muestra en la **Tabla 1. 1**. Aunado a esto, el uso de empaquetar y almacenar el alimento en dimensiones y peso más pequeños sería una alternativa muy útil para aquellos productores que tienen pocos animales o que su capacidad económica no permite comprar una tonelada de forraje ensilado y compactado.

El ensilaje es un método de conservación de forraje o subproductos agrícolas con alto contenido de humedad (60-70 %), mediante la compactación, expulsión del aire y producción

de un medio anaeróbico, que permite el desarrollo de bacterias que acidifican el forraje (M., 2005), lo cual mejora su calidad nutritiva.



Figura 1. 1 Proceso del ensilaje

La **Figura 1. 1** muestra el proceso que se lleva a cabo para realizar un ensilaje, las etapas del proceso son explicadas a continuación:

1. Muestra el pasto o maíz con un picado no mayor a los 2 cm.
2. En esta etapa del proceso el pasto picado se le agregan aditivos como melaza, sorgo y avena.
3. Muestra como el usuario abastece de materia prima en las bolsas para empaquetar y después ser colocadas en la máquina que realizará la compactación.
4. La máquina compactadora es encargada de realizar la compactación de la materia prima, para posteriormente realizar el sellado de la bolsa lista para ser almacenada.
5. Por último, se muestra el producto compactado y almacenado.

El proyecto se enfoca en la etapa 4 del proceso del ensilaje, en el diseño de una máquina que sea capaz de compactar la materia prima, extraer el exceso de aire dentro de la bolsa y realizar un sellado hermético, para que el proceso sea anaeróbico.

1.1.2 Identificación de problemas

Durante el período de octubre de 2013 a septiembre de 2014, el INEGI realizó una encuesta agropecuaria donde los productores expresaban los problemas que fueron presentados durante el desarrollo de sus actividades agropecuarias, los cuales se presentan en la **Tabla 1**.

1. Se observa que las mayores pérdidas se presentan por falta de recursos económicos (para mejorar la infraestructura, preparación de espacios para almacenar el alimento, gastos de transporte, entre otros) y las pérdidas por causas climáticas, plagas o enfermedades.

Tabla 1. 1 Problemas presentados en el desarrollo de las actividades agropecuarias (SAGARPA, INEGI, 2014)

Problemas presentados durante el desarrollo de las actividades agropecuarias	Porcentaje de unidades de producción
Altos costos de insumos y servicios	83.4%
Pérdida por causas climáticas, plagas, enfermedades, etc.	78.2%
Falta de capacitación y asistencia técnica	45.5%
Pérdida de fertilidad del suelo	39.4%
Infraestructura insuficiente para la producción	34.9%
Dificultades en la comercialización	37.2%
Dificultades en transporte y almacenamiento	25.7%
Vejez, enfermedad o invalidez del productor	24.6%
Falta de organización para la producción	18.0%
De acceso al crédito	25.3%
Falta de documentación para acreditar la posesión de la tierra	6.6%
Litigio o invasión de la tierra	2.6%
Inseguridad	25.3%
Falta de información de los precios de los productos	21.9%
Desconocimiento de la administración de la actividad	8.7%
Otro problema	3.4%

Por esta razón los pequeños productores emplean el forraje ante la escasez de pasto en temporadas de extrema sequía, por lo contrario, en temporadas de intensas lluvias es el momento de aprovechar los excedentes de pasto para almacenarlo adecuadamente para disponer de él cuando se requiera. Germán García Borbón (2018), zootecnista experto en nutrición bovina; menciona que los pequeños productores deben de contar con la maquinaria necesaria para poder compactar y almacenar el alimento suficiente tomando en cuenta el número de cabezas de ganado que tengan y considerando que un rumiante consume 15 kg de alimento al día, así como la temporada de sequía que es de aproximadamente 3 meses (M. Svoboda, 2012). Es decir, si un agropecuario cuenta con 20 rumiantes y cada rumiante consume 15 kg al día esto daría un consumo de 9 toneladas de alimento al mes, por tres meses serían 27 toneladas de alimento, lo que tiene la necesidad de almacenar. Una presentación manejable por peso y tamaño para la silo-pacas es 45 kg a 50 kg, que de acuerdo a la **Tabla 1. 2** obtenida la página de Forraje industriales el volumen aproximado sería de 0.1 m³. Estas fueron consideraciones de diseño para el sistema compactador.

Tabla 1. 2. Pesos específicos de forraje
Fuente: (*Forrajes industriales, 2018*)

Peso del forraje (Kg)	Volumen final del forraje compactado (m ³)	Peso específico del forraje (kg/m ³)
50	0.1	500
450	0.8	560
650	1.1	590

De acuerdo a la encuesta presentada por la INEGI (2014), se presentan los puntos más destacados respecto al ensilado de pastura siendo:

- Posibilidad de ensilar por falta de recursos económicos, capacitación, maquinaria y equipo adecuado.
- Métodos de ensilaje costosos, porque el productor debe de disponer de maquinaria y equipo adecuado que por lo general es costoso y por lo tanto solo algunos tienen acceso a ellas.
- Falta de conocimiento de las tecnologías para ensilar forraje de manera exitosa.

Este trabajo plantea una solución parcial a la problemática anteriormente presentada sobre el ensilaje de forrajes, por lo que se plantean los siguientes objetivos:

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Diseñar una máquina compactadora de forraje para alimento de rumiantes que permita empacarlo y almacenarlo en buenas condiciones.

1.2.2 Específicos

- Diseñar una máquina que compacte el forraje a presión.
- Realizar pruebas de fuerza y presión para la compactación del ensilaje.
- Buscar materiales de bajo costo que cumplan con la función del empacado.

1.3 Metas

- ✓ Aumentar el número de bolsas a 30 por hora.
- ✓ Obtener la fuerza máxima de 41,000 N para realizar la compactación.
- ✓ Reducir el número de operadores de 3 a 1.

1.4 Justificación

Wong, (2001) menciona en la FAO (*Food and Agriculture Organization*) que los productores buscan alternativas mediante la práctica del ensilaje que les permitan disponer de alimentos baratos, que puedan ser almacenados y utilizados con facilidad.

Con el diseño de la compactadora durante la época de sequía, se podrán almacenar hasta 1200 kg/h de forraje, alimento para los rumiantes (ovino, caprino y bovino), disponiendo de una buena compactación y sellado para que no permita la entrada del oxígeno. Al no permitir la entrada de oxígeno se podrá obtener una buena fermentación, lo que a su vez permitirá que pequeños productores dispongan de alimento en forma de forraje ensilado durante la época de sequía, y esto impactará en el nivel de producción ganadera y permitirá una mejor posición en el mercado.

La propuesta del diseño de la máquina compactadora hará uso de tecnologías automatizadas como sistemas de generación de vacío, un sistema automatizado para el proceso de compactación, y el sistema de sellado, todo esto con adecuaciones particulares a las condiciones climatológicas donde se encuentre.

Para esto se hace muestra en la **Tabla 1. 3** una comparación de cómo están disponiendo del ensilaje actualmente.

Tabla 1. 3 Ventajas comparativa de formas de ensilar

Formas de ensilar	Ventajas		
	Social	Económico	Ambiental
Montón			
Trinchera	Mal uso del Suelo	Altos costos por la maquinaria utilizada para compactar el forraje.	Perdida de la fertilidad del suelo. Contaminación por bacterias.
Bunker			
Compactadora para silo bolsa	No es ergonómica	Económica, con perdida por no tener sellado hermético	Mejora el uso del suelo

Silo prensa hidráulica	Anti ergonómica	Perdidas por no tener un sellado hermético	Mejor uso del suelo
Propuesta	Social	Económico	Ambiental
Silocompactadora	Ergonómica	Mayor infraestructura Crecimiento económico.	No hay perdidas en el ensilaje.

Por esto el principal objetivo de la conservación de silo-paca es disponer de un aporte nutritivo que asegure la producción del ganado durante períodos de escasez. Esto a su vez contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible que tiene la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Organización de la Naciones Unidas, ONU, 2018) como son:

- Construir un sector agropecuario productivo que garantice la seguridad alimenticia del país.
- Aprovechar el desarrollo de la gente de campo y proteger el medio ambiente.
- Hacer más y mejores cosas con menos recursos, incrementando las ganancias.
- Trabajo decente y crecimiento económico.
- Producción y consumo responsable.

De esta manera este proyecto contribuye a los tres pilares de la sustentabilidad como a continuación se aclara.

Social

- Diseño ergonómico al facilitar el trabajo físico de empacar.
- Generación de oportunidades de trabajo para la gente del campo.
- Disminución de la migración de gente del campo hacia las ciudades, fomentando el desarrollo rural sustentable.
- Contribuye a la seguridad agroalimentaria.

Económico

- Crecimiento económico.
- Mayor infraestructura.
- Reducción de pérdidas de ensilaje y perdidas de rumiantes.

- Mejor rendimiento.
- Tecnología aplicada al sector agropecuario.

Ambiental

- Usar con mayor eficiencia los abastos de agua y las tierras de cultivo.
- Reducir o detener el sobrepastoreo.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Antecedentes

Las Naciones Unidas (ONU), en su organización 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, 1999).

Wilkinson *et al.*, (1996) señala que en Europa los agricultores de países como Holanda, Alemania y Dinamarca, almacenan más del 90% de sus forrajes como ensilaje. Aún en países con buenas condiciones climáticas para la henificación que es el método de conservación de forraje seco, esto producido por una rápida evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta, como en Francia e Italia, cerca de la mitad del forraje es ensilado.

En el 2012 el dirigente de la Confederación Nacional Campesina (CNC) en Querétaro, informó que en el transcurso de ese año se han perdido cerca de 60 mil cabezas de ganado, debido a la sequía, en algunos municipios del estado lo que significa un 10% más que en el 2011 (Nieto, 2012).

Atendiendo a esta necesidad se han presentado diferentes propuestas de solución a esta problemática, dentro de las cuales destacan las que se describen en la siguiente sección.

2.2 Estado del arte

En esta sección se encuentra parte de la información correspondiente al estado del arte, los estudios y avances que se han venido desarrollando en los últimos tiempos para suplir las necesidades presentadas en el campo agrícola a nivel mundial; a continuación, se relacionan una serie de documentos que ayudaron a tomar decisiones y pautas en cuanto a las ideas de diseño e implementación del prototipo teniendo así:

2.2.1 Revisión de literatura y consulta de patentes

A continuación, se presentan algunas de las patentes nacionales e internacionales relacionadas con el proyecto planteado con similitudes en el sistema de compactado y el funcionamiento del mecanismo, objetivo final del estudio.

- En España la patente con número P201530032, (2016) consiste en una máquina prevista para formar bloques compactos de forraje, en la que tiene lugar una compactación en vertical por medio de un cilindro con su correspondiente pistón, como se observa en la **Figura 2.1**, además de dos compactaciones horizontales en sentidos perpendiculares, por medio de dos cilindros.

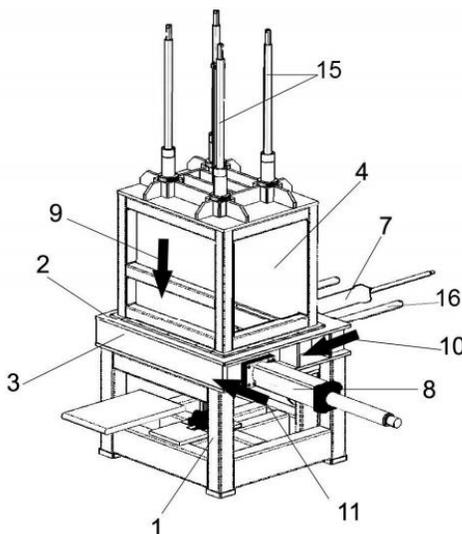


Figura 2. 1 Máquina compactadora de forraje y bloque de forraje obtenido (España Patente nº P201530032, 2016)

- La invención se refiere a un dispositivo para la confección de pacas envueltas, dentro de las cuales se encuentra el material a prensar, con un dispositivo dispuesto con movimiento vertical, con un sistema de alojamiento realizado como cuerpo

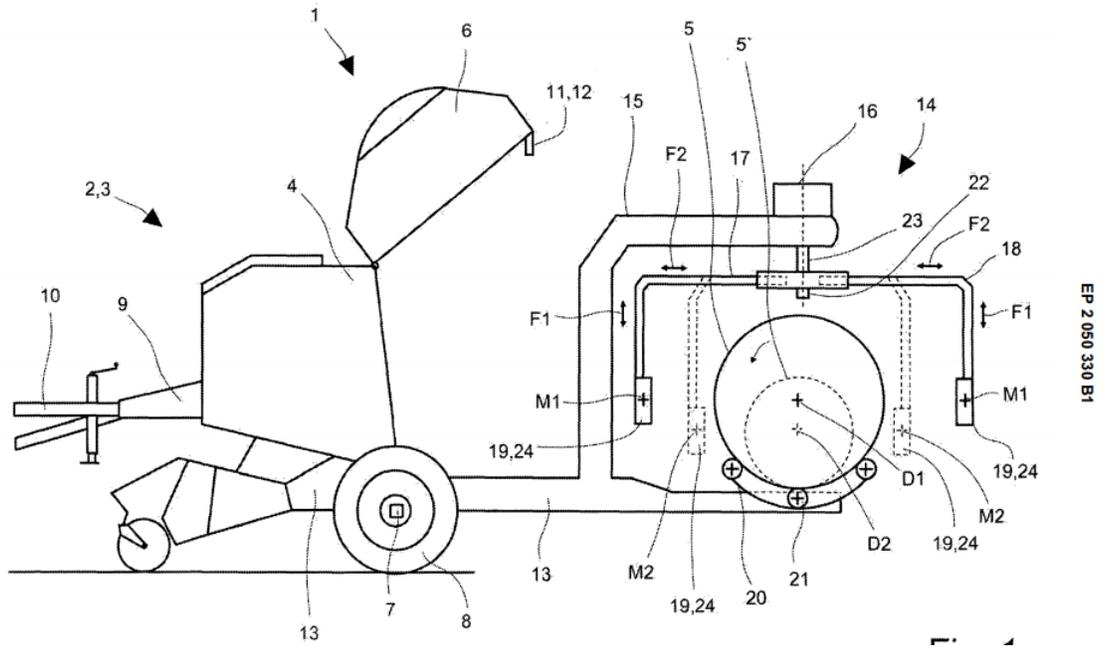


Figura 2. 3 Contenedor para envolver pacas (*Europa Patente nº EP2050330B1, 2011*).

Se consideraron dos patentes importantes para el diseño del prototipo de la máquina compactadora. Estas son:

1. Patente No. P201530032 debido a que cuenta con cilindros hidráulicos para realizar una compactación del forraje y es sobre una tolva de forma cuadrada.
 - Desventaja: Cuenta con 4 cilindros hidráulicos lo que implica un mayor costo.
2. Patente No. EP2052330B1: cuenta con un brazo de envoltura el cual ayuda a que el producto ya salga empaquetado.
 - Desventaja no cuenta con un dispositivo que expulse el exceso del aire.

Estas patentes fueron tomadas en cuenta para realizar el diseño del prototipo de la máquina compactadora.

2.2.2 Artículos

López Moreta & Pichucho Quishpe, (2012) realizaron un estudio completo, desde el conocimiento teórico del comportamiento de los diversos materiales del mecanismo hasta su

diseño y simulación de su funcionamiento en un software de ingeniería. En este estudio se determinan parámetros de diseño de la compactadora, cálculos y simulación de la máquina.

Existen diferentes tipos de ensilado de forrajes en bolsas plásticas, por lo que es importante definir sobre cuál se plantea el proyecto, como menciona el Ingeniero Agrónomo Gustavo Clemente en una de sus publicaciones, existen ensiladoras que tienen como sistema de compactación un rotor principal y las ensiladoras de “tornillo sin fin”. Estas últimas no aplican para los objetivos del proyecto debido a que se emplean principalmente para el ensilaje de granos, mientras que las ensiladoras de rotor principal aplican en la mayoría de sus especificaciones debido a que sirven para el ensilaje de forrajes, tales como la alfalfa, avena, sorgo y trigo, entre otros (Clemente & Monge, 2011).

Herrera López & Quintero Riaza, (2008), presentan una máquina compactadora de ensilaje de maíz. El sistema se realiza sobre una mesa giratoria de cuatro estaciones en las que se lleva a cabo cada una de las operaciones requeridas. Este sistema de control cuenta con sistemas neumáticos e hidráulicos.

En el artículo de Espinel Blanco & Yaruro Bacca, (2016), se diseñó un prototipo para la fabricación de ensilaje con un tornillo sin fin obteniendo una capacidad de producción máxima de 2.5 ton/h, en bolsas plásticas calibre 6 con un promedio de 50 kilogramos de producto cada una.

La **Tabla 2. 1** muestra una comparativa de los artículos con lo que fue considerado positivo para realizar el diseño del prototipo de la máquina compactadora.

Tabla 2. 1 Comparativa de artículos

Artículo	Consideraciones
López Moreta & Pichucho Quishpe (2012)	Determinan parámetros de diseño de la compactadora, cálculos y simulación de la máquina.
Clemente & Monge (2011)	Utilizan un tornillo sin fin para realizar la compactación del forraje.
Herrera López & Quintero Riaza (2008)	Mesa giratoria de 4 estaciones, una de ellas para el llenado y después su compactación, siendo estas las más importantes.
Espinel Blanco & Yaruro Bacca (2016)	La máquina cuenta con un tornillo sin fin con una

producción de 2.5 ton/h esto en
bolsas de 50 kg.

2.2.3 Estado de la técnica

La **Tabla 2. 2** muestra la comparativa de algunas máquinas compactadoras que existen en el mercado.

Tabla 2. 2 Resumen de las máquinas que existen en el mercado para realizar silo-bolsas.

Máquina	Producción/hr	Promedio kg	Característica	Costo	Observación
Compactadora para silo bolsa	8-12 BOLSAS	40 Kg	Palanca	\$9,000	Desgaste físico
Silo prensa vertical hidráulica	20-30 BOLSAS	30-40 Kg	Hidráulica	\$35,000	Sellado manualmente
Empacadora 6250r John Deere	60 ROLLOS	300 Kg	Automatizada	\$4,644,340	Costo elevado
Propuesta					
Compactadora hidráulica con sellado	30-35 bolsas	45 kg	Hidráulica-semi-automatizada	\$ 30,000	Sellado hermético Ergonómico

La silo prensa vertical hidráulica se presentada en la **Figura 2. 4**, cuenta con un cilindro hidráulico que es el que realiza la compactación del alimento de los rumiantes, esta máquina tiene 3 tolvas giratorias pero no cuenta con un sistema de sellado a diferencia del diseño del prototipo que se propone, además de un sistema para realizar la expulsión del exceso del aire.



Figura 2. 4 Silo prensa vertical hidráulica

2.3 Generalidades

El proyecto está enmarcado bajo los siguientes conceptos.

2.3.1 Ensilaje

El ensilaje ofrece la posibilidad de asegurar alimentos durante épocas de alta producción para conservarlos para su empleo futuro, especialmente en períodos de escasez (Wong, 2001). Es un proceso mediante el cual se almacena y conserva el forraje, a partir de procesos de fermentación anaeróbica (Díaz & Lobo, 2001). El ensilaje, es un alimento que resulta de la fermentación anaeróbica de un material vegetal húmedo mediante la formación de ácido láctico (Garcés, Berrio , Ruiz , Serna , & Builes, 2004), para suplementar al ganado durante períodos de sequía, garantizando la alimentación de los animales durante todo el año.

Cuando se hace un silo, se puede aprovechar el pasto verde de la época lluviosa, principalmente pastos de cortes como el King Grass común, pasto Camerún, maíz, sorgo y caña. De igual forma, se evitan las pérdidas en la finca y se dispone de alimento en cantidad y calidad adecuado, sosteniendo la producción normal de la explotación durante todo el año (Sosa, y otros, 2005).

Wong (2001) menciona que el caso del maíz, tiene un elevado contenido en almidón de su grano propicia que su contenido energético sea más elevado que el heno o el forraje de sorgo y que sea un excelente material para ensilar y por su valor alimenticio para los animales. Este

método consiste en la compactación del forraje o subproducto, expulsión del aire y fermentación en un medio anaeróbico, que permite el desarrollo de bacterias que acidifican el forraje.

La fermentación anaeróbica se define como la acción de procesos químicos y biológicos que ocurren en los tejidos vegetales, que contienen carbohidratos fermentables y se encuentran en condiciones de ausencia de oxígeno. Por esta razón, es necesario que se tome en cuenta el compactado (sacar todo el aire que contenga el silo) durante su preparación (Bethancourt & García, 2009).

El ensilado debe ser siempre empacado en forma compacta y mantenido bajo condiciones anaeróbicas, de tal forma que se favorezca una buena fermentación. Algunas ventajas del ensilaje son que elimina bacterias dañinas para el animal, es un alimento húmedo y de buena calidad que para los animales es agradable y principalmente que se pueden aprovechar los recursos en las temporadas lluviosas. Algunas de las ventajas del ensilaje mencionadas por la FAO son:

- Permite mantener una reserva para épocas de sequía.
- Aumenta la productividad.
- Facilita el manejo de forrajes y de cultivos.
- Equilibra el contenido de nutrientes.
- Propicia el almacenaje prolongado de alimentos muy perecederos.

Por esta y las razones mencionadas en la justificación se plantea el objetivo de realizar un mecanismo que facilite este proceso y lo vuelva más eficiente en todo sentido, optimizando los sistemas utilizados por los pequeños productores (Departamento de Agricultura de la FAO, 1999)

2.3.1.1 Importancia de la calidad del ensilaje

El ensilaje es uno de los forrajes más importantes en los sistemas de producción modernos, debido a las ventajas antes mencionadas.

El ensilaje de maíz debe contener del 30% al 50% de granos sobre la base de materia seca, debido a esto se considera una mezcla de forraje- grano (Edgard, Pablo, & Silvana, 1999), utilizado como suplemento energético o como complemento de dieta.

Algunas de las causas que se tienen para una mala calidad de ensilaje son las siguientes:

Ensilaje Caliente, T > 49°C (>120°F)

El calor se genera por reacciones de oxidación las cuales producen levaduras, hongos y bacterias. Puede ser causado por un llenado lento, baja humedad, que la cosecha esté demasiado madura, un mal picado (mayor a los 2 cm) (Cobos P., 1989) entrada de aire en la estructura y una mala compactación.

Ensilaje enmohecido

Es cuando crecen hongos y numerosas poblaciones de levaduras.

Olor a leche rancia

Las bacterias productoras de ácido láctico sirven para la fermentación, pero al no haber presencia de esta bacteria y además contar con un elevado contenido de humedad y bajos niveles de azúcares, se produce el ácido butírico que da origen a una fermentación clostridiana.

Olor a vinagre

Producido por bacterias que atacan a los azúcares para producir ácido acético (vinagre). Esto se debe al ensilaje húmedo con niveles inadecuados de ácido láctico.

Olor a alcohol

Debido a levaduras que atacan a los azúcares. Las levaduras pueden metabolizar el ácido láctico, elevando el pH del ensilaje y originando el desarrollo de otros gérmenes de la putrefacción. También es causado por una mala compactación.

Ecurrimiento

Originado por una elevada humedad en el cultivo o bien, las cuchillas de la picadora no tienen filo lo que produce ruptura de las células y exceso de compactación.

2.3.2 Tipos de almacenaje para el ensilaje

Existen diferentes tipos de realizar el ensilaje, a continuación, se muestran los más comunes.

2.3.2.1 Silo de Montón (Almear o de Pastel)

Es el más económico ya que no necesita ninguna construcción particular. Consiste en amontonar y compactar el material sobre una superficie plana, cubriéndolo posteriormente con plástico y poniendo tierra en su perímetro, o como lo hacen poniendo encima unas llantas para que el viento no levante la lona. La **Figura 2.4** muestra cómo tienen almacenado el ensilaje en

la Universidad Nacional Autónoma de México en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.



Figura 2. 5 Silo de montón de la Universidad Nacional Autónoma de México Campus Tequisquiapan, Querétaro

2.3.2.2 Silo de trinchera

En la **Figura 2. 5** se detalla lo que es el silo de trinchera. Es una zanja cubierta con plástico y luego con una capa de tierra; debe tener canaleta para el escurrimiento del agua.



Figura 2. 6 Silo de trinchera

2.3.2.3 Silo bolsa

Consiste en colocar el material que se va a ensilar dentro de bolsas de plástico con calibre de 600 a 1,000 con una capacidad de 30 a 40 kilogramos como se ve en la **Figura 2. 6**, extrayendo la mayor cantidad de aire, mediante una compactación con sellado hermético (Mendieta, Fariñas, Reyes, & Mena, 2015).



Figura 2. 7 Conservación de ensilaje por método silo de bolsa

Esta preservación se da por la reproducción de bacterias ácido-lácticas, mediante el proceso de fermentación. Esto baja el pH o acidez del silo, al bajar la acidez por la presencia del ácido, se detiene la vida de cualquier otro microorganismo presente en el silo. Los pasos para hacer un ensilado de bolsa se muestran en la **Figura 2. 7**, la cual describe cómo almacenar el ensilaje.



Figura 2. 8 Pasos del ensilaje. Fuente: (Nutrimax, 2018)

2.4 Alternativas de diseño

Definición de funciones, especificaciones y criterios.

2.4.1 Funciones de una compactadora hidráulica

Las funciones indican lo que debe hacer la máquina.

- Recibir potencia del motor a través de un eje, para así transmitir la potencia por medio de elementos de máquina que permitan reducir la velocidad de giro y entregar la potencia, con una velocidad moderada para realizar una compactación.
- Controlar la velocidad del motor.
- Sellar la bolsa térmicamente en su parte superior.
- Controlar la temperatura en el sellado

2.4.2. Especificaciones

Estas especificaciones son generales y cuantitativas siempre que sea posible.

Sellado

- La bolsa no debe presentar quemaduras o estar rota para efectos del sellado.

- Sellado hermético.
- Rango de espesor de 6 micras.
- Debe sellar alrededor de 30 bolsas por hora de acuerdo a las necesidades del productor.

Generales

Los elementos mecánicos de la máquina deben ser diseñados de acuerdo a las necesidades del pequeño productor.

- Tener una eficiencia mecánica mayor del 90%
- Trabaja 8 horas diarias, por 5 días a la semana con una vida útil de 15 años.

Para cumplir con estas generalidades que debe tener la compactadora, se deben realizar cálculos previos ya que esta va estar sometida a una fuerza que ocasiona una vida finita de ella. Por ello se debe tener en cuenta los fenómenos que las piezas pueden sufrir daños, es por esto que es importante realizar un análisis de propiedades del material.

Comenzamos con el esfuerzo conociendo el módulo de elasticidad E del material que se utilizó, para realizar las pruebas. Donde matemáticamente el esfuerzo se representa como la ecuación (2.1):

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.0.1)$$

Donde:

$\sigma =$ Esfuerzo (MPa)

$\varepsilon =$ Deformación

$E =$ Modulo de elasticidad (N/m^2)

Ahora bien, la deformación es la diferencia entre la longitud de la sección transversal al aplicarse la carga y la longitud de la sección transversal inicial, para poder normalizar esta cantidad todo se divide entre la longitud inicial.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.0.2)$$

Donde:

$\varepsilon =$ Deformación

$\delta =$ Longitud final

$L =$ Longitud inicial

Posteriormente con la ecuación (2.3) se determinó la presión que se requería utilizando la fórmula para recipientes de pared delgada.

$$P = \frac{\sigma 4t}{Dm} \quad (2.0.3)$$

Donde:

$P =$ Presión (MPa)

$\sigma =$ Esfuerzo (MPa)

$t =$ Espesor (m)

$Dm =$ Diámetro medio (m)

La presión es una magnitud que mide el efecto deformador o capacidad de penetración de una fuerza y se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie. Un pascal es la presión que ejerce una fuerza de un Newton sobre una superficie de un metro cuadrado; la presión tiene una relación entre la magnitud de una fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa (Hawking, 2010). Es decir, en cualquier caso, que exista presión, una fuerza actuará en forma perpendicular sobre la superficie. También se debe verificar el tipo de dureza del material ya que éste puede ser rayado o penetrado.

2.4.3 Sistema hidráulico

Hidráulica significa la creación de fuerzas y movimientos mediante fluidos sometidos a presión, estos son el medio para transmisión de energía. Es un sistema en el cuál se genera, transmite y controla la aplicación de potencia a través del aire comprimido y la circulación de aceite en un circuito. El sistema se puede dividir en tres grupos como muestra la **Figura 2. 8**, donde se explica qué función tiene cada etapa. La **Figura 2. 9** nos enseña un esquema simplificado de un circuito hidráulico. Las válvulas (4) pueden: a) desviar el aceite proveniente de la bomba (2) hacia el cilindro hidráulico, produciéndose el desplazamiento del pistón (trabajo) b) desviar el aceite proveniente de la bomba (2) hacia el depósito de aceite (1), no produciéndose el desplazamiento del pistón (posición de inicio).

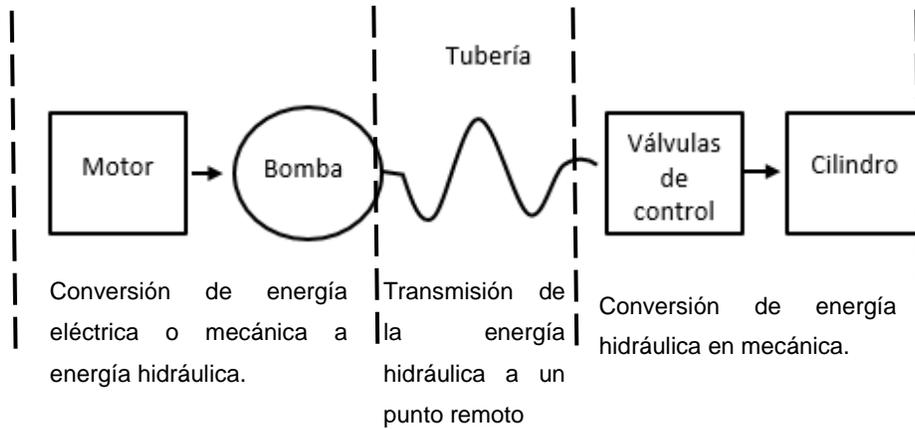


Figura 2. 9 Componentes básicos de un sistema hidráulico

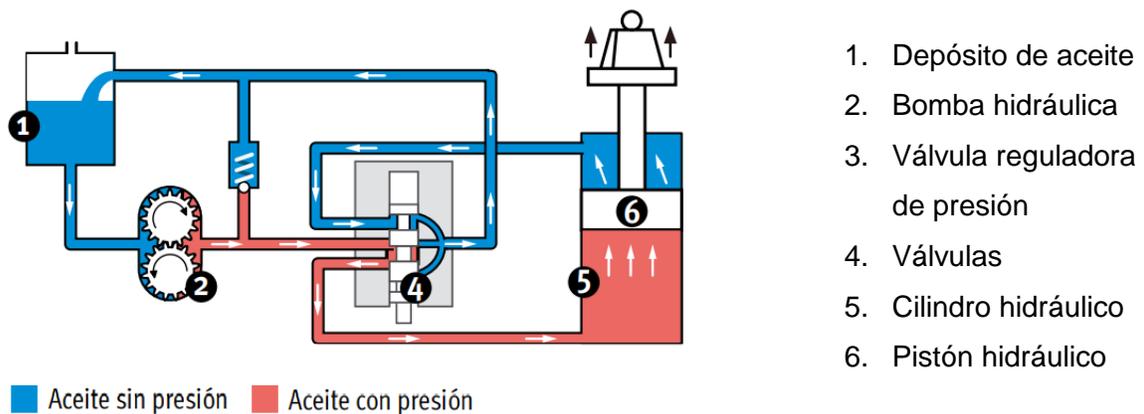


Figura 2. 10 Esquema de un circuito hidráulico (Noya, 2010)

Motor

Los motores convierten la energía de presión en energía mecánica aplicada en el eje de ellos, proporcionando velocidades relativamente constantes. Estos son compactos y pueden trabajar sumergidos, son utilizados para la elevación de cargas, control de aviones, máquinas herramientas, maquinaria agrícola, forestal y de obra civil, así como, cintas transportadoras.

Bomba hidráulica

Éstas convierten la energía mecánica transmitida por un motor primario, en energía hidráulica. Se genera un volumen creciente en el lado de la succión y un volumen decreciente en el lado de la presión. La **Figura 2.10** describe cómo funciona el motor con la unidad de potencia.

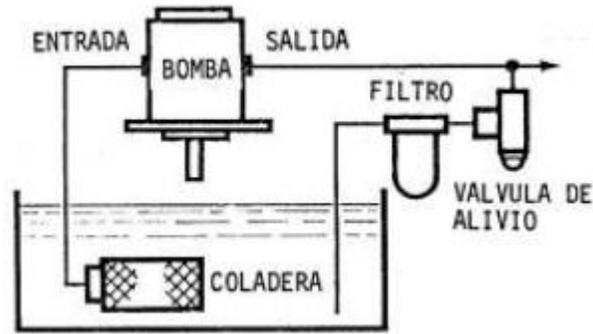


Figura 2.11 Unidad de potencia

Válvulas

Es un dispositivo mecánico que consiste en un cuerpo y una pieza móvil, que conecta y desconecta conductos dentro del cuerpo. Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba hidráulica.

Cilindros Hidráulicos

Los cilindros hidráulicos transforman la energía hidráulica en energía mecánica. Existen cilindros de simple efecto como se muestra en la **Figura 2. 11**, los cuales actúan sobre el émbolo y solo trabajan en un sentido. El funcionamiento del cilindro empieza cuando el fluido es sometido a presión; éste entra en la cámara del lado del émbolo, donde se crea una presión por efecto de la contrafuerza, es decir, el peso o carga, una vez superada el cilindro avanza hasta el final de la carrera; después durante el movimiento de retroceso, la cámara del lado del émbolo está conectada con el tanque en donde se deposita nuevamente el fluido. En estos cilindros el retroceso se produce por el propio peso y la acción del resorte.

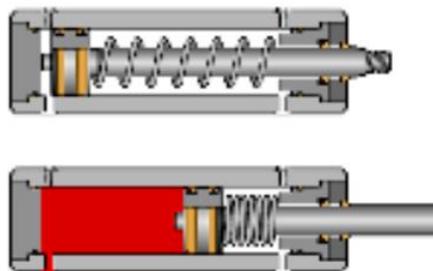


Figura 2. 12 Cilindro hidráulico con resorte

2.4.4 Tipos de sellado

Sellado por inducción

Es un sistema que mediante un proceso de calentamiento por inducción de corriente realiza un sellado entre un polímero y el envase.

Los componentes del sistema son: una fuente de potencia y un cabezal de sellado. El cabezal es una caja plástica que posee un espiral conductor que al activarse por la fuente de potencia produce una corriente electromagnética. Para el sellado el envase y el sello ingresan a la corriente que genera calor, debido al aluminio que se comporta como resistencia al paso de corriente, ese calor derrite el sello dando una hermeticidad final a este sistema de sellado.

Ventajas

- Reducción de peso del envase o botellas.
- Reducción de mantenimiento y aumento de velocidad de producción.
- Mantiene la frescura del producto.

Desventajas

- Alto consumo de energía (70.8 KWh) (Manzano S. & Rodriguez S., 2013).
- Tiene una restricción en materiales de sellado.
- Funciones limitadas (usos para sellado de botellas).

Sellado por mordazas

El sellado térmico por mordazas consiste en el calentamiento de dichas mordazas por resistencias colocadas en su interior. Su alta temperatura regulada por pirómetros y una pequeña presión en el empaque permiten el sellado (Mariano, 2013).

Las mordazas son bloques de hierro fundido o bronce con superficie rugosa que evitan que la funda se pegue, en su interior se encuentran dos ranuras cilíndricas, en una se coloca la resistencia para el calentamiento y en la otra el pirómetro para el control de la temperatura.

Ventajas

- La temperatura en las mordazas se controla fácilmente.
- Las ranuras en las mordazas ayudan a un sellado hermético.
- La vida útil de las mordazas y componentes es muy alta.
- El proceso de sellado es continuo.

Desventajas

- La fabricación de las mordazas requiere material abundante y se dificulta de acuerdo a su tamaño.
- El calentamiento de las mordazas no es instantáneo.
- Tienen un costo elevado dependiendo del material del que estén fabricadas las mordazas.

Sellado ultrasónico

Este tipo de sellado emplea vibraciones acústicas ultrasónicas que trabajan a altas frecuencias (20-40 KHz), las que permiten la unión de la funda. El sellado por ultrasonido se compone de: un yunque donde se coloca el plástico y permite que las vibraciones sean dirigidas a las interfaces, una pila de ultrasonidos compuesta por un transductor o pieza eléctrica, un aumentador de presión y un sonotrodo que reaccionan a una misma frecuencia, un convertidor de señal eléctrica en una vibración mecánica y un booster que permite modificar la amplitud de la vibración.

Sellado por niquelina

El sellado por “impulso”, utiliza selladoras tipo cizalla que se abren y se cierran, emplea bandas planas o circulares de niquelina que se calientan en periodos cortos de tiempo y sellan la funda. Funciona como resistencia al paso de corriente eléctrica permitiendo que esta se caliente, la temperatura de la niquelina se regula por medio del voltaje que se suministra y por un temporizador.

Ventajas

- Ofrece un sellado uniforme.
- El costo es mínimo debido a que su energía es por medio de un transformador de 24 voltios de salida con corriente de 8 Amperios.
- Fácil instalación en cualquier equipo.

Desventajas

- La niquelina tiene tiempo de vida útil media, debido a que se quema al calentarse por mucho tiempo (mayor a los 3.5s).
- El recubrimiento de teflón se quema fácilmente cuando hay exceso de temperatura en la niquelina.

- El material es frágil dependiendo de la geometría.
- El sellado es defectuoso cuando los espesores de los empaques son muy pequeños o muy grandes.

Definir estas propiedades de los materiales, permite realizar un proceso selectivo de los mismos, para escoger un material o diversidad de materiales que garanticen el correcto funcionamiento del prototipo, además de la duración del mismo al soportar diferentes condiciones tanto climáticas como mecánicas que se pueden presentar durante el proceso de compactado.

Capítulo 3

Metodología

La metodología para llevar a cabo el objetivo principal se describe en la **Figura 3.2**. Estos son los pasos básicos que se siguieron para realizar el proyecto, los cuales se basaron en la metodología “*Desing Thinking*”, que se describe a continuación en la **Figura 3. 1**. En el siguiente apartado se detalla el desarrollo de estos pasos para después mostrar los resultados obtenidos y las conclusiones del mismo.

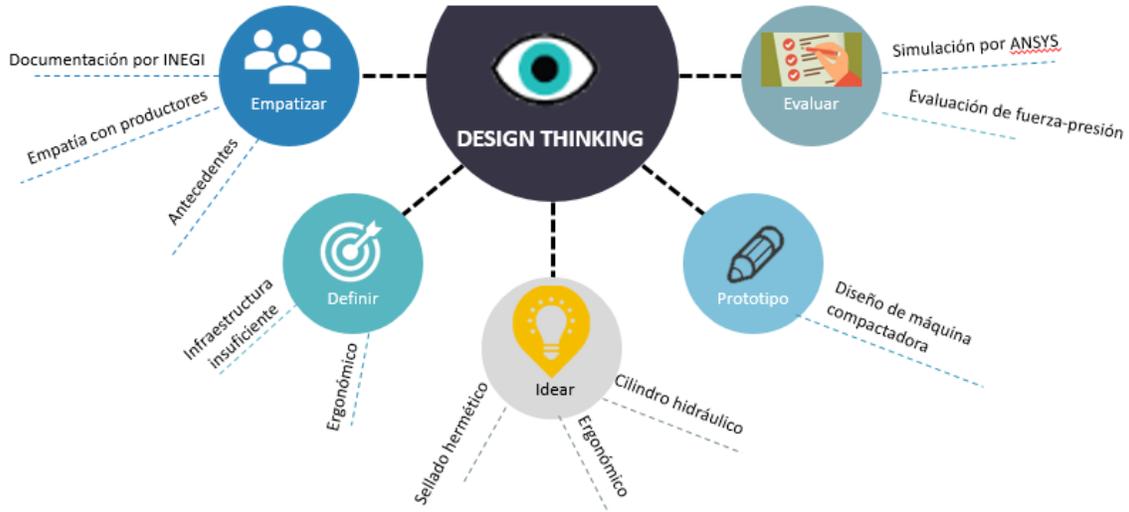


Figura 3. 1 Metodología “*Design thinking*”

3.1 Empatizar (Descubrir de la gente)

Es comprender las necesidades de los pequeños productores de ganado para la solución de almacenamiento del alimento de los rumiantes (ovino, caprino y bovino).

3.2 Definir

En esta etapa se identifican los problemas que se recopilaron gracias a la información obtenida durante la etapa de empatía y se queda con lo que realmente aporta gran valor para buscar una solución, que será clave para la obtención de un resultado innovador.

3.3 Idear

Esta etapa tiene como objetivo la generación de un sinfín de opciones. Esta fase favorece el pensamiento expansivo, es decir, las ideas más raras son las que generan soluciones más innovadoras.

Después de definir en que se basa la metodología "Design thinking" se realizó un diagrama general de la metodología enfocada al proyecto.

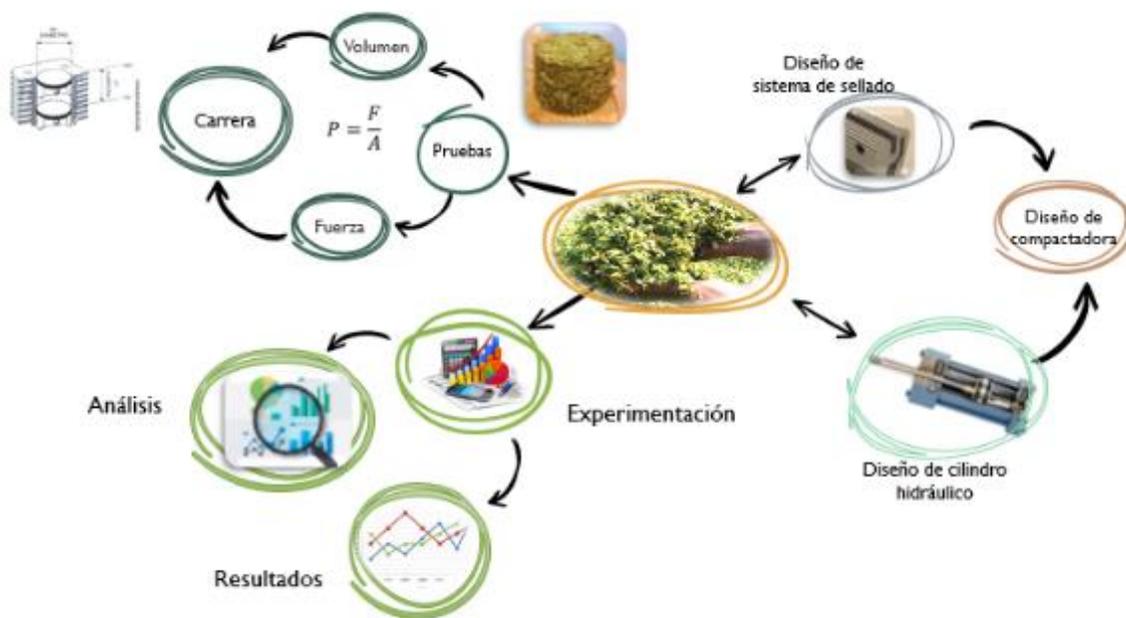


Figura 3. 2 Diagrama de la metodología

3.4 Selección de variables

Se establecen las variables posibles que pueden afectar al diseño y no se puedan controlar, así como, las variables que son controlables. A través de la consulta de artículos, y patentes, se logró identificar las variables que juegan un papel crucial en el proceso de compactación

de ensilaje de maíz. A continuación, se mencionan las variables que se seleccionaron como variables controlables: la velocidad y la fuerza.

3.4.1 Fuerza para el diseño del cilindro hidráulico

Esta etapa de pruebas se realizó para obtener la fuerza necesaria para una compactación uniforme. En este proceso se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Estimación de la fuerza necesaria para obtener el desplazamiento requerido.
- Especificaciones técnicas de la bolsa para almacenar ensilaje.
- Condiciones del ensilaje.
- Características del material de la tolva.

3.5 Diseño experimental

Una vez que se hayan establecido las variables de interés para el proceso de compactación de ensilaje de maíz, ya que se cuenta con el diseño mecánico, lo siguiente sería plantear un diseño experimental en el que los factores controlables interactúen entre sí para ver de qué manera influyen en la variable de respuesta.

3.5.1 Estimación de presión

Con base a la literatura consultada y de acuerdo a la necesidad del pequeño productor, se diseñará una compactadora para el ensilaje de maíz y sus aditivos. En esta etapa se tomaron en cuenta parámetros como son:

- La presión necesaria.
- El tipo de material para la tolva.

3.6 Diseño del sistema de sellado

En el capítulo 2, se describen parte del marco teórico de referencia para esta etapa. Se diseñó en función de los parámetros del tiempo en contacto con la bolsa, el tiempo de entrada y regreso.

Para el proceso de diseño de sellado se han identificado los siguientes parámetros: tiempo en contacto con la bolsa, tiempo de entrada y regreso. Por otra parte, también es importante el consumo energético que va a tener el sistema de sellado por mordazas.

Para el diseño de las mordazas se tomará en cuenta la manera en que se va obtener el producto compactado, como la tolva tendrá la forma circular, se consideraron unas mordazas circulares por lo cual tendrán los siguientes parámetros.

- Dimensión del diámetro de la tolva.
- Espesor del sellado.
- Propiedades de la bolsa.

3.6.1 Simulación del sistema de sellado

En esta etapa se realizará una simulación de los componentes requeridos una vez teniendo el diseño se ingresará a un paquete computacional que ayude con la observación del comportamiento que este sistema va a tener en el proceso y la manera en que va afectar, para así mismo realizar las correcciones que sean necesarias.

Para esta etapa de la simulación se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Tiempo de sellado.
- Velocidad del motor.

3.7 Integración del diseño

Para esta etapa se integrarán los dos diseños como son el sistema de compactación y el sistema de sellados, previamente analizados por separado. Una vez integrados se hará un análisis por medio de simulación de movimiento de los componentes en conjunto mediante un paquete computacional ANSYS.

Además, se realizará un estudio del cilindro y la tolva por separado para determinar el Factor de Seguridad (FS), así como los esfuerzos de Von-Mises y el esfuerzo máximo de tensión, de acuerdo a la fuerza que se encuentre en las pruebas realizadas antes del diseño.

Por otro lado, se determinará la presión que es necesaria para evitar fallas en el proceso de compactación.

3.7.1 Análisis de resultados

Una vez que se realizaron las simulaciones necesarias para observar el comportamiento y registrar sus resultados del *FS* y su deformación, el siguiente paso consistirá en realizar un análisis estadístico para ver qué factores son significativos en el proceso y cuál es el factor de seguridad mínimo con el cual se podrá trabajar. En este paso también se procederá a realizar la verificación de los supuestos estadísticos, y esto podrá darle validez al proceso de experimentación. Por último, se obtendrán las conclusiones de acuerdo a los datos arrojados. La metodología general empleada para la realización de este trabajo se muestra en la **Figura 3.3** de manera de diagrama de flujo.

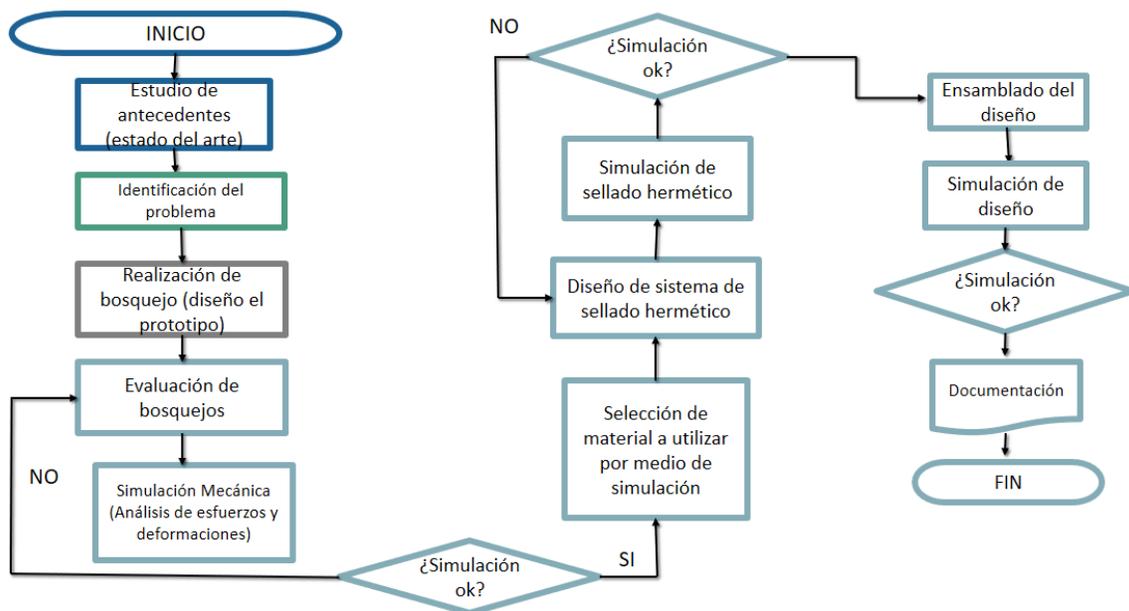


Figura 3. 3 Metodología general del diseño de la compactadora.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Necesidades de los pequeños productores

Esto es en base del punto de empatía con base en los resultados presentados en la **Tabla 1. 1** provenientes de una encuesta aplicada por el INEGI al sector agropecuario, se observó que las mayores pérdidas están presentadas por falta de infraestructura, espacios para almacenar el alimento de sus rumiantes y en gastos de transporte. Después de detectar los problemas que presentan los pequeños productores de los rumiantes, se definió el problema para resolver como lo alude en el punto 2 (definir), estos problemas son presentados en la **Figura 4. 1**, donde los altos costos de insumo tienen un 83.2% junto con las causas climatológicas con un 78.5% y la falta de capacitación 45%. Dado que controlar el factor de las causas climatológicas está fuera de nuestro alcance, se decidió abordar los otros dos problemas, atacando dentro de la falta de capacitación el correcto uso del suelo y del control de una máquina compactadora.

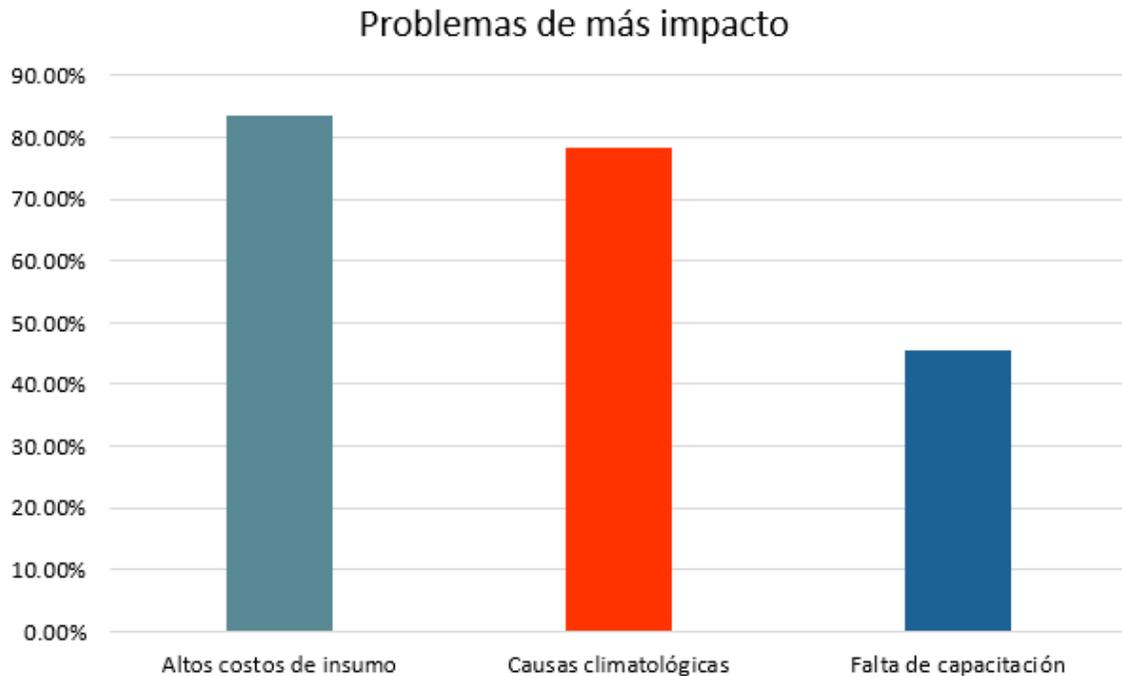


Figura 4. 1 Problemas presentados en el desarrollo de actividades

De acuerdo a las necesidades se comenzó a idear por lo que se propusieron 3 alternativas para el prototipo de la máquina compactadora como se muestra en la **Figura 4. 2**. La figura a) muestra una alternativa no funcional debido que en ella se muestra una tolva donde solo abría una cierta parte de ella y al sacar la bolsa iba a ser difícil y nada ergonómico para el operador, esto porque la bolsa con el producto comprimido iba a ser difícil adquirirla, sacarla de la tolva por ese espacio reducido, mientras que la figura b) presenta una tova que abre la mitad de ella para poder adquirir el producto final, es decir, la bolsa con el producto compactado además, el cilindro hidráulico para realizar la compactación, la forma en que está colocado, hace que el émbolo sufra de vibraciones mecánicas porque no tiene una base que lo estabilice, al contrario que la figura c) el cilindro hidráulico ya es colocado sobre el soporte general de lo que es la máquina compactadora para alimento de rumiantes, además que se le cambio las bisagras para poder cerrar la tolva, estas se encuentra soldadas sobre la tolva. En esta última alternativa existe mayor espacio para colocar las mordazas que sellarán las bolsas y a su vez la mordaza que la sujetará, se cambió el material de la estructura y diseño también.

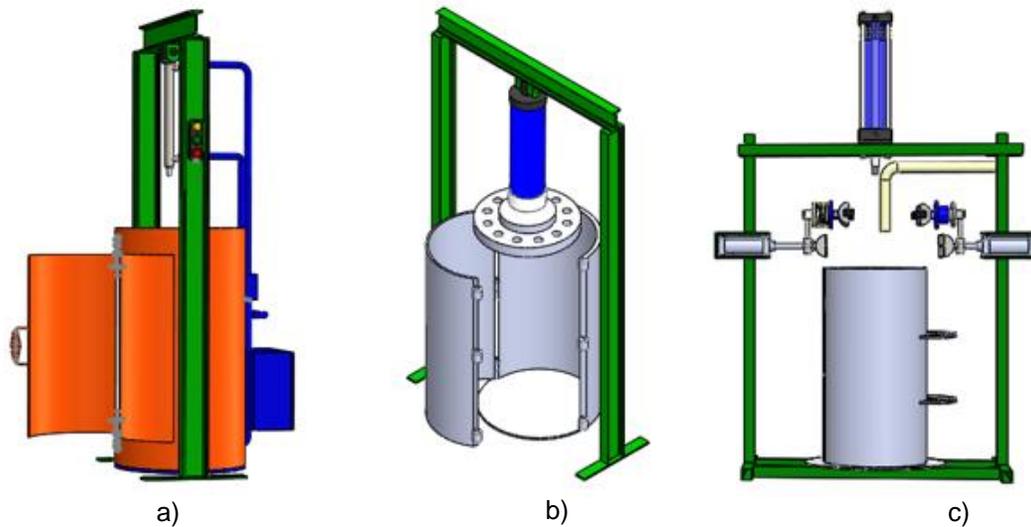


Figura 4. 2 Alternativas de diseño para el prototipo

En esta etapa se propusieron dos modelos de tolva de ellos se escogió el más ergonómico para el operador, el modelo que se escogió es de fácil maniobrar para poder obtener la bolsa con el producto compactado, en el bosquejo que muestra la **Figura 4. 2** abre la mitad de lo que es la tolva, de esta manera la bolsa con el producto dentro ya compactado sería fácil de adquirir.

También se propusieron diferentes tipos de sellado, algunos de ellos son presentados en el capítulo II, de los cuales se decidió utilizar las mordazas por su vida útil debido a los componentes y material que están fabricados, además que la temperatura de las mordazas es controlada. La **Tabla 4. 1** muestra una evaluación de los tipos de sellado que se propusieron y describe el por qué no fueron utilizados.

Tabla 4. 1 Evaluación de los tipos de sellado

Tipo de sellado	Desventaja
Niquela	La niquela se quema al calentarse un tiempo mayor a los 3.5 s. El recubrimiento e teflón se quema cuando existe exceso de temperatura sobre la niquela.
Ultrasónico	Sella bolsas planas preconfeccionadas además, de bolsas con aplicaciones de cierres o de válvulas integradas.

Alguna de ellas son presentadas en la **Figura 4. 3** donde la figura a) presenta las mordazas de manera redonda para no afectar a la bolsa, pero esta alternativa no fue aceptada, porque se tendrían que realizar orificios en la tolva para que la mordaza entrará a realizar el sellado, entonces era realizar más maquinado a la tolva además, que iban a ser 6 mordazas lo que implicaba mayores gastos. Por otro lado, se encuentra la alternativa b) que trataba de un pistón neumático el cual su función era jalar de un alambre para cerrar la bolsa o bien un cincho, pero no resulto factible debido a las pruebas que se realizaron se observó que el cincho o el alambre se corrían y existían orificios que permitían la entrada de aire.

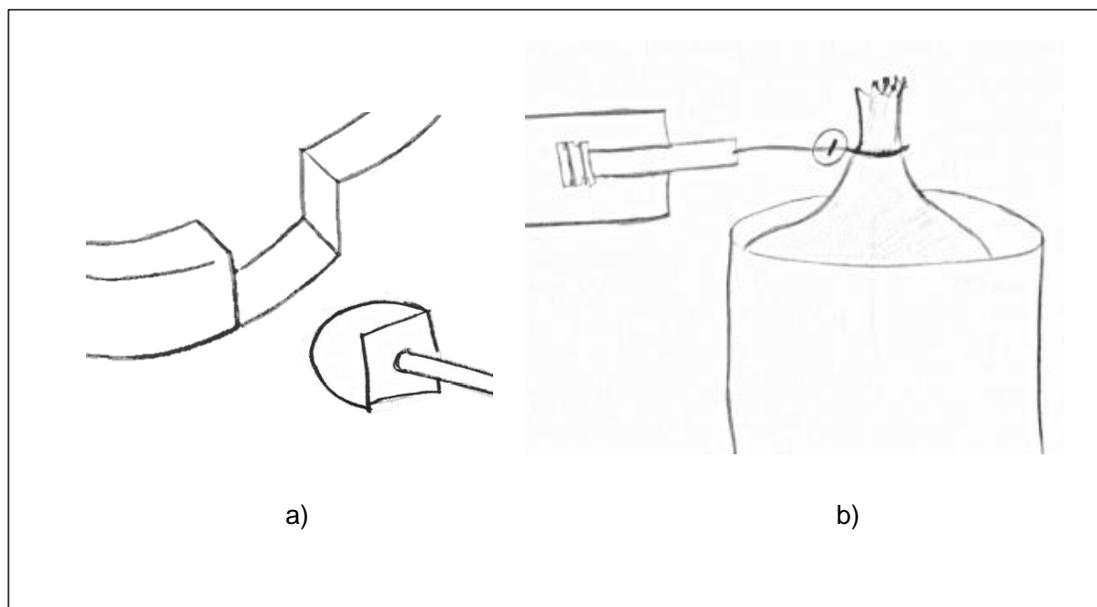


Figura 4. 3 Alternativa del sellado

4.2 Selección de variables de estudio

Con base en la literatura consultada y alcances de este proyecto, se consideraron las siguientes variables de estudio:

Factores controlables: Fuerza y Velocidad del vástago.

Factores no controlables: Problemas en el software.

Variable de respuesta: Tiempo de desplazamiento del vástago (en seg.)

Después de seleccionar las variables de interés se plantea un diseño experimental en el que los factores controlables seleccionados interactúen entre sí para ver la manera en que influyen sobre la variable de respuesta.

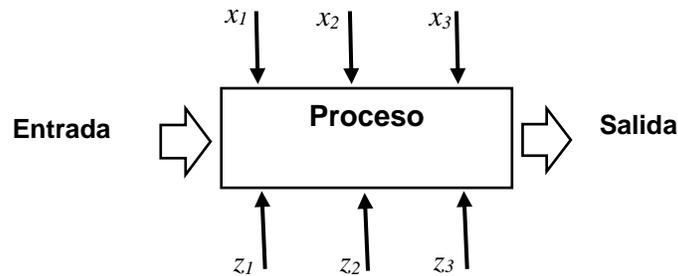


Figura 4. 4 Modelo general

Se tiene un modelo general (**Figura 4. 4**) con entradas y salida donde se identificó como entrada el ensilaje de maíz y salida el tiempo que se llevaría al realizar la compactación.

4.2.1 Experimentación

Un diseño preliminar se muestra en la **Tabla 4. 1**, que consiste en un diseño factorial con 2 factores y 3 niveles de cada factor, con la finalidad de conocer el efecto de estos factores sobre la variable de respuesta para lo cual el experimento se llevó acabo con 2 réplicas.

Tabla 4. 2 Identificación de niveles y rangos

Factores	Niveles		
	1	2	3
Fuerza	1500 N	10000 N	15000 N
Velocidad	0.04 m/s	0.23 m/s	0.08 m/s

El orden en que se corrieron cada una de las pruebas fue completamente aleatorio y se llevó a cabo en el transcurso de 3 semanas en las instalaciones del laboratorio de Automatización y Sustentabilidad del Tecnológico Nacional de México / I.T. Querétaro. Otro aspecto importante a tomar en cuenta, es que el orden de los tratamientos se ha “aleatorizado”, es decir, el orden debe de realizarse al azar, lo anterior en orden de atender el supuesto de que los residuos deben de ser independientes respecto al orden de observación, la cual es una regla importantísima para asegurar confiabilidad en la experimentación y por lo tanto en los resultados obtenidos.

Para realizar este experimento utilizamos un paquete computacional y nos basamos en una del cilindro hidráulico donde aplicamos la fuerza y la velocidad del vástago. A continuación, en la **Figura 4. 5** se presenta el modelo, este cuenta con una bomba hidráulica a), una válvula direccional triple de 2 vías de palanca manual con retorno de muelle (b), también cuenta con una válvula de 5/n vías (c), cuenta con dos válvulas anti retorno estranguladoras (d) y por último cuenta con un cilindro hidráulico el cual se fue modificando de acuerdo a la fuerza para que éste al momento de ser accionado nos muestre la velocidad a la que va junto con el tiempo de desplazamiento y el regreso.

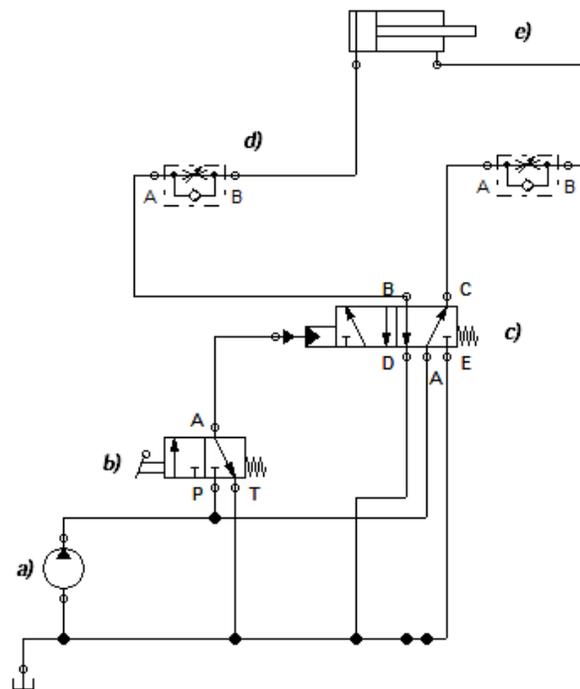


Figura 4. 5 Diagrama de cilindro hidráulico

Los resultados de la simulación del cilindro para ver el tiempo que tardaba en realizar su “recorrido” se presentan en la **Tabla 4. 3**

Tabla 4. 3 Resultados del tiempo en que el vástago realiza el recorrido

Fuerza	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Fuerza	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Fuerza	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)
14710	0.04	25	98067	0.04	20	147100	0.04	22
14710	0.08	40	98067	0.08	40	147100	0.23	36
14710	0.23	60	98067	0.23	60	147100	0.08	65
14710	0.08	42	98067	0.08	36	147100	0.23	35
14710	0.23	57	98067	0.23	54	147100	0.08	57
14710	0.04	23	98067	0.04	18	147100	0.04	24
14710	0.23	54	98067	0.23	59	147100	0.08	55
14710	0.04	18	98067	0.04	19	147100	0.04	26
14710	0.08	40	98067	0.08	45	147100	0.23	38

4.2.2 Analisis de Varianza (ANOVA) para la variable Tiempo

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se realizó el análisis de varianza para la obtención de la tabla ANOVA de la variable de respuesta tiempo. El primer paso consiste en acomodar los datos de tal forma que se observen los resultados de cada corrida del experimento y a partir de ahí, calcular las sumatorias correspondientes. En este análisis se muestran las sumatorias de cuadrados para la variable tiempo tomando en cuenta dos factores de estudio: el factor A (fuerza) y factor B (rapidez).

Tabla 4. 4 Análisis de Varianza

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor P
<i>Fuerza</i>	2	4.22	2.11	0.21	0.810
<i>Rapidez m/s</i>	2	4380.67	2190.33	220.67	0.000
<i>Fuerza*Rapidez</i>	4	1601.11	400.28	40.33	0.000
Error	18	178.67	9.93		
Total	26	6164.67			

De la **Tabla 4. 4** se concluye, con un nivel de confianza del 95% que el factor que más influye en el tiempo de recorrido del vástago es la rapidez, mientras que la fuerza no influye de manera significativa. De la misma manera, existe una interacción significativa entre la fuerza y la rapidez, tal como se observa en la **Figura 4. 6** donde se observa que el cambio más importante es el tiempo, al pasar de la fuerza de 98067 N a 147100 N existe un cambio donde el tiempo aumenta en la rapidez de 0.08 m/s mientras que en ese mismo intervalo la rapidez de 0.23 m/s el tiempo disminuye.

Antes de poder emitir una recomendación respecto a la rapidez, se procede a la comprobación de supuestos, que determinarán si el modelo es adecuado y el proceso de experimentación tiene validez. En el ANEXO I se describe a detalle la Verificación de la adecuación del modelo.

Por otro lado, se obtuvo un Coeficiente de Determinación $R^2=95.81\%$, lo que significa que el 95.81% de la variabilidad experimentada por la respuesta tiempo puede ser explicada en función de la fuerza aplicada para la compactación, la rapidez del vástago y la interacción entre las dos. De la gráfica de interacción podemos concluir, que, los mejores resultados de compactación se logran cuando se tiene una fuerza de 98,067N con un tiempo de 40 seg, y una velocidad de 0.08 m/s para obtener el mejor tiempo para el sistema de compactación.

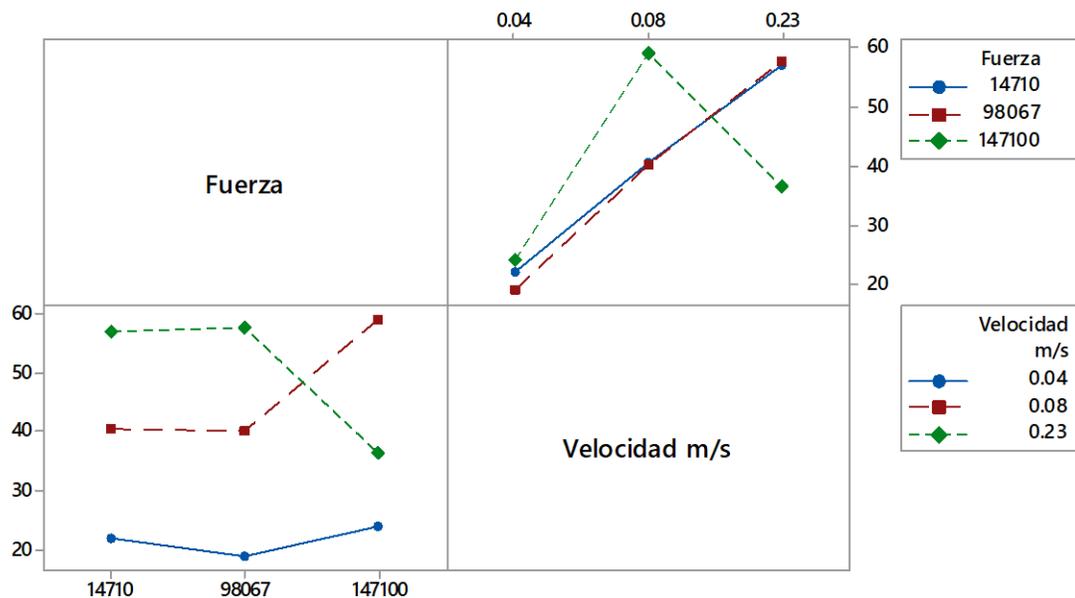


Figura 4. 6 Interacción para la respuesta el tiempo

4.3 Diseño del cilindro hidráulico

4.3.1 Estimación de fuerza requerida para obtener el desplazamiento deseado.

Para determinar la fuerza de compactación del forraje y la presión interna en la tolva, se utilizó un recipiente con dimensiones diferentes al volumen requerido de compactación, debido a que se empleó una máquina universal de 50 toneladas y su desplazamiento total no rebasa los 20 cm. En la experimentación se utilizaron dos recipientes (**Figura 4. 7** a y b) con las siguientes dimensiones:

- Recipiente 1 de acero A501 como se presenta en la Figura 4.7 a), tiene una altura de 0.3 m con un diámetro interior de 0.11 m y un espesor de 3 mm.
- Recipiente 2 de acero A36 Figura 4.7 b), tiene una altura de 0.3 m con un espesor de 5 mm y un diámetro interior de 0.1025 m.

A cada uno de los recipientes se le insertó una galga extensiométrica con las siguientes características:

- Número de galga EA-06-060LZ-120/E
- Resistencia de $120.0 \pm 0.3\% \Omega$
- Factor de ganancia de $2.090 \pm 0.5\%$.

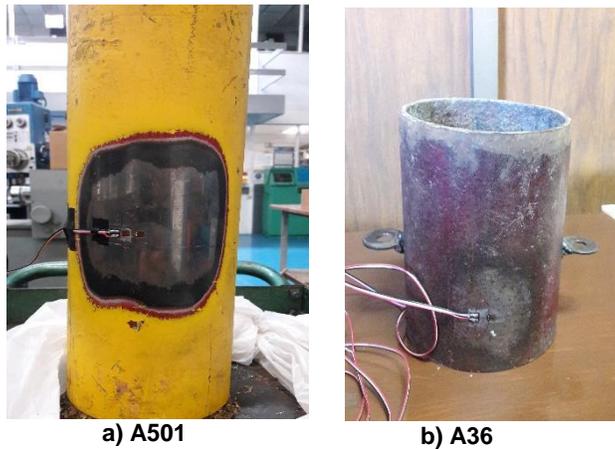


Figura 4. 7 Recipientes utilizados como tolva

Las propiedades de los materiales que se utilizaron para realizar la experimentación son presentados en la **Tabla 4. 5**.

Tabla 4. 5. Esfuerzos S_y y S_u de aceros estructurales (Cházaro Rosario & Alvarez Valadez)

Nomenclatura		s_y (3)	s_u (4)
NMX	ASTM	MPa	MPa
B-254	A36	250	400*550
B-200	A501	250	400

Además de realizar un análisis computacional de la fuerza se efectuaron pruebas físicas con un tubo a escala, con el alimento de los rumiantes. Con este fin ejecutamos diferentes pruebas

variando la fuerza y registrando la deformación observada en el material, obteniéndose los resultados presentados en la **Tabla 4. 6** donde se muestra además la altura del producto compactado. En este proceso se usó como tolva un recipiente de acero A501 con dimensiones de 10 cm de diámetro y 15 cm de largo (a), donde se coloca el ensilaje (b), una vez introducido el producto éste pasa a ser compactado, dentro del recipiente (c) y por último el producto se retira para medir su deformación (d) como se observa en la **Figura 4. 8**.



Figura 4. 8 Proceso de compactación: a) Recipiente/Tolva, b) Recipiente con producto, c) Compactación, d)Producto compactado

Tabla 4. 6 Resultados de compactación

Fuerza (N)	Desplazamiento (m)	Altura (m)
1471	0.07	0.08
1500	0.073	0.077
2000	0.075	0.075
3000	0.077	0.073
3040.66	0.077	0.073
3500.45	0.077	0.073
4835.84	0.078	0.072
5923.66	0.079	0.071
7453.05	0.08	0.07
8276.1	0.082	0.068
10762.97	0.084	0.066
11081.51	0.085	0.065
13194.02	0.087	0.063
15338.44	0.09	0.06
17349	0.092	0.058
19613	0.095	0.055
20593.96	0.098	0.052
24026.29	0.10	0.05
24517	0.10	0.05
25203.09	0.102	0.048

En los resultados obtenidos se observó que el desplazamiento del émbolo se incrementaba al mismo tiempo que incrementaba la fuerza aplicada, como se muestra en la **Tabla 4. 6**. No se observó el desplazamiento requerido por lo que fue necesario tomar los datos de las pruebas que se realizaron para obtener la fuerza necesaria de acuerdo al desplazamiento solicitado por el productor, de estos datos se obtuvo una ecuación lineal. .

La ecuación (4. 1) representa el comportamiento del desplazamiento en función de la fuerza, la cual se obtuvo usando un modelo de regresión lineal mediante el Software Estadístico Minitab.

$$D = 0.06658 + 0.000008 F \quad (4. 1)$$

Donde:

$D =$ Desplazamiento

$F =$ Fuerza

Sustituyendo el desplazamiento del émbolo de 0.4m se alcanzó una fuerza de 41.7 kN.

4.3.2 ANOVA para la fuerza

Una vez obtenidos los resultados de la fuerza con su respectivo desplazamiento, se procedió a realizar el análisis de varianza para ver la estimación que se propone de acuerdo a las fuerzas aplicadas.

Como se ha mencionado anteriormente, el presente trabajo de investigación utiliza ensilaje de maíz junto con otros aditivos, para el proceso de experimentación; por lo cual, se seleccionaron los factores que influyen directamente con el proceso, y que son: el desplazamiento que se requiere para que esté bien compactado, la fuerza y la presión que puede llegar a tener al momento de la compactación.

Siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, se hace el análisis de varianza correspondiente, tomando como variable de respuesta el desplazamiento y como variable independiente la fuerza aplicada para compactar el producto.

La hipótesis a probar en el análisis de varianza es:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Donde H_0 expresa que la fuerza influye en el desplazamiento del vástago y H_1 representa el caso en que la fuerza no influye en el desplazamiento del vástago.

Análisis de regresión

Tabla 4. 7 ANOVA para variable Fuerza

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Valor P
Regresión	1	16.1789	16.1789	2585.19	0.000
Fuerza	1	16.1789	16.1789	2585.19	0.000
Error	17	0.1064	0.0063		
Total	18	16.285			

Con los resultados de la **Tabla 4. 7** podemos concluir con un nivel de confianza del 95% que el factor de la fuerza influye de manera significativa en el desplazamiento que se va a tener, y que contiene el resumen del modelo de regresión se concluye que teniendo una R^2 del 91.97% determina que tan bien se ajusta el modelo a los datos y entre mayor sea, mejor ajustado estará el modelo por lo tanto tenemos un 99.35% de la variación en la respuesta.

La verificación de supuestos para determinar si el modelo es adecuado y el proceso de experimentación tiene validez serán expuestos en la sección de anexo I.

Estos resultados fueron considerados para decidir qué tipo de cilindro hidráulico es el adecuado para la compresión y qué fuerza debe aplicarse para obtener el desplazamiento requerido.

4.3.3 Simulación de la fuerza por ANSYS

De acuerdo con el resultado obtenido de la fuerza, se realizó una simulación para el vástago, aplicando una fuerza en la parte superior marcada con la flecha roja y la parte inferior se delimitó y se mantuvo fija (flecha morada), como se muestra en la **Figura 4. 9**. En esta última parte se colocó el émbolo.

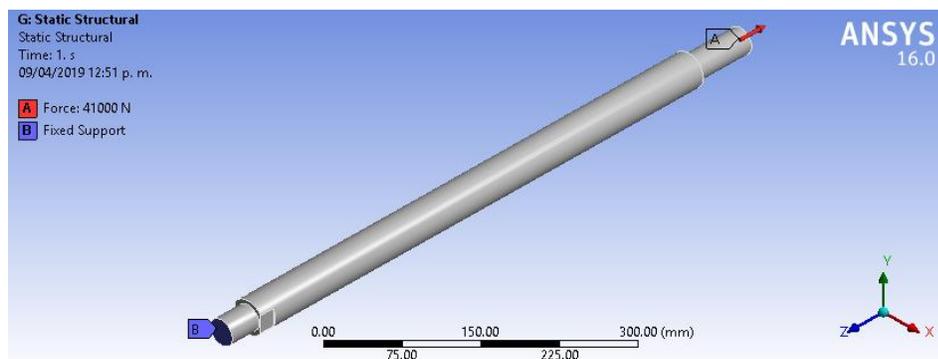


Figura 4. 9 Aplicación de la fuerza en el vástago

La **Figura 4. 10** presenta el resultado obtenido para el Factor de seguridad, siendo este de 3.13, tomando en cuenta que un factor de seguridad deberá ser mayor a 2 para ser aceptable, con esto nosotros podemos validar nuestro diseño.

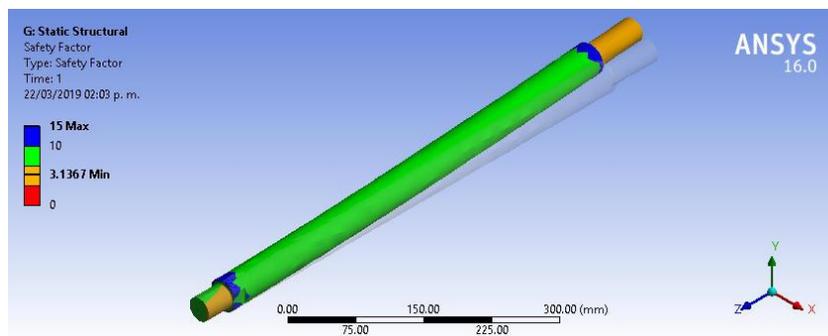


Figura 4. 10 Factor de seguridad para el vástago

La **Figura 4. 11** se presenta el esfuerzo de Von-Mises con un valor máximo de 58.318 MPa.

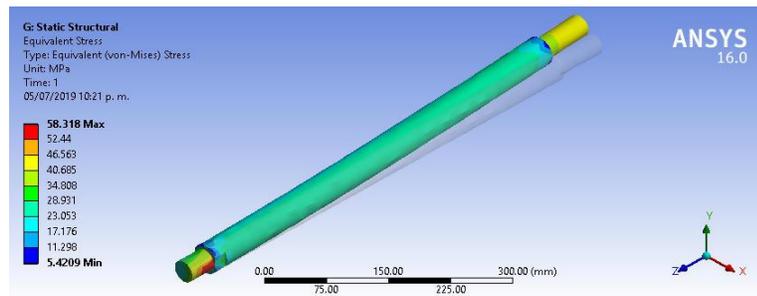


Figura 4. 11. Esfuerzo de Von-Mises

La deformación que se obtuvo del vástago sin el émbolo fue de 0.335 mm que se muestra en la **Figura 4. 12.**

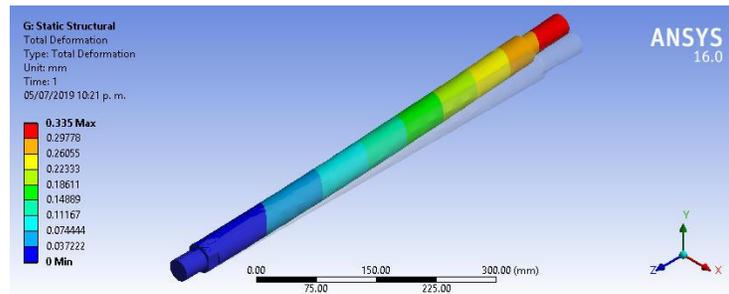


Figura 4. 12. Deformación émbolo

Una vez teniendo el factor de seguridad de nuestro vástago se complementó con el émbolo y se creó un análisis de esfuerzo Von-Mises, este estudio se muestra en la **Figura 4. 13** teniendo un máximo de esfuerzos de 36.971 MPa.

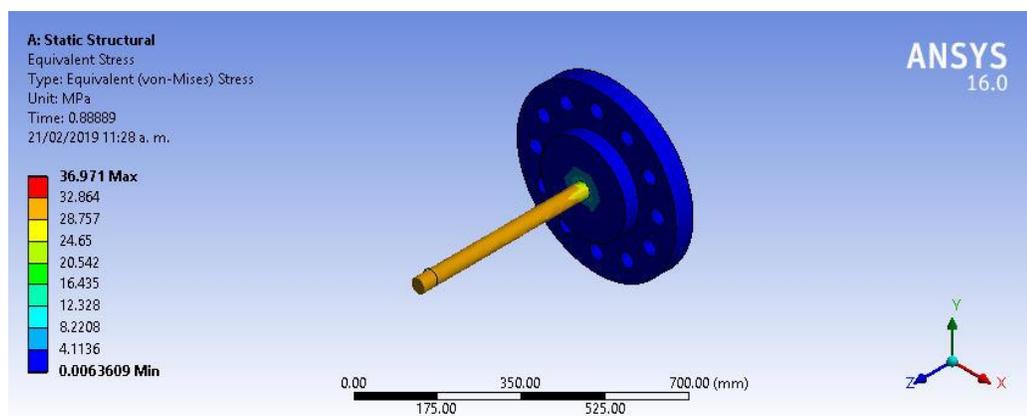


Figura 4. 13 Análisis de esfuerzo Von-Mises

La **Figura 4. 14** presenta los esfuerzos de acuerdo a la teoría de Von- Mises de 9.67 MPa.

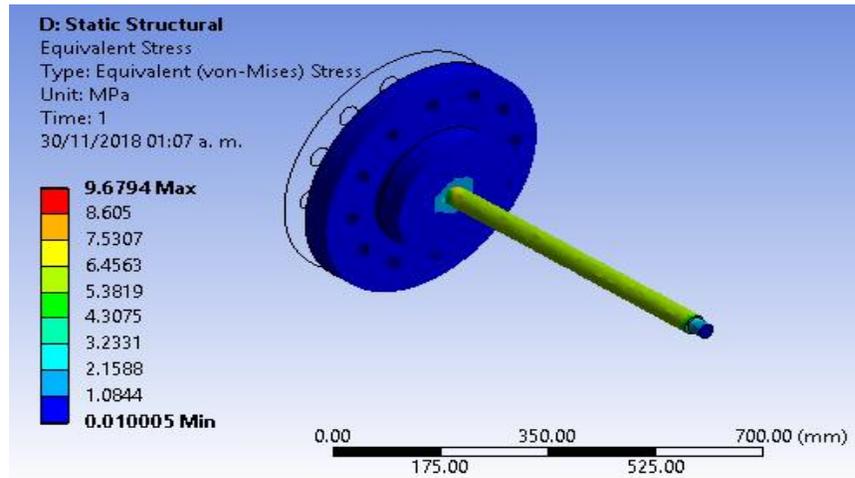


Figura 4. 14. Teoría de falla Von-Mises

También se ejecutó un análisis del vástago con el émbolo para obtener la deformación total obteniendo una deformación máxima de 0.078577 mm como se muestra en la **Figura 4. 15**.

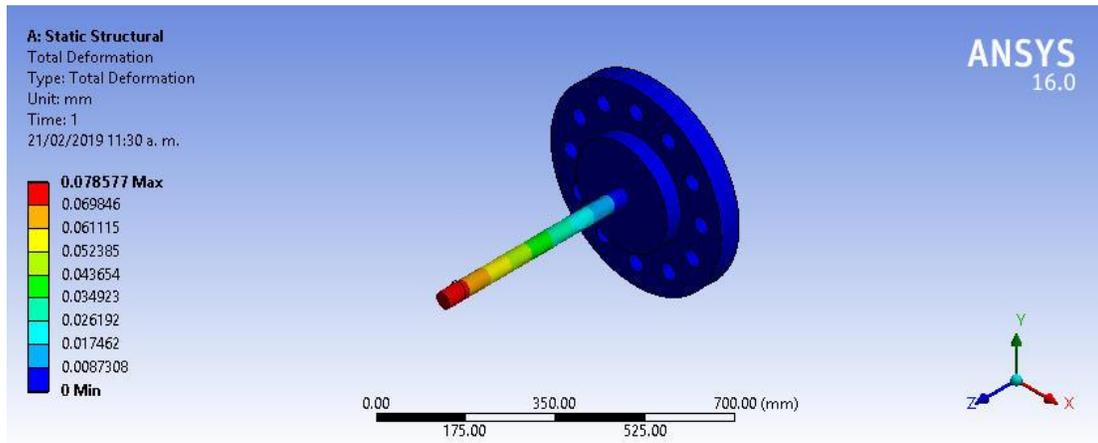


Figura 4. 15 Deformación total

Después de ser analizado el vástago con el émbolo, nos enfocamos ahora a realizar en análisis de la tolva, pero para poderlo efectuar debemos conocer la presión a la que va a trabajar.

4.4 Estimación de la presión

En el momento que se requiere el uso del dispositivo para realizar bolsas de silo de 45 Kg, es necesario el uso de una tolva cilíndrica preferentemente elaborada de aluminio de lámina galvanizada, de esta manera va a permitir al usuario acomode la bolsa especial para almacenar alimento para los animales, con dimensiones de una altura de 120 cm y un ancho de 60 cm, con esto podemos definir las dimensiones de la tolva.

Para esto se efectuaron pruebas de deformación, con ayuda de una galga extensiométrica, pegada a un tubo con dimensiones a escala del diseño real y del mismo material, es decir, acero al carbono A36, con el que se concibieron las pruebas. En está experimentación utilizamos un tubo con dimensiones de 15 cm de largo con un diámetro interior de 10 cm y un espesor de 0.04 cm, en él se colocó una galga extensiométrica como se observa en la **Figura 4. 16**. La galga empleada cuenta con una resistencia de $120.0 \pm 0.3\% \Omega$ con un factor de sensibilidad de $2.090 \pm 0.5\%$. Este tipo de galgas ayuda con las medidas de deformación axial o flexión, requiere una resistencia de terminación pasiva de un puente conocido como resistencia ficticia y cuenta con una R4 que es un medidor de tensión activo que mide la tensión de tracción.

La galga ejercida nos muestra mediante un equipo de indicador de deformación P3 Vishay (Strain indicator and recorder) fue conectada a una línea de las que cuenta el indicador. A este tubo de igual manera se le agregó ensilaje de maíz para después ser compactado. La primera carga fue de $98 N$, la segunda de $490.32 N$ y a partir de esa fuerza se agregó $490.32 N$ hasta llegar a los $4903.32 N$

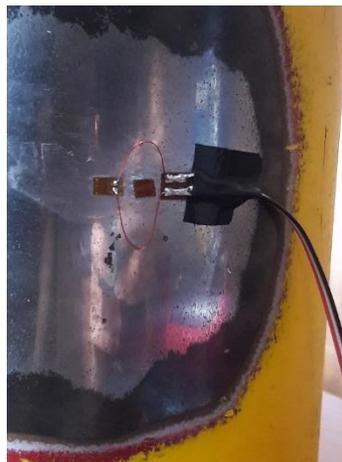


Figura 4. 16 Colocación de galga extensiométrica

La **Figura 4. 17** muestra la manera en la que se tomaron las lecturas de las micro deformaciones



Figura 4. 17 Experimentación para estudiar la deformación

De esta manera determinamos la deformación que se puede presentar en la tolva, al ejercer las diferentes fuerzas; esto de acuerdo al espesor correspondiente. Una vez obtenidos los valores de las micro deformaciones, se comprueba la ecuación (3.10) donde podemos obtener nuestro esfuerzo, conociendo la mayor micro deformación que se encontró durante las pruebas. También para desarrollar la ecuación necesitamos conocer el módulo de elasticidad (E) de nuestro material, en este caso es un acero al carbón A36, esto indica un módulo de elasticidad (E) $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.

$$\sigma = \varepsilon E \quad (4.1)$$

Donde:

$$\varepsilon = 43 \times 10^{-6}$$

$$E = 2000 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

Una vez obtenido nuestro esfuerzo, éste nos ayuda a conocer a qué presión puede estar sometido nuestro equipo o componente. En este caso, únicamente se analizó la tolva, debido a que es la que mantiene el producto (la comida para los animales ovino, caprino y bovino) y que recibe una presión emitida por el trabajo que realiza el cilindro hidráulico al momento de compactar el producto. Para ello nos basamos en la ecuación de esfuerzos para paredes delgadas y despejamos nuestra presión.

$$\sigma = \frac{PDm}{4t} \quad (4.2)$$

Donde:

$P = \text{Presión (MPa)}$

$\sigma = \text{Esfuerzo (MPa)}$

$t = \text{Espesor (m)}$

$Dm = \text{Diámetro medio (m)}$

La **Tabla 4. 8** muestra los resultados de la media de 3 pruebas que se realizaron para determinar la deformación y de esa manera obtener la presión interna en la tolva. En dicha tabla se puede notar que, al incrementar la fuerza, la deformación fue creciendo hasta $43 \mu\epsilon$. Se observó después de ese punto que, al aumentar la fuerza aplicada, la deformación disminuía, por eso solo se presenta hasta la mayor deformación.

Tabla 4. 8 Deformación

Fuerza (N)	$\mu\epsilon$
98.06	1
490.32	2
980.6	6
1471	11
1961.33	13
2451.66	17
2942	20
3432.33	27
3922.66	34
4413	40
4903.32	43

Utilizando la ecuación (4.1) del capítulo anterior se obtiene un esfuerzo de 8 MPa , sustituyendo este resultado en la ecuación (4.2) considerando que la tolva tiene un espesor de 5mm, un

diámetro medio de 0.1025mm y un módulo de elasticidad de 200GPa se obtiene una presión interna de 1.5609MPa

Los resultados que arrojan las ecuaciones anteriores fueron utilizados para realizar la simulación del análisis mecánico de la tolva. Con esto adquirimos la presión que es utilizada para realizar un análisis en paquete computacional llamado *ANSYS Workbench*. Esto apoya para determinar el factor de seguridad mínimo, la deformación total y el esfuerzo máximo de Von-Mises del diseño de la tolva.

4.6.1 Análisis mecánico

Posteriormente se efectuó la simulación de la presión interna de la tolva, como se presenta en la **Figura 4. 18**, en ella se observa la zona donde fue aplicada la presión, zona roja que son las paredes internas de la tolva, la zona inferior se mantuvo fija, esta parte está indicada en la figura de color morado.

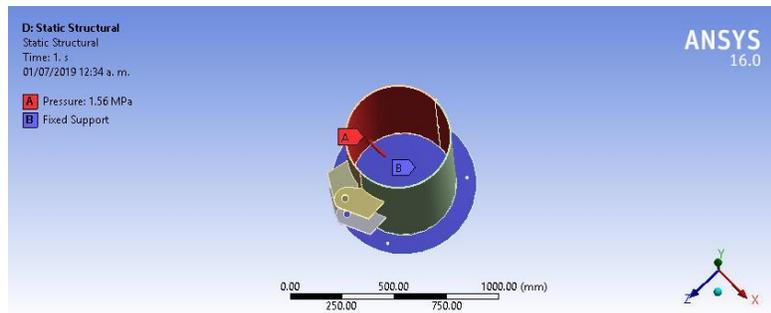


Figura 4. 18. Presión interna

La **Figura 4. 19** presenta el resultado del factor de seguridad de la tolva con un valor de 1.032. Lo que quiere decir que nuestra tolva con el material que se propuso de acero al carbón A36 puede resistir a la presión que se obtuvo anterior mente de 1.5 MPa.

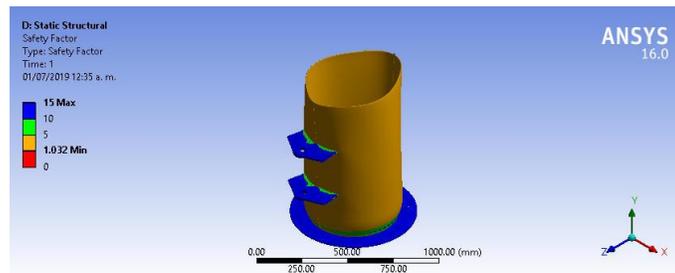


Figura 4. 19. Factor de seguridad

Por último, la **Figura 4. 20** muestra la deformación máxima de la tolva de 0.437 mm cuando se le está aplicando la presión de 1.56 MPa.

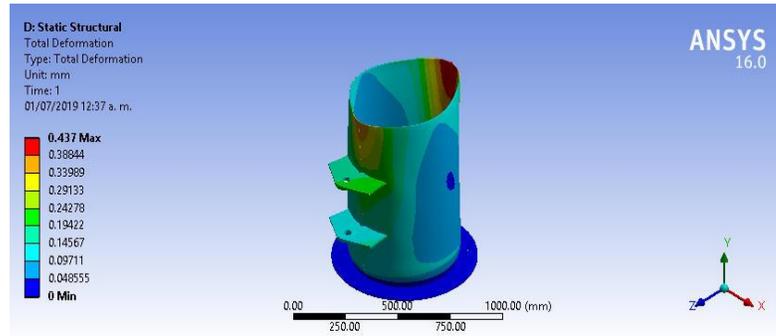


Figura 4. 20. Deformación máxima

El esfuerzo de acuerdo a la teoría de Von-Mises es mostrado en la **Figura 4. 21** teniendo un valor de 242 MPa.

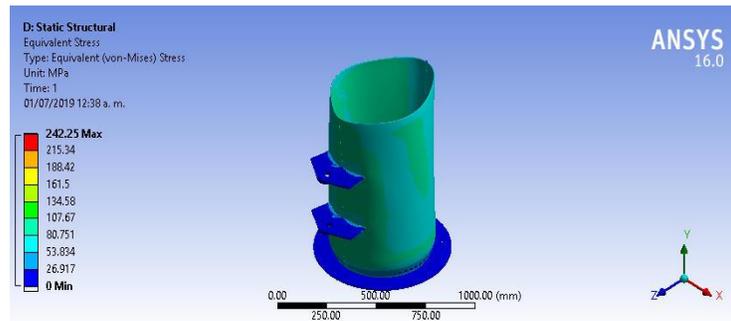


Figura 4. 21. Teoría de Von-Mises

También se realizó un análisis para identificar el factor de seguridad de la tolva donde la presión se colocó en la parte inferior de la tolva, ya que en esa parte existiría la mayor presión. En la **Figura 4. 22** se presenta una simulación de la tolva donde se puede observar que el factor de seguridad es de 1.0309, este factor a pesar que en este análisis la presión es colocada en la parte inferior, el resultado del factor de seguridad no varía al resultado obtenido de la **Figura 4.19**, lo que quiere decir que nuestro materia está resistiendo a la presión interna.

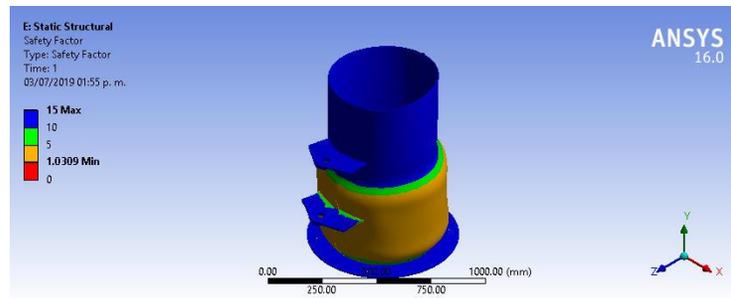


Figura 4. 22. Factor de seguridad en parte inferior de la tolva

En la **Figura 4. 23** se muestra el esfuerzo de Von-Mises para la parte inferior de la tolva donde se concentra la presión al realizar la compactación, con un valor de 242.51 MPa.

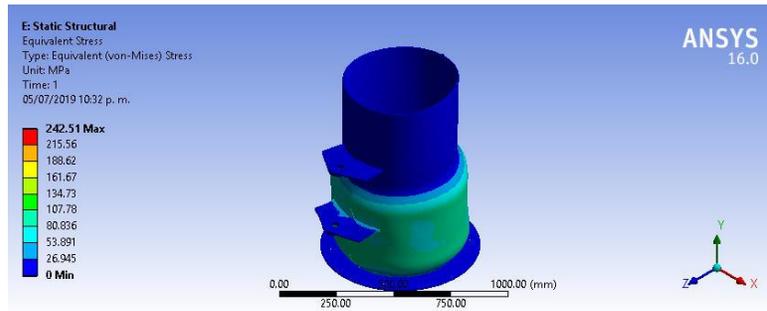


Figura 4. 23. Esfuerzo de Von-Mises

Esta tolva tiene una deformación en la parte inferior de 0.152 mm como se observa en la **Figura 4. 24**.

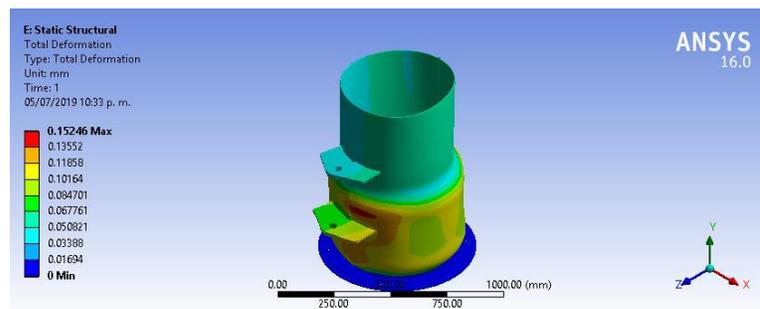


Figura 4. 24. Deformación parte inferior

4.5 Diseño del sistema de sellado

En el sistema de sellado es considerada una mordaza, como se mencionó anteriormente, las mordazas son de acero inoxidable y cuentan con un controlador de la

temperatura. Las mordazas comerciales se muestran en la **Figura 4. 25** como se observa el diseño de ellas son rectangulares y nuestro sistema es cilíndrico, por ello se realizó un diseño basándose en las mordazas comerciales.



Figura 4. 25 Mordaza de sellado verticales (*Greener corporation, 2019*)

La mordaza cuenta con un tubo de calor, la función simple es transferir el calor, es decir, una varilla de cobre sólida con el objetivo de transferir el calor de las resistencias a la superficie del sellado de forma más eficaz. El tubo de calor ayuda a que la temperatura sea uniforme a lo largo de la mordaza de sellado o bien, de la superficie de la mordaza.

Como sistema de transmisión para las mordazas de sellado serán utilizados cilindros neumáticos, esto para realizar el movimiento más controlado. Además de que el sistema de transmisión mueve las mordazas de sellado, éste también moverá al mismo tiempo unas mordazas que sujetarán la bolsa para que esté bien estirada y sujeta. Una vez estirada y sujeta la bolsa se podrá realizar el sellado de manera uniforme.

La **Figura 4. 26** muestra el diseño de la mordaza de sellado que fue establecido, se observa en la figura el tubo de calor para realizar el sellado.

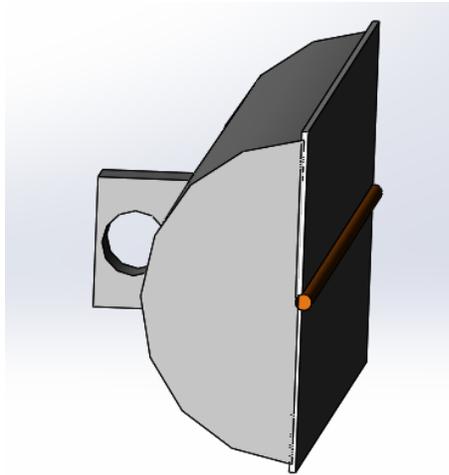


Figura 4. 26 Mordaza de sellado

Por otro lado, la mordaza que sujeta a la bolsa para ser sellada es mostrada en la **Figura 4. 27**. Ésta cuenta con una goma de silicona para evitar la entrada de oxígeno mientras se esté realizando el sellado, es decir, hace presión sobre la bolsa para sujetarla. Además, se encontró en la literatura que, para realizar un ensilaje anaeróbico, era necesario evitar la entrada del aire cuando se estuviera realizando el cierre de la bolsa, por eso la estructura del soporte de la compactadora contará con un tubo que estará conectado a una bomba generadora de vacío. Este tubo es colocado de manera fija de tal manera que no tenga que ser movido por los operadores, por lo que a la mordaza sujetadora se le adaptó la forma del tubo que hace el vacío.

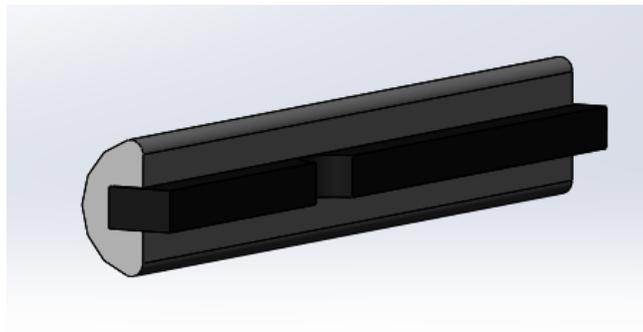


Figura 4. 27 Mordaza de sujetadora

Los planos de las mordazas, así como el plano general de la compactadora a detalle será mostrado en la parte de los anexos.

4.6 Integración de componentes

En esta etapa se presentaron los componentes que resultaron satisfactorios de acuerdo a los análisis previamente realizados, y se procedió a la integración de los mismos en lo que sería la máquina compactadora con el sistema de sellado.

La siguiente **Figura 4. 28** muestra el resultado de la integración del cilindro hidráulico, mordazas de sellado y su tolva, donde estará colocado el alimento de los rumiantes. En la sección de anexos se integran los planos de la máquina compactadora, así como la tabla de

materiales con las características que se requieren para su construcción. La **Figura 4. 29** solo muestra la colocación de sus componentes básicos.



Figura 4. 28 Compactadora de alimento para rumiantes

En la **Tabla 4. 9** se mencionan los componentes generales que contiene la máquina compactadora.

Tabla 4. 9 Componentes básicos de la máquina compactadora

Componente	Nombre
A	Cilindro hidráulico
B	Mordaza sujetadora
C	Mordaza de sellado
D	Tolva
E	Tubo de succión

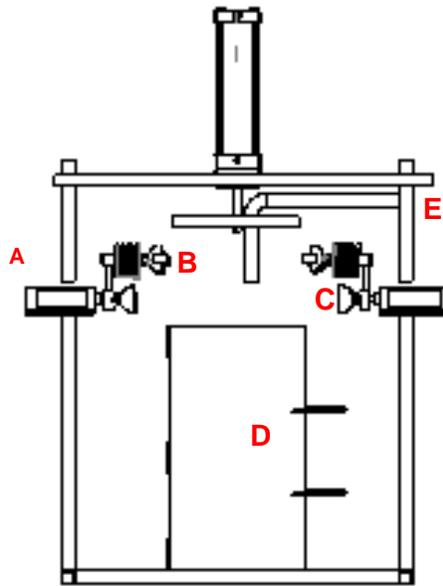


Figura 4. 29 Componentes de la máquina compactadora

En la **Figura 4. 29** se observa el componente A) el cilindro hidráulico, la función que tiene es realizar la compactación del alimento de los rumiantes, el componente B) es la mordaza sujetadora que se mostró anteriormente, ésta se encarga de sujetar la bolsa y realizar presión sobre ella para evitar la entrada del aire y así realizar un proceso anaeróbico; para eso se necesita también un sellado hermético el cual se llevará a cabo por medio de las mordazas selladoras C).El componente D) es la tolva, en ella se coloca la bolsa con el alimento y por último se encuentra fijo un tubo E) que realiza la succión del exceso de aire. Las dimensiones de cada componente son presentadas en la sección de ANEXO III.

Las dimensiones del diseño son mostradas en la **Tabla 4. 10**.

Tabla 4. 10 Dimensiones y especificaciones del diseño

Nombre	Dimensiones	Especificaciones
Tolva	0.9 m de alto x 0.5 m diámetro	A36 4.8 mm
Mordaza selladora	0.104 m de diámetro x 0.605 m largo	Acero inoxidable R 0.05 m y varilla de cobre R 0.0025 m
Mordaza sujetadora	0.6 m de largo x 0.10 de diámetro	Mordaza acero inoxidable y goma de silicona de 0.03 m x 0.610 m
Sistema de transmisión de mordazas	Cilindro neumático carrera de 0.3 m	Diámetro interior 0.06 m
Cilindro hidráulico	Serie 2H Tipo J/3000psi	
Émbolo	Diámetro 0.45 m	Acero A36 12.7 mm
Soporte	1.60 m de alto x 1.25 m	Perfil de acero PTR 2" x 2" CAL 14

Una vez integrados los componentes que conforman la máquina compactadora se realizó la simulación para observar el tiempo que tarda el sistema en realizar todo el proceso. Se lograron obtener 30 bolsas por hora, lo que permite una producción de 10,800 kg de ensilaje en 8 horas. Esta simulación fue realizada en SolidWorks, con esto se cumplió una de nuestras metas.

Conclusión

Al investigar la manera de ensilar el alimento de los rumiantes, son diversos los temas que se plantean, ocupando un lugar destacado el proceso que se debe seguir para producir bacterias para la fermentación por lo que es necesario un proceso anaeróbico. Por ello la presente investigación tuvo como objetivo diseñar una máquina compactadora para el alimento (forraje) de los rumiantes que permita almacenarlo durante la temporada de sequía, reduciendo de esta manera las pérdidas del producto y pérdidas en la ganancia de peso del ganado. La investigación de los antecedentes y diversos métodos de ensilaje permite concluir que los métodos de ensilaje que existen presentan deficiencias ya que existen pérdidas en el tiempo de producción y en el producto. Por eso se diseñó una compactadora para el forraje de rumiantes compactado en bolsas que contiene un sistema de sellado hermético para evitar la entrada de oxígeno. En referencia a la máquina diseñada se realizaron pruebas para determinar la fuerza y presión necesarias para la compactación, encontrando que se requiere una fuerza de 4.17 kN que se validó mediante una simulación por ANSYS Workbench; que el vástago tiene un factor de seguridad de 3.13 con este factor de seguridad podemos concluir que el material es adecuado para resistir la fuerza que se le aplicará y así evitar fallas, de la misma manera que su diseño en espesor y largo son correctos para soportar dicha fuerza. Se concluye que el diseño del vástago es capaz de soportar la fuerza encontrada en la experimentación. Por otro lado, se efectuó una experimentación para determinar la presión que resiste la tolva encontrándose una presión máxima de 1.5609 MPa, la cual fue evaluada en simulación sobre la tolva y se encontró un FS de 1.35 con un esfuerzo Von-Mises de 184 MPa. La colocación del sistema de sellado hermético facilita el proceso dando lugar a que la máquina pueda ser utilizada por un operador evitando la fatiga de más operadores además de ser ergonómica. Realizar un análisis de elementos finitos permite simular con precisión, eficacia y de forma intuitiva el futuro rendimiento del prototipo, con la posibilidad de dimensionar con exactitud y de optimizar los diseños, además de ahorrar tiempo y dinero en la elaboración de prototipos, y en los procesos de prueba. Se concluye que para diseñar el prototipo de la máquina compactadora es necesario hacer las pruebas de esfuerzo, deformación y presión. Este trabajo es un buen indicador para construir una máquina compactadora para el ensilaje que satisfaga adecuadamente las especificaciones del pequeño

productor, dado que es indispensable llevar a cabo estudios experimentales previos para determinar los parámetros mecánicos relacionados con la capacidad soportada por el diseño. Las pruebas experimentales y la simulación ayudaron a validar que el diseño de la máquina compactadora puede ser construida con el material indicado durante el desarrollo del diseño del prototipo, debido a las simulaciones realizadas mediante ANSYS Workbench. Este proyecto sólo llega a la simulación y no a la construcción del prototipo. Sin embargo, hace falta realizar pruebas que validen la expulsión del oxígeno de la bolsa para comprobar que se está realizando y a la vez un sellado hermético. Además, de realizar pruebas que comprueben la calidad del ensilaje obtenido después de un cierto tiempo.

Trabajos futuros

Como trabajo futuro se está analizando cómo utilizar la creatividad computacional para proponer otra alternativa de prototipo. Por ejemplo, diseñar una tolva en la parte superior para que en ella sea depositado el contenido que posteriormente baje por gravedad a la zona de compactación y así se tenga un mayor confort para el pequeño productor. Del mismo modo, se planea desarrollar un sistema automático en la puerta, es decir, que el alimento de los rumiantes compactado pueda retirarse de manera automática sin que sea necesario abrir para obtener el producto final. Además, colocar dos tolvas más para tener una mayor productividad por hora, es decir, que las tolvas puedan estar girando para que de manera secuenciada se fueran preparando para la compactación.

En otro punto está la verificación de la calidad del alimento, es decir ver la manera en que pueda esté ser comprobado que el alimento de los rumiantes tenga buena calidad.

Otra alternativa que se propone es colocar un dispositivo que pueda estar midiendo el porcentaje de oxígeno que existe dentro de la bolsa ya compactada y sellada, esto con el fin de tener un mayor control de las bolsas y sea más eficaz la fermentación anaeróbica del alimento para los rumiantes. También es necesario verificar la manera en que el alimento llegue a las esquinas de las bolsas y pueda ser compactado.

Anexos

Anexo I

Verificación de la adecuación del modelo.

Para poder emitir una recomendación respecto a la fuerza más adecuada, se procede a la comprobación de los supuestos. Estos determinarán si el modelo es adecuado y el proceso de experimentación tiene validez. Esto se determina gráficamente para los siguientes supuestos:

► Distribución de la normal

Para este supuesto se verifica que la hipótesis se cumpla de la siguiente manera:

$$H_0: \varepsilon_{ij} \text{ es normal con } \mu=0 \text{ y } \sigma^2 = (CME)$$

$$H_1: \varepsilon_{ij} \text{ no sigue una distribución normal con } \mu \neq 0 \text{ y } \sigma^2 \neq (CME)$$

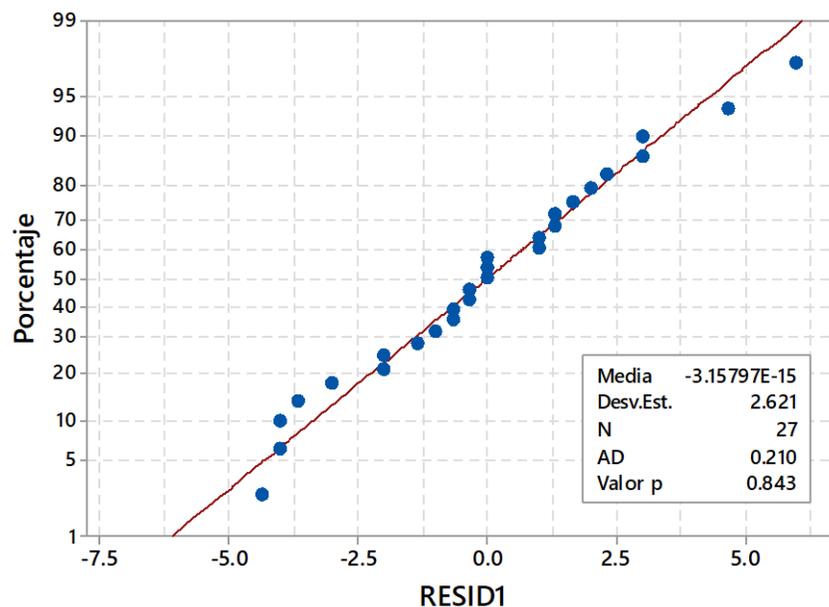


Figura 5. 1 Gráfica de normalidad

Con un valor de $P = 0.843$ lo que significa que no se rechaza la hipótesis nula ya que no existe evidencia suficiente para hacerlo además que tiene una distribución dispersa como se muestra en la **Figura 6. 1**

► **Independencia**

Para este supuesto de los valores ajustados deben ser independientes a los residuos. Por lo que se plantea la siguiente hipótesis.

H_0 : Los errores son independientes respecto a \widehat{Y}_{ij} y a la variable x (factor).

H_1 : Los errores no son independientes respecto a \widehat{Y}_{ij} y a la variable x (factor).

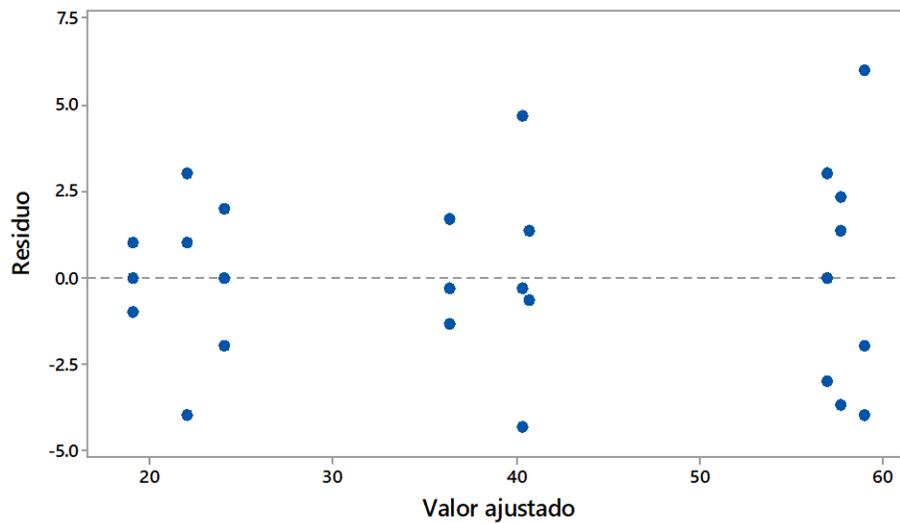


Figura 5. 2 Residuos vs valores ajustados

No se rechaza la hipótesis nula debido que los residuos son independientes respecto a los valores ajustados. Además, que no existe algún patrón que justifique el rechazar la hipótesis nula.

► **Aleatoriedad**

H_0 : Las observaciones estan ordenas de manera aleatoria

H_1 : Las observaciones no estan ordenas de manera aleatoria

Para este supuesto se puede observar en la **Figura 6. 3** no se rechaza la hipótesis nula debido a que los factores fueron tomados de manera aleatoria.

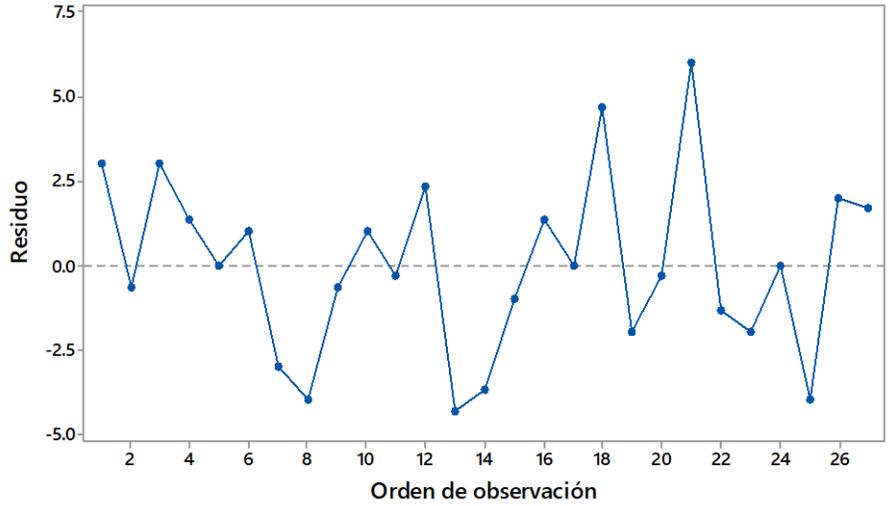


Figura 5. 3 Supuesto de aleatoriedad

De estas 3 figuras se puede concluir que sí cumplen los supuestos, por lo que el modelo estadístico es válido. A continuación, se presenta la gráfica de los efectos principales (**Figura 6. 4**). Esta gráfica indica cuáles son los mejores niveles de la variable fuerza y rapidez para obtener el mejor tiempo de recorrido del cilindro hidráulico. Se puede observar que en la fuerza no existe una diferencia significativa, aunque los resultados en general con un 95.81%.

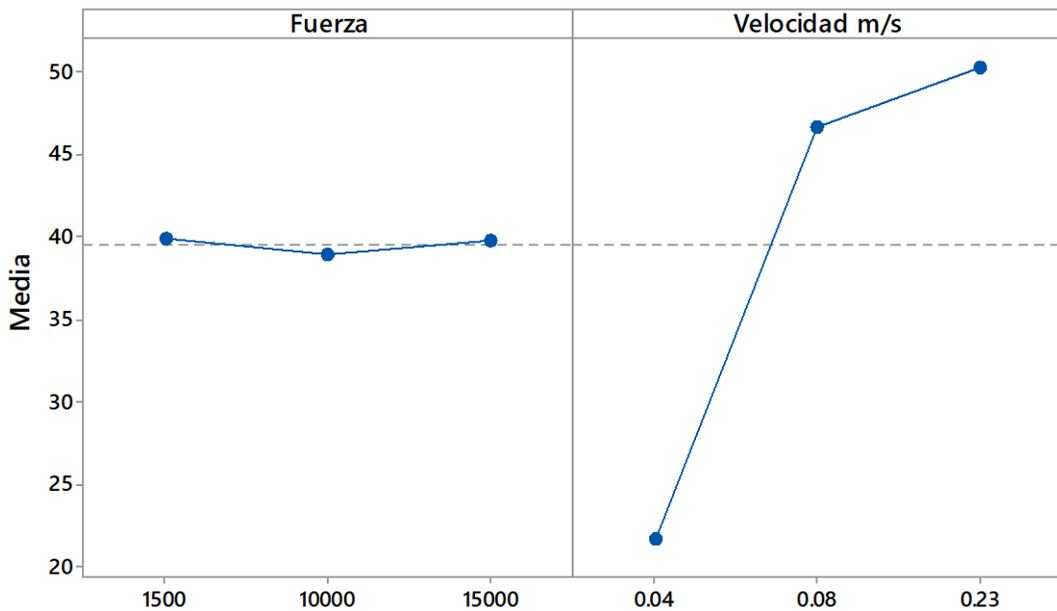


Figura 5. 4 Media de los factores

Análisis de los supuestos para la Fuerza de acuerdo a la experimentación realizada por Regresión.

Para poder emitir una recomendación respecto a la fuerza más adecuada, se procede a la comprobación de los supuestos. Estos determinarán si el modelo es adecuado y el proceso de experimentación tiene validez. Esto se determina gráficamente para los siguientes supuestos:

- ▶ Normalidad de los residuos.
- ▶ Independencia de los residuos con respecto a la variable independiente
- ▶ Independencia de los residuos con respecto a los valores estimados
- ▶ Independencia de los residuos respecto al orden de observaciones
- ▶ Igualdad de varianzas

De la **Figura 6. 5** el supuesto de normalidad con un valor de significancia de 0.05% la hipótesis es:

$$H_0: \varepsilon_{ij} \text{ es normal con } \mu=0 \text{ y } \sigma^2 = (CME)$$

$$H_1: \varepsilon_{ij} \text{ no sigue una distribución normal con } \mu \neq 0 \text{ y}$$

$$\sigma^2 \neq (CME)$$

Ahora bien, teniendo un *valor de P* de un 0.459 % superando al valor de significancia podemos decir que este supuesto sí se cumple. Además, que los valores están ajustados a la normal esto quiere decir que están distribuidos.

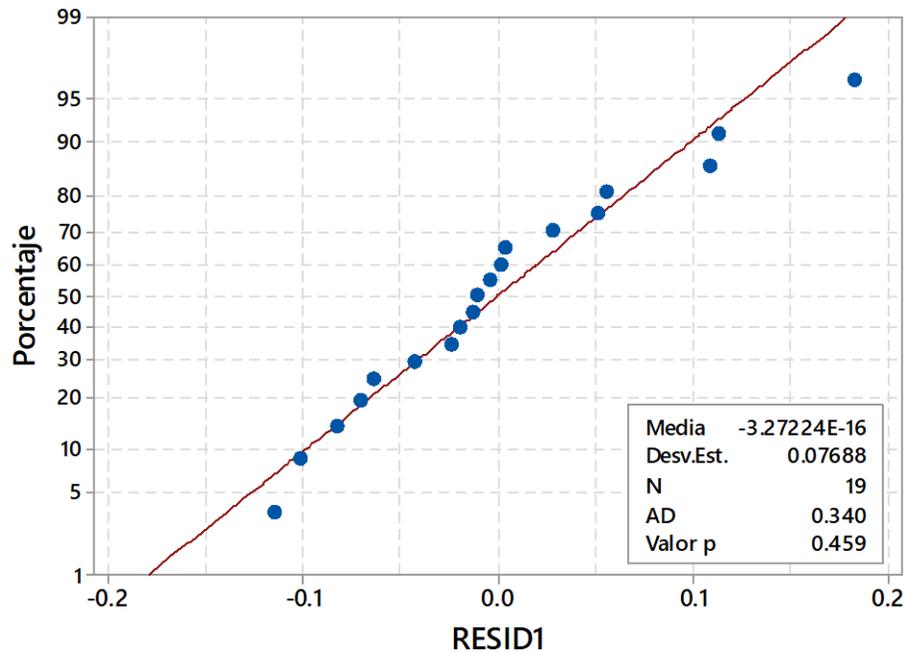


Figura 5. 5 Comprobación de supuesto de normalidad

Con la **Figura 6. 6** supuesto de los valores ajustados deben ser independientes a los residuos.

La hipótesis planteada es la siguiente:

H_0 : Los errores (e_{ij}) son independientes respecto a los valores ajustados (\hat{y}_{ij})

H_1 : Los errores (e_{ij}) no son independientes respecto a los valores ajustados (\hat{y}_{ij})

Por lo tanto, en este supuesto también se cumple la hipótesis no hay evidencia suficiente para rechazarla. Para la **Figura 6. 6** concluimos que los valores están perfectamente distribuidos ya no presentan algún patrón de cono o embudo, para esto contamos con la hipótesis que es:

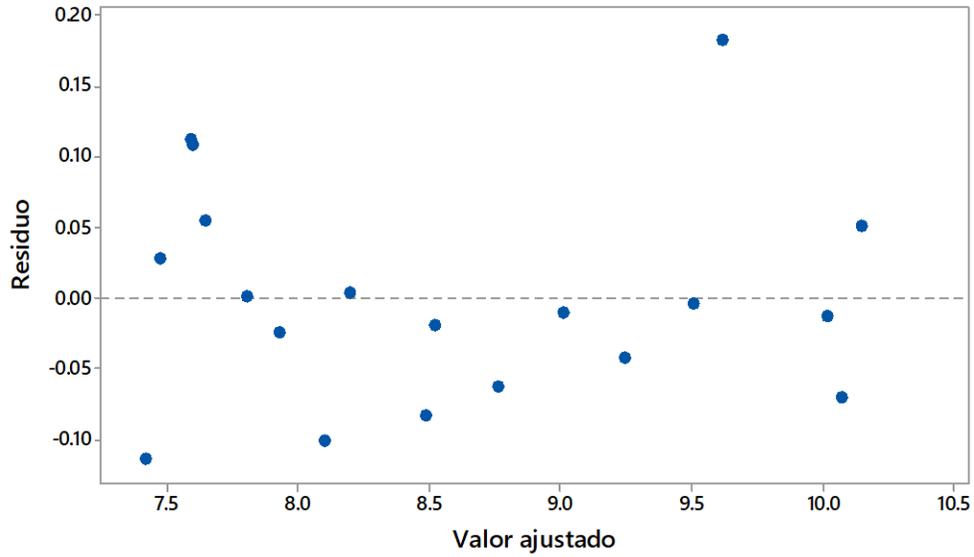


Figura 5. 6 Independencia residuos vs valores ajustados

Para el supuesto de aleatoriedad la hipótesis es la siguiente:

H_0 : Las observaciones están ordenadas de manera aleatoria

H_1 : Las observaciones no están ordenadas de manera aleatoria

La gráfica **Figura 6. 7** se observa que existe aleatoriedad respecto al tiempo por lo tanto no hay razón para sospechar cualquier violación de una varianza constante. Existe una correlación positiva este supuesto si se cumple.

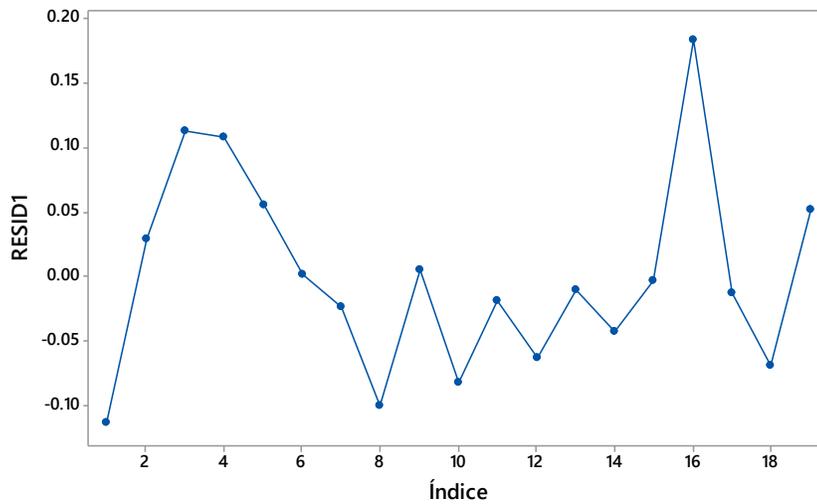


Figura 5. 7 Residuos vs Orden de observación

Con esto podemos concluir que sí se cumplen los supuestos, por lo que el modelo estadístico es válido. Esta fuerza fue utilizada para realizar el diseño de nuestra máquina compactadora, y poder determinar con qué tipo de material vamos a trabajar.

Anexo II

Glosario

Fardo. Es un paquete en forma de bloque constituido por un conjunto de elementos en su caso maíz, sorgo, avena o trigo atados para facilitar el almacenaje y traslado.

Yunque. Bloque de hierro, generalmente con uno de sus lados acabando en punta, sobre el que se trabajan los metales al rojo vivo golpeándolos con un martillo.

Sonotrodo. Es la parte del conjunto oscilante que se apoya en una de las piezas a soldar, transmitiendo vibraciones hasta conseguir la fusión entre las dos piezas.

Booster. Modificar la amplitud de la vibración.

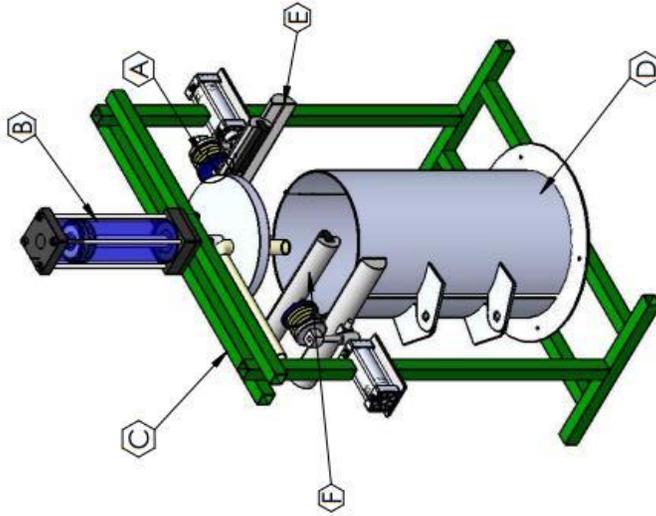
Anexo III

Planos de diseño.

2

1

Plano general de máquina compactadora de alimentos para rumiantes



Vista Isométrica

B

A

B

A

NOMENCLATURA	COMPONENTES
A	Sistema de transmisión para mordaza sujetadora
B	Cilindro hidráulico
C	Soporte estructural
D	Tolva
E	Mordaza selladora
F	Mordaza sujetadora

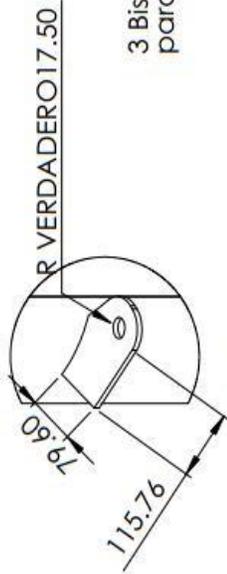
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MM TOLERANCES: FRACTIONAL ± ANGULAR: MACH ± TWO PLACE DECIMAL ± 0.05		TITLE: Máquina compactadora de alimentos para rumiantes	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL: ACERO A36 FINISH:		SIZE DWG. NO. A 100A001	REV
DO NOT SCALE DRAWING		SCALE: NO	SHEET 1 OF 1

2

1

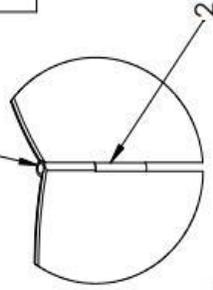
1

2



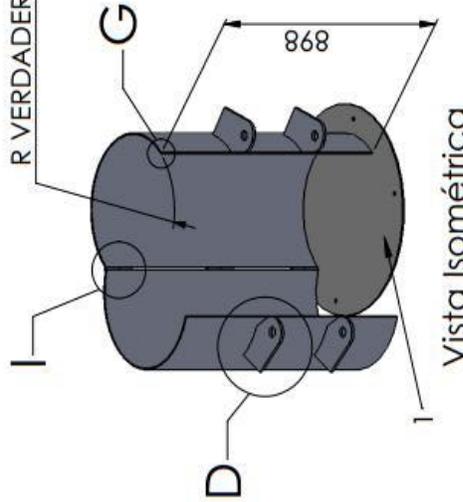
DETAILLE D
Acero A36 1/8"

3 Bisagras de Herrero
para soldar 1/2"

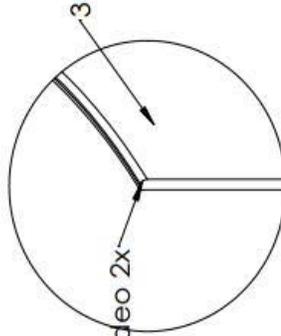


DETAILLE I

R VERDADERO 251.28



Lista de Materiales		
No.	Nombre	Cantidad
1	Base ASTM A36 3.46mm	1000mm
2	Placa ASTM A36 4.8mm	2000mm
3	Bisagra de hierro 127mm	3



DETALLE G

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

DIMENSIONS ARE IN MM
TOLERANCES:
FRACTIONAL: ±
ANGULAR: MACH ±
TWO PLACE DECIMAL ± 0.05

INTERPRET GEOMETRIC
TOLERANCING PER:

MATERIAL ACERO A36

FINISH

DO NOT SCALE DRAWING

TITLE:

Toiva

SIZE DWG. NO.

B 100B002

SCALE: NO

SHEET 1 OF 1

A

A

1

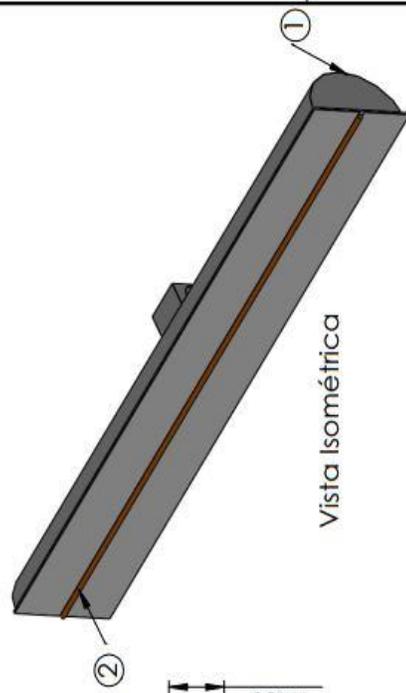
2

1

2

Lista de materiales	
No.	Nombre
1	Acero inoxidable R 50mm
2	Varilla de cobre R 2.5mm

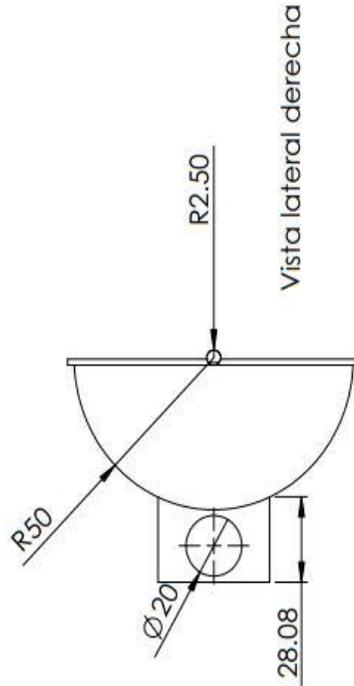
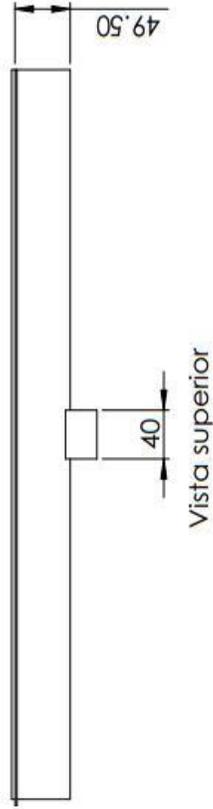
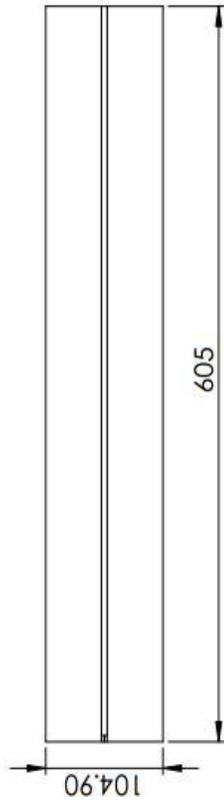
B



A

NOTA :
1. TODAS LAS DIMENSIONES SON EN MM

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MM TOLERANCES: FRACTIONAL: ± ANGULAR: MACH ± TWO PLACE DECIMAL ± 0.05		TITLE: Mordaza selladora de bolsa	
MATERIAL: FINISH: DO NOT SCALE DRAWING		SIZE: B	DWG. NO.: 100B004
		SCALE: NO	REV SHEET 1 OF 1



B

A

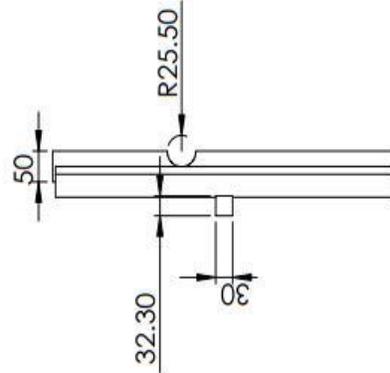
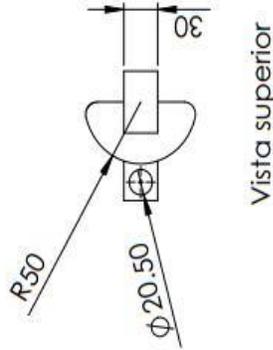
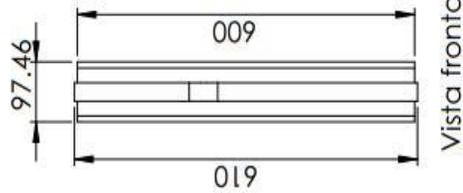
1

2

1

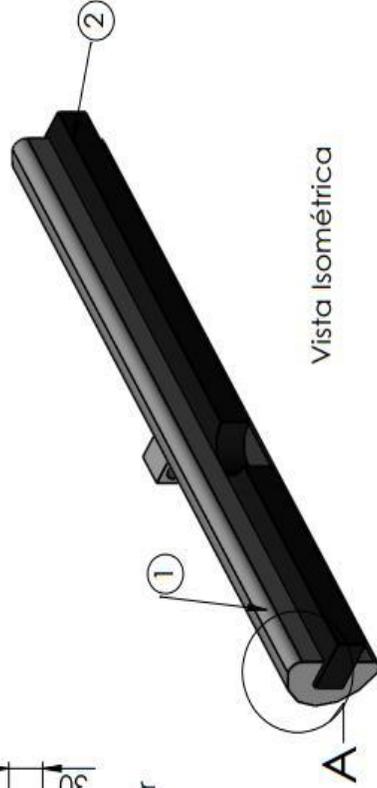
2

Lista de materiales	
No.	Nombre
1	Mordaza acero inoxidable
2	Goma de silicona



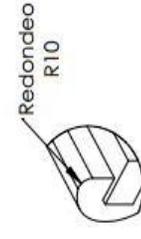
B

B



NOTAS :

1. Todas las dimensiones estan en mm
2. La parte de goma tiene un detalle, una avertura de arco de 51 mm de diámetro.



A

A

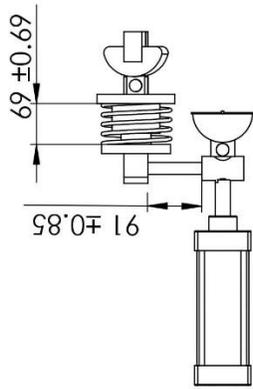
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		TITLE:	
DIMENSIONS ARE IN MM		Mordaza sujetadora de bolsa	
TOLERANCES:		SIZE	DWG. NO.
FRACTIONAL: ±	BEND ±	A	100A003
ANGULAR: MACH ±	TWO PLACE DECIMAL ±	SCALE: NO	REV
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:		SHEET 1 OF 1	
FINISH			
DO NOT SCALE DRAWING			

2

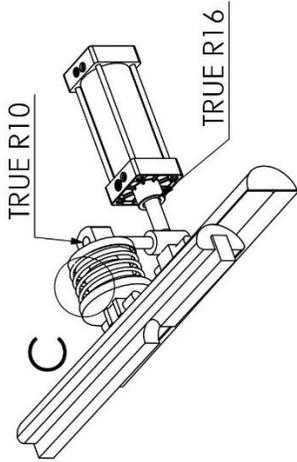
1

2

1



VISTA IZQUIERDA



VISTA ISOMETRICA

Resorte 6mm diámetro x 80mm



DETAIL C
SCALE 1 : 5

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ANGULAR: MACH BEND TWO PLACE DECIMAL THREE PLACE DECIMAL		Tecnológico Nacional de México /I.T. Querétaro	
TITLE: MODAZAS Y SISTEMA DE TRANSMISIÓN			
SIZE	DWG. NO.	REV	
A	1000A004		
SCALE: 1:10			SHEET 1 OF 1

2

1

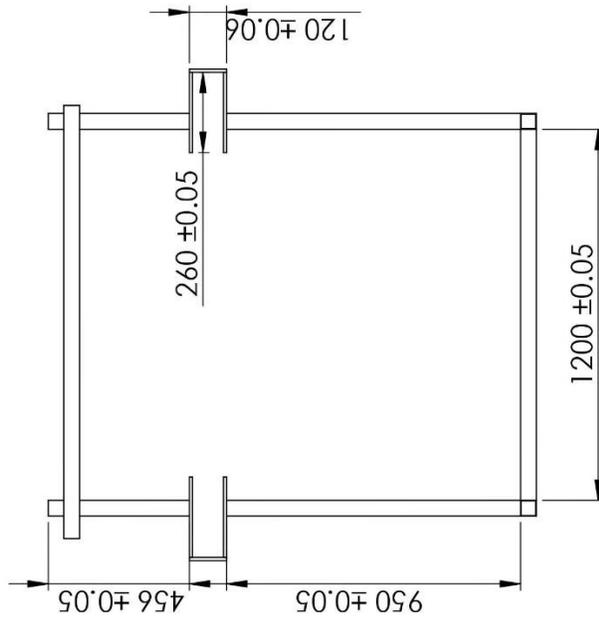
2

1

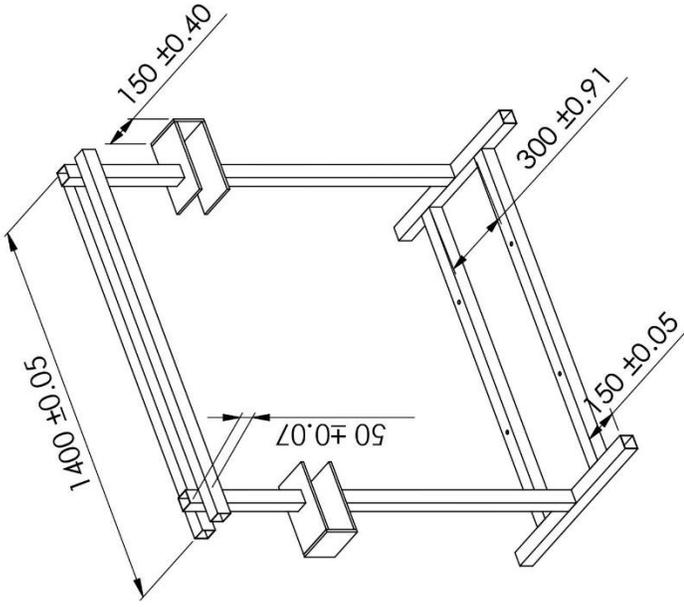
B

B

VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA



A

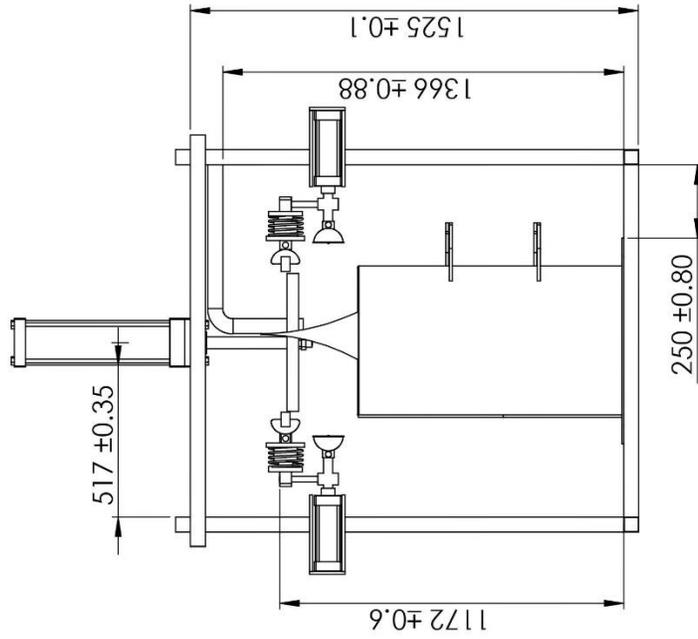
A

NAME		DATE	
DIMENSIONS ARE IN INCHES			
TOLERANCES:			
FRACTIONAL			
ANGULAR	MACH	BEND	
TWO PLACE DECIMAL		THREE PLACE DECIMAL	
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:			
MATERIAL			
PERFIL DE ACERO PTR DE 51mm X 51 mm CAL 14			
TITLE:		SIZE	DWG. NO.
Tecnológico Nacional de México/ I.T. Querétaro		A	1000A03
		SCALE:	REV
		1:20	
		SHEET 1 OF 1	

ESTRUCTURA

2

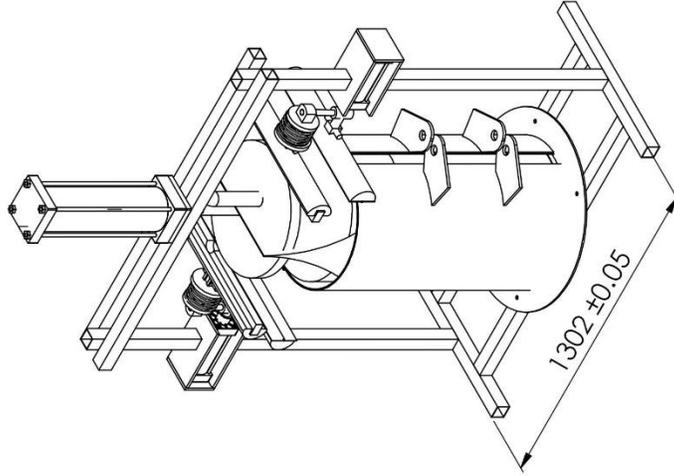
1



VISTA FRONTAL

B

A



VISTA ISOMETRICA

B

A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ANGULAR: MACH BEND TWO PLACE DECIMAL THREE PLACE DECIMAL INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: COMMENTS:	Tecnológico Nacional de México / I.T. Querétaro	
	TITLE: MÁQUINA COMPACTADORA PARA RUMIANTES	
SIZE	DWG. NO.	REV
A	1000A005	
SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1

1

Referencias

- Bethancourt, H., & García, L. (2009). *Identificación e inoculación de bacterías, uso de aditivos y su efecto en parámetros de calidad del ensilaje*. Santiago, DO.: Universidad ISA.
- Cházaro Rosario, C., & Alvarez Valadez, O. (n.d.). Elección del tipo de acero para estructuras. *Gerdau Corsa*, 1, 27.
- Clemente, G., & Monge, J. (2011, Diciembre). *Conservación de forraje de alfalfa*.
- Cobos P., M. (1989). *Tecnología de ensilados*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Departamento de Agricultura de la FAO. (1999, Diciembre).
- Díaz, O., & Lobo, M. (2001). *Agrostología*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Edgard, R., Pablo, C., & Silvana, R. (1999, Noviembre). Sitio Argentino de Producción Animal. *La importancia de la calidad del forraje y silaje*. Argentina, Argentina.
- Forrajes industriales. (2018, Julio). *Forrajes Industriales*. Retrieved from <http://www.iapcr.com/forrajes>
- Garcés, A. M., Berrio, L., Ruiz, S., Serna, J. G., & Builes, A. F. (2004, Junio). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. (M. d. Rodríguez Gázquez, Ed.) *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 67-69.
- Giraldo, G., Argel, P., & Burgos, C. (2007). Una alternativa para los pequeños ganaderos de conservar forrajes en la época seca. *CIAT*, 7.
- Greener corporation. (2019). Retrieved from <https://greenercorp.com/es/products/sellado/mordazas-para-envasadoras-verticales/>
- Hasse, L. (2011). *Europa Patent No. EP2050330B1*.
- Hawking, S. (2010). La física. In *El gran diseño* (Primera ed., pp. 19-20). México: Critica.
- Herrera López, M. J., Medina Chaverria, J., & Quintero Rianza, H. F. (2008). Diseño de una máquina de forraje de maíz para ensilaje: disulficación y compactación. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 9.

- Iriarte, L., & Maria, D. (2016, Julio 14). *España Patent No. P201530032*.
- López Moreta, M. F., & Pichucho Quishpe, L. R. (2012). Diseño y simulación de una máquina compactadora de fardos de heno o pasto verde con una dimensión de 600 x 400 x300mm. *RRAAE Red repositorios de acceso abierto del ecuador*.
- M. Svoboda, M. H. (2012). Guía del usuario sobre el índice normalizado de precipitaciones. In *Organización Meteorológica Muindial*. Ginebra: OMM N°1090.
- M., C. (2005, Octubre 3). *Técnicas de ensilaje y construcción de silos forrajeros*. Retrieved from Secretaría de agricultura, ganadería desarrollo rural pesca y alimentación.
- Manzano S., P. M., & Rodriguez S., F. J. (2013). *Diseño y construcción de una máquina selladora y codificadora automática de alimentación manual para la empresa das leben*. Sangolqui: Escuela politécnica del ejército.
- Mariano. (2013, Diciembre 30). *Tecnología de los Plásticos*. Retrieved from Termosellado.
- Mendieta, B., Fariñas, T., Reyes, N., & Mena, M. (2015, Abril). *Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente. Conservación de forrajes*. Nicaragua: CATHOLIC RELIEF SERVICES.
- Nieto, A. (2012, 05 05). *CNC reporta 60 mil cabezas de ganado perdidas por sequía*. Retrieved from Códice informativo: <https://codiceinformativo.com/2012/05/cnc-reporta-60-mil-cabezas-de-ganado-perdidas-por-sequia/>
- Noya, G. (2010, Marzo). Bombas y motores hidráulicos. *Plan Agropecuario*(133), 54-55.
- Nutrimax. (2018). *Nutrimax | Nutrición animal en Costa Rica*. Retrieved from nutrimaxcr.com
- Organización de la Naciones Unidas, ONU. (2018, 01 01). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Retrieved from PNUD: <http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home.html>
- Rettich, F. (2004). *Dispositivo para realizar pacas prensadas enrolladas*. España: Grant.
- SAGARPA. (2011). *SAGARPA* .
- SAGARPA, INEGI. (2014). *Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2014*.
- Sosa, J., Cortes, I., Beltrán, J., Cabrera , P., Arqueda, R., Conrado, G., & Flores, G. (2005). *Alternatvas nutricionales para época seca*.

Titterton. (1999). *Estudio FAO producción y protección vegetal*.

Wongdergem Matthijs, J., & Laarshot, V. M. (2010, Enero 03). *Países bajos Patent No. PCT/EP2010/002299*.

Wong, C. (2001). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *El papel del ensilaje en la producción de rumiantes en los trópicos húmedos en introducción a la conferencia sobre el uso del ensilaje en el Trópico, FAO. IT, Roma*. Retrieved from El papel del ensilaje en la producción de rumiantes en los trópicos húmedos.

Yaruro Bacca, J., & Espinel Blanco, E. (2017). Prototipo de máquina para fabricar ensilaje utilizando un tornillo sin fin para la compresión del producto en bolsa plástica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(29), 6*.