



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ENFARDADORA DE  
ALFALFA CON CAPACIDAD DE 50 KG PARA  
PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL SECTOR  
AGRO-GANADERO DE LA ZONA NORTE DEL  
PERÚ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores:**

**Bach. Salas Pérez Kenny Yosmith**

**<https://orcid.org/0000-0003-1318-194X>**

**Bach. Seclen Aldana Walter Eduardo**

**<https://orcid.org/0000-0001-8875-1236>**

**Asesor:**

**Mg. Ing. Carlos Alexis Alvarado Silva**

**<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel Perú, 2020**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ENFARDADORA DE ALFALFA CON  
CAPACIDAD DE 50 KG PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL  
SECTOR AGRO-GANADERO DE LA ZONA NORTE DEL PERÚ**

**Aprobación del Jurado:**

---

**Mg. Juan Carlos Vives Garnique  
Presidente del jurado de tesis**

---

**Mg. Silvia Yvone Gastiaburu Morales Silvia  
Secretaria del jurado de tesis**

---

**Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva  
Vocal del Jurado de tesis**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por haberme permitido avanzar con salud y siempre al lado de mi familia, en estos tiempos relevantes. A mi madre, padre y hermana por el esfuerzo que hicieron para ayudarme en mi carrera profesional y por demostrarme en cada momento su cariño y amor, A mis abuelos que siempre me infundieron los buenos modales, responsabilidad y honradez. A mi zambita por su apoyo incondicional sin importar los obstáculos presentados en el camino de la vida y a todos los seres queridos cercanos a mí, por esperar grandes cosas de mi persona.*

**Walter Eduardo Seclen Aldana**

*Al marcar un importante hito en el camino de la existencia mía, dedico esta investigación a aquellas personas que caminaron junto a mi en todo momento, en especial consideración a mis Padres, que me brindaron su sabiduría, a mi Hermana, un ser libre que me acompañó en buenos y malos momentos, a mi Sobrino Adrián por llegar a equilibrar el hogar, y a Celene por compartir hasta estos momentos parte de su vida, a mi lado, espero que este solo sea el inicio del recorrido.*

**Salas Pérez kenny**

## **AGRADECIMIENTO**

Estamos plenamente agradecidos a Dios por permitirnos vivir un logro más justo a nuestras familias y seres queridos, por la oportunidad de habernos orientado por el camino de la vida e incentivarnos a hacer unos profesionales, además de acompañarnos también en los mejores momentos.

Al Mg. Carlos Alvarado, asesor de este trabajo de grado, por el apoyo, colaboración y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, así mismo al Ing. Juan Carlos Vives Garnique por su valioso apoyo, por su incondicional y desinteresado apoyo.

## RESUMEN

En la presente investigación se detalla el diseño de una máquina enfardadora de alfalfa con capacidad de 50 kg para pequeños productores en el Sector Agro-Ganadero de la Zona Norte del Perú, ya que tras diversas visitas se verificó que el proceso de compactado podía mejorar.

Para el diseño de la máquina primero se halló la capacidad de producción, la cual se calculó mediante ensayos de densidad empleando una masa de 1.365 kg de alfalfa y un volumen requerido para el fardo de  $0.1816 m^3$ . Para el sistema de compactado se seleccionó un sistema multiplicador de fuerza compuesto por engranajes, los cuales brindaron una relación de transmisión de hasta 17.1, mientras que las rpm requeridas fueron de 100 rpm. Los equipos encargados de brindar la potencia serán dos motorreductores de 1 HP cada uno (1.5 kW en total), los cuáles se alimentarán de la energía brindada por un Generador Honda GX-290 que consume gasolina.

Para la verificación de los resultados hallados matemáticamente, se empleó un software de ingeniería muy comercial, SolidWorks. El cual brinda aporte para el buen diseño y simulación de las partes críticas de la máquina. La enfardadora de alfalfa con capacidad de 50 kg es un proyecto muy rentable que asegura ganancias desde el 2do año de uso.

**PALABRAS CLAVE:** Alfalfa, compactado, fardo, transmisión, potencia.

## ABSTRACT

This research details the design of an alfalfa wrapping machine with a capacity of 50 kg for small producers in the Agro-Livestock Sector of the Northern Zone of Peru, since after several visits it was verified that the compaction process could be improved.

For the design of the machine, the production capacity was first found, which was calculated by density tests using a mass of 1,365 kg of alfalfa and a volume required for the bale of  $0.1816 \text{ m}^3$ . For the compacting system, a force multiplier system consisting of gears was selected, which provided a transmission ratio of up to 17.1, while the required rpm was 100 rpm. The equipment responsible for providing the power will be two gearmotors of 1 HP each (1.5 kW in total), which will be powered by the energy provided by a Honda GX-290 Generator that consumes gasoline.

To verify the results found mathematically, a very commercial engineering software, SolidWorks, was used. Which provided input for the good design and simulation of the critical parts of the machine. Alfalfa wrapping machine with a capacity of 50 kg is a very profitable project that ensures profits from the 2nd year of use.

**KEYWORDS:** Alfalfa, compacted, bale, transmission, power.

## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	15
1.1.	Realidad Problemática .....	15
1.2.	Antecedentes de Estudio .....	16
1.3.	Teorías relacionadas al tema.....	19
1.3.1.	Forraje .....	20
1.3.2.	Tipos de conservación de forraje .....	20
1.3.2.1.	<b>Henificación</b> .....	20
1.3.2.2.	<b>Ensilaje</b> .....	21
1.3.3.	Alfalfa .....	22
1.3.3.1.	<b>Alfalfa Alto Andina – W350</b> .....	23
1.3.4.	Procesos para conservación y almacenado de forrajes .....	24
1.3.4.1.	<b>Siega</b> .....	24
1.3.4.2.	<b>Secado o curación de hierba</b> .....	25
1.3.4.3.	<b>Empacado y transporte</b> .....	26
1.3.5.	Sistema Hidráulico.....	28
1.3.5.1.	<b>Principio de funcionamiento</b> .....	28
1.3.5.2.	<b>Ventajas</b> .....	29
1.3.5.3.	<b>Desventajas</b> .....	29
1.3.6.	Sistema neumático .....	30
1.3.6.1.	<b>Compresor</b> .....	30
1.3.6.2.	<b>Depósito</b> .....	30
1.3.6.3.	<b>Filtro</b> .....	30
1.3.6.4.	<b>Válvula</b> .....	31
1.3.6.5.	<b>Cilindro</b> .....	31
1.3.7.	Engranajes: Sistema multiplicador de fuerza .....	31
1.3.8.	Definición de términos .....	32
1.4.	Formulación del problema .....	33
1.5.	Justificación e importancia del estudio .....	33
1.5.1.	Justificación Académica.....	33
1.5.2.	Justificación Ambiental .....	33
1.5.3.	Justificación Económica.....	34
1.5.4.	Justificación Social .....	34
1.6.	Hipótesis.....	34
1.7.	Objetivos .....	34

1.7.1.	Objetivo General .....	34
1.7.2.	Objetivos Específicos: .....	34
II.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación .....	36
2.2.	Población y muestra .....	36
2.3.	Variables y operacionalización .....	36
2.3.1.	Variables .....	36
<b>2.3.1.1.</b>	<b>Variables Independientes</b> .....	36
<b>2.3.1.2.</b>	<b>Variables Dependientes</b> .....	36
2.3.2.	Operacionalización .....	38
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	40
2.4.1.	Abordaje metodológico .....	40
2.4.2.	Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	40
2.4.3.	Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	41
2.5.	Procedimiento de análisis de datos .....	42
2.5.1.	Etapas del diseño .....	43
2.6.	Criterios éticos .....	45
2.7.	Criterios de rigor científico .....	46
III.	RESULTADOS .....	48
3.1.	Selección del concepto de solución más óptimo para el diseño de la máquina .....	48
3.1.1.	Lista de exigencias .....	48
3.1.2.	Estructura de funciones .....	50
3.1.3.	Matriz morfológica .....	50
<b>3.1.3.1.</b>	<b>Criterios de evaluación de los conceptos de solución para el diseño de la máquina</b> 52	
<b>3.1.3.2.</b>	<b>Conceptos de solución</b> .....	52
<b>3.1.3.3.</b>	<b>Evaluación Técnica-Económica</b> .....	56
3.2.	Definición de la capacidad de la máquina .....	59
3.3.	Dimensionamiento y selección de equipos/sistemas .....	62
3.3.1.	Determinación del factor de seguridad para la configuración estructural de la plataforma de compactado .....	63
3.3.2.	Determinación del factor de seguridad a través de la simulación .....	68
3.3.3.	Determinación del factor de seguridad del cuerpo de la enfardadora .....	68
3.3.4.	Determinación del sistema de transmisión .....	79
3.3.5.	Determinación de rodamientos de las ruedas .....	91
3.3.6.	Determinación y selección del sistema eléctrico .....	94

3.4.	Elementos críticos de la máquina .....	100
3.4.1.	Diseño final de la máquina .....	101
3.5.	Análisis técnico económico de la máquina .....	101
3.5.1.	Lista de materiales .....	101
3.5.2.	Inversión .....	102
3.5.3.	Flujo de caja.....	104
3.5.3.1.	<b>Valor Actual Neto (VAN)</b> .....	105
3.5.3.2.	<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b> .....	106
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	106
	CONCLUSIONES .....	106
	RECOMENDACIONES .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Terrenos de alfalfa .....	22
<i>Figura 2:</i> Secadora rotativa.....	25
<i>Figura 3:</i> Alfalfa deshidratada .....	26
<i>Figura 4:</i> Fardos de alfalfa prismáticos convencionales .....	27
<i>Figura 5:</i> Rollo enfardado de alfalfa.....	27
<i>Figura 6:</i> Fardo prismático gigante .....	28
<i>Figura 7:</i> Partes de un sistema hidráulico .....	29
<i>Figura 8:</i> Sistema neumático .....	30
<i>Figura 9:</i> Caja negra de variables .....	37
<i>Figura 10:</i> Etapas del proceso para la recolección de datos e información .....	43
<i>Figura 11:</i> Etapas del proceso de diseño .....	44
<i>Figura 12:</i> Estructura de funciones .....	50
<i>Figura 13:</i> Alternativa de solución 1 .....	53
<i>Figura 14:</i> Alternativa de Solución 2 .....	54
<i>Figura 15:</i> Alternativa de Solución 3 .....	55
<i>Figura 16:</i> Gráfica de evaluaciones .....	58
<i>Figura 17:</i> Bosquejo del concepto de solución más óptimo .....	59
<i>Figura 18:</i> Dimensiones del fardo de alfalfa .....	61
<i>Figura 19:</i> Perfil del ángulo.....	63
<i>Figura 20:</i> Configuración de plataforma de compactado .....	64
<i>Figura 21:</i> 3D de plataforma de compactado .....	64
<i>Figura 22:</i> Mejora de sujeción en estructura de compactado .....	65
<i>Figura 23:</i> Refuerzo de plataforma.....	65
<i>Figura 24:</i> Planchas estriadas .....	66
<i>Figura 25:</i> Fuerza distribuida en la plataforma.....	67
<i>Figura 26:</i> Detalle de deformación .....	67
<i>Figura 27:</i> Factor de seguridad de plataforma .....	68
<i>Figura 28:</i> Parte 1 del marco .....	72
<i>Figura 29:</i> Parte 2 del marco .....	73
<i>Figura 30:</i> Marco completo .....	73
<i>Figura 31:</i> Conformado frontal y posterior de la máquina .....	74
<i>Figura 32:</i> Laterales de la máquina .....	74
<i>Figura 33:</i> Conformado de los lados de la máquina .....	75
<i>Figura 34:</i> Tapa superior de la máquina .....	75
<i>Figura 35:</i> Configuración recubrimiento de madera .....	76
<i>Figura 36:</i> Laterales internos de madera .....	77
<i>Figura 37:</i> Aplicación de fuerzas en el cuerpo .....	77
<i>Figura 38:</i> Escala URES.....	78
<i>Figura 39:</i> Factor de seguridad.....	79
<i>Figura 40:</i> Distribución de engranajes multiplicadores de fuerza .....	81
<i>Figura 41:</i> Relación de transmisión en engranajes .....	83
<i>Figura 42:</i> Configuración de engranajes, vista superior .....	84
<i>Figura 43:</i> Polea con encastre para cadena.....	86
<i>Figura 44:</i> Llanta y eje con sistema de rotación .....	92
<i>Figura 45:</i> Rodamiento 6205 SKF.....	92
<i>Figura 46:</i> Rodamiento 6206 SKF.....	94
<i>Figura 47:</i> Generador Honda Gasolinero GX-290 de 5 kW.....	95
<i>Figura 48:</i> Guardamotor Schneider Gz1e10.....	96

<i>Figura 49:</i> Interruptor termomagnético Bticino .....	97
<i>Figura 50:</i> Contactor Schneider LC1 SKGC200U7 .....	97
<i>Figura 51:</i> Relé Térmico Schneider LRD10.....	98
<i>Figura 52:</i> Temporizador Schneider RM4TR32.....	98
<i>Figura 53:</i> Sensor de final de carrera.....	99
<i>Figura 54:</i> Factor de Seguridad de la base .....	100
<i>Figura 55:</i> Diseño final de la máquina enfardadora.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Operacionalización de variables</i> .....	38
Tabla 2: <i>Lista de exigencias</i> .....	48
Tabla 3: <i>Matriz morfológica</i> .....	51
Tabla 4: <i>Evaluación técnica de los conceptos de solución</i> .....	56
Tabla 5: <i>Evaluación económica de los conceptos de solución</i> .....	57
Tabla 6: <i>Coordenadas cartesianas de los conceptos de solución</i> .....	58
Tabla 7: <i>Ensayos experimentales de alfalfa</i> .....	59
Tabla 8: <i>Densidad de la alfalfa según pruebas</i> .....	60
Tabla 9: <i>Número de dientes y Diámetro primitivo en multiplicadores de fuerza de 1 TN.</i> ..	81
Tabla 10: <i>Comparación de tiempo de compactación</i> .....	88
Tabla 11: <i>Equipos, dispositivos y materiales del sistema eléctrico</i> .....	96
Tabla 12: <i>Cables AWG</i> .....	99
Tabla 13: <i>Pesos de equipos/sistemas</i> .....	100
Tabla 14: <i>Lista de materiales</i> .....	102
Tabla 15: <i>Costos directos</i> .....	103
Tabla 16: <i>Costos Indirectos</i> .....	104
Tabla 17: <i>Inversión total</i> .....	104
Tabla 18: <i>Costos de operación y egresos</i> .....	105
Tabla 19: <i>VAN y TIR</i> .....	107

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Fórmula de la densidad.....	60
<b>Ecuación 2:</b> Ecuación de volumen de un cuadrado.....	61
<b>Ecuación 3:</b> Fórmula de fuerza.....	62
<b>Ecuación 4:</b> Peso total de alfalfa .....	70
<b>Ecuación 5:</b> Altura de llenado .....	71
<b>Ecuación 6:</b> Sumatoria de pesos .....	80
<b>Ecuación 7:</b> Ecuación para el cálculo de módulo.....	82
<b>Ecuación 8:</b> Relación de transmisión .....	83
<b>Ecuación 9:</b> Ecuación de torque .....	85
<b>Ecuación 10:</b> Radio de un círculo.....	86
<b>Ecuación 11:</b> Velocidad angular.....	87
<b>Ecuación 12:</b> Frecuencia .....	87
<b>Ecuación 13:</b> Ecuación de n° de vueltas.....	88
<b>Ecuación 14:</b> Longitud de una circunferencia.....	88
<b>Ecuación 15:</b> Cálculo de RPM .....	89
<b>Ecuación 16:</b> RPM a la entrada del mecanismo .....	89
<b>Ecuación 17:</b> Potencia de un motor .....	90
<b>Ecuación 18:</b> <i>Vida nominal de un rodamiento</i> .....	93
<b>Ecuación 19:</b> Corriente eléctrica .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Anuario estadístico 2015 – 2016 (MINAGRI) .....	112
Anexo 2: Producción de alfalfa por región y provincia - Boletín Estadístico del trimestre IV 2016/2017 (MINAGRI).....	113
Anexo 3: Modelo de entrevista.....	114
Anexo 4: Resultados de las entrevistas .....	116
Anexo 5: Código de Ética del CIP.....	122
Anexo 6: Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS).....	123
Anexo 7: Ensayos en el taller .....	124
Anexo 8: Catálogo de Aceros .....	125
Anexo 9: Ficha técnica del Motorreductor IE2 NORD .....	127
Anexo 10: Ficha técnica del rodamiento 6205 2Z SKF .....	128
Anexo 11: Ficha técnica del rodamiento 6206 SKF.....	129
Anexo 12: Ficha técnica del Generador Honda GX-290.....	130
Anexo 13: Diagrama eléctrico de mando y protección .....	131

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

El avance y desarrollo progresivo en la zona agro ganadera que es visto en estos años, es reflejo de la importancia que tienen estas especies de animales en la vida del ser humano, como la búsqueda de la mejor carne y productos derivados; esto conlleva a los ganaderos a satisfacer una necesidad, que es la de mejorar la alimentación de estas especies para obtener un mejor producto, principalmente para los rumiantes (bovinos, equinos, caprinos), siendo la alfalfa uno de los forrajes más valiosos y preferidos para este fin, el valor de la misma radica en su alto potencial de producción, valor nutritivo y alta digestibilidad.

Tamberoweb (2016) sostuvo que este alimento es una de las bases sobre las cuales se asienta la ganadería en varias regiones del mundo, debido a su gran potencial de producción y sus altos niveles de proteína y energía. A esto debe sumarse su alto contenido vitamínico, además de poseer la mayoría de los minerales que requiere el ganado productor de leche y carne, principalmente calcio, potasio, magnesio y fósforo.

En la industria del Forraje se han desarrollado diversas máquinas para el empaquetado, almacenado y conservación de grandes cantidades de producto, estas máquinas capaces de trabajar extensas hectáreas de producción, y realizar el proceso de cortado y empaquetado al mismo tiempo, son la mejor opción para las industrias, sin embargo los pequeños productores que existen en la zona costeras como es el caso de Lambayeque y zonas alto andinas del país, resulta difícil económicamente acceder a estas tecnologías, o se encuentran en lugares de terreno escabroso que impiden el correcto montaje y/o funcionamiento de una máquina de alto rango; por tanto, realizan el proceso de cosecha y almacenado de forma tradicional.

Actualmente los pequeños productores de Alfalfa en general se encuentran limitados cuando se trata de almacenar y transportar su producto de sus almacenes

de espacio reducido ya que la alfalfa suelta, ocupa un gran volumen, actualmente existen investigaciones sobre empaquetadoras, o también denominadas enfardadoras, en el trabajo de, VyhmE5ster, H (1982) explica la mejor manera de construir una máquina enfardadora manual, y exponen la posibilidad de su construcción económica y fácil, sin embargo se observa que la fuerza para operar la máquina es a través de la mano del hombre, la producción es limitada por la velocidad de producción de fardos.

Para satisfacer esta demanda existen máquinas más pequeñas que cumplen la misma necesidad, pero esta herramienta para su funcionamiento, demanda un esfuerzo físico mayormente realizado por dos o más personas. En tal sentido este trabajo de investigación busca el mejor diseño de empaquetadora que sea de fácil traslado, bajo costo a comparación de las máquinas industriales, y donde no haya necesidad de aplicar un esfuerzo humano para la compactación.

## **1.2. Antecedentes de Estudio**

Herrera, M., et al., (2008) Desarrollaron una investigación que propone la industrialización del empaquetado y compactado para el proceso de forrajes de maíz aplicando el método de ensilaje, el cual se explica como alternativa de manutención y adición de nutrientes para el ganado. Se detalla el diseño, construcción y verificación de la máquina para la certificación del compactado y dosificado en forrajes de maíz. Además, explica las verificaciones realizadas, para que, bajo estos parámetros, poder determinar la fuerza necesaria de compactación por unidad de área tal que tolere la mayor extracción de aire, evitando desaprovechar los nutrientes necesarios y que mantenga sus dimensiones.

En un Informe Técnico del INTA Argentina denominado "ROTOENFARDADORAS DE NUEVA GENERACIÓN" por Bragachini, M., et al. (2012) que trata sobre mega-enfardadoras con capacidades de 750 - 1000kg , se describe el tipo de tecnologías existentes en el sector de cosecha y almacenaje, haciendo mención al equipamiento que han incorporado las roto-enfardadoras, enfocándose en el Atado, Recolección, Monitores, Procesador de cutter o fibra; en el

Atado se debe priorizar la eficiencia en este proceso y tener buena capacidad, destacando la tecnología de atado con 8 hilos que además reduce el número de vueltas en el forraje conservando así su buen estado, para la recolección describe la importancia en que la entrada de el forraje en la máquina sea angosta, para mejorar la compactación y recalca que es mejor no usar ruedas en la zona de recolección para evitar el levantamiento de tierra y polvo que bajan la calidad del producto, en el monitoreo habla del gran desarrollo tecnológico que ha habido, que va desde monitoreo de la densidad, peso, y estado del proceso dentro de la cámara de enrollado y un sistema de monitoreo con microchip de frecuencia aplicado en el amarre, para lograr un mapeado de toda la producción, finaliza hablando del Procesador de cutter o fibra que es un sistema que recién implementan las máquinas más modernas, habiendo aún desconfianza para el uso en el forraje de Alfalfa, y a través de un estudio demuestran que las pérdidas de producto con este sistema es mínimo, y el largo de fibra obtenido (10 y 15 cm) es excelente para el consumo de los rumiantes ya que mejora su digestibilidad. Se ha podido observar el gran desarrollo tecnológico para alta producción, pero estas máquinas no son aptas para un pequeño productor y sería de difícil adquisición.

Gil, G. (2013) en el desarrollo de la investigación "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA EL ENFARDADO Y ENSILADO DE FORRAJES" de la UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA (Colombia). Plantea el diseño de un prototipo, el cual se destina para la elaboración de fardos y ensilado de forraje, teniendo como enfoque problemático, el alto costo que representa para un agricultor minorista el adquirir máquinas que son aplicadas para alta producción, y la necesidad de almacenar y compactar el forraje que es fuente de alimento de bovinos en diferentes épocas del año; se aplican métodos de ingeniería, como el diseño mecatrónica conceptual con el proceso QFD (DEVELOPMENT BASED ON QUALITY) que traducido al español sería: "Desarrollo en Función de la Calidad", explorando en la ingeniería inversa y utilizando programas CAD para la respectiva representación gráfica del prototipo, se estudia a la diversidad de actuadores y aplica las teorías de materiales para estudiar los cambios en cada pieza, se tuvo como resultado un prototipo funcional para el enfardado y ensilado capaz de movilizarse por terreno estrepitoso teniendo como

parte fundamental un actuador eléctrico que pone en marcha el compactado; la principal deficiencia del mecanismo es que, al utilizar un actuador eléctrico hidráulico, limita su funcionalidad al tener un entorno de mucho polvo o pajilla, residuos que pueden dañar el equipo, y demandaría un mantenimiento continuo.

En el desarrollo de nuevas tecnologías del INTA (ARGENTINA). Se encuentra el informe “ENFARDADORA MANUAL MODIFICADA” de Sotomayor, Pablo. (2013). El cual explica la facilidad y sencillez para la elaboración de la máquina manual haciendo un comparativo con las ya existentes en relación a su armado y ergonomía. Con el objetivo de prensar fardos de diferentes forrajeras minimizando costos y tiempos, tratando de buscar una relación entre eficiencia y eficacia para lograr principalmente la cantidad y calidad en la práctica y en el buen uso de los fardos, teniendo como prioridad las dimensiones y la cantidad de cada fardo de producción por día. Se denota que una desventaja al hacer modificaciones a la máquina, eleva la demanda de su presupuesto, pero a la vez favorece su efectividad y extiende su vida útil.

Berrocal, M., y Cortez, A. (2015) Con la Investigación "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA ENSILADORA DE FORRAJES DE MAÍZ PARA ALIMENTAR GANADO BOVINO" de la UNIVERSIDAD DE CORDOBA (Colombia). Plantea el diseño de una máquina de tres estaciones para el ensilaje, esto es una solución a los problemas con la conservación de pastos y forrajes, basándose en la fermentación anaeróbica del forraje cosechado, la máquina es capaz de trabajar con 40 kg de masa por contenedor. Expone que en la ganadería existe la necesidad y demanda de almacenar de manera adecuada los pastos conservados, sin que ocupen grandes volúmenes, y sin afectar la calidad de pasto y que se conserve a largo tiempo. Se aplican métodos a nivel ingeniería y se representa la máquina en software CAD para tener una visión general de su funcionamiento. Para el óptimo funcionamiento de su sistema de compactado utilizan un accionamiento hidráulico, es alimentado por una bomba de aceite, conectado a un actuador de doble efecto, y regulado por un circuito hidráulico directo con accionamiento manual. El punto crítico para el sistema, es que al utilizar un accionamiento hidráulico no puede exponerse a un

ambiente de mucho polvo o pajilla y/o residuos, como es el campo mismo, además dicho sistema demanda de un costo elevado para su obtención y mantenimiento.

En el (Perú) no se han desarrollado proyectos de investigación acerca de máquinas para compactado de algún tipo de forrajes, habiendo consultado diversos repositorios, se rescata la tesis de Sanchez, W., y Coarite, X. (2017) denominada “MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE HENIFICACIÓN DE FORRAJE MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEGADORA – ACONDICIONADORA” en Puno - Perú, que explica la importancia de la conservación de los forrajes en nuestro país, resaltando la falta de tecnologías para el pequeño productor, en el proceso de cosecha y ensilado; es entonces que a través del cálculo mecánico, diseño de elementos, selección de sistemas de transmisión de fuerzas y cálculo de potencia transmitida, se consigue diseñar, construir y poner a prueba una máquina que utiliza la velocidad y potencia en desplazamiento de un tractor, siendo capaz así de segar una hectáreas en un rango de tiempo que va de 3 a 4 horas, esta tesis está enfocada en la recolección de forraje, dejándolo listo para la recolección, compactación y almacenado.

Si bien es cierto, existen investigaciones relacionadas a la compactación de forrajes a nivel internacional, en nuestro país el desarrollo de tecnologías para la cosecha, es escaso, ya que la mayoría de maquinarias son importadas, esta tesis contribuye al desarrollo, y da un enfoque de oportunidades de desarrollo en el sector agro ganadero.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

La evidente razón de esta investigación, es el actual y futuro enfoque de la macro producción de derivados de la mayoría de animales rumiantes del cual el hombre depende; la innovación tecnológica del país, ha dejado de lado a los pequeños productores en este sector. Estas actividades con bajos índices de producción, pero

con una alta oportunidad de desarrollo, necesitan innovación para mejorar la visión a futuro de los campesinos dedicados a la misma.

### **1.3.1. Forraje**

Se describe de esta manera a todas las especies herbáceas que sirven de alimento para los rumiantes.

### **1.3.2. Tipos de conservación de forraje**

La necesidad de conservar la calidad de un forraje, radica en querer mejorar el producto obtenido de los animales a los que se alimenta, y principalmente en preservar el alimento aún en los cambios de estaciones, que perjudica a la planta. Existen diferentes tipos de conservación, las cuales se presenta a continuación con su respectiva descripción:

#### **1.3.2.1. Henificación**

Es un método de conservación de forraje, se produce por una rápida evaporación en los tejidos de la planta, bajando su humedad inicial en un 80% a 85%, sin que se reduzca su calidad nutricional. El forraje debe ser almacenado en condiciones de mínima humedad y con ventilación suficiente, para que posteriormente sea utilizado como alimento para los rumiantes. Hernán, F. (2013).

#### **Ventajas**

- Es económico y fácil de preparar.
- Permite aprovechar bien los pastos.
- Permite disponer de alimento para cuando hay escasez.
- Dura mucho tiempo.

### **Desventajas**

- No se puede realizar en tiempo de lluvias.
- Requiere de mano de obra.

#### **1.3.2.2. Ensilaje**

El ensilaje es una manera en la que se puede preservar forraje, aprovecha los propios ácidos que produce la fermentación de la materia, para esto se le expone a humedades bajo condiciones anaeróbicas, luego son almacenados en silos para que se preserve la calidad y sabor del alimento.

### **Ventajas**

- Permite que el forraje se pueda cosechar, y almacenar cuando presente un mayor valor nutritivo sin muchos cambios en su calidad.
- Aprovecha excedentes y evita desperdicios de forraje durante la época de lluvias.
- Permite mantener niveles constantes de producción a lo largo del año.
- Asegura la disponibilidad de forraje de calidad durante la época de seca o inundación.
- Evita la degradación de praderas por sobrepastoreo.
- Permite producir más carne o leche en menor superficie de terreno.
- Evita la cosecha diaria de forraje en sistemas de corte y acarreo.

### **Desventajas**

- Se requieren equipos especializados para volúmenes grandes y la mecanización es costosa.
- Las pérdidas pueden ser grandes cuando no se hace en forma adecuada.
- Se requiere la selección de forrajes apropiados.
- Es una técnica que requiere de conocimientos especializados. Sosa, E., et al. (2009).

### 1.3.3. Alfalfa

Esta planta pertenece a la categoría de las leguminosas, su nombre científico: “Medicago Sativa”, sus orígenes son Asia Menor y sur de Caucaso, fue utilizada inicialmente para alimentar a los caballos y luego fue utilizada para alimentar a rumiantes en general, abarcando diferentes partes del mundo.

La alfalfa mantiene una mayor relación entre hectárea y cantidad producida, y es una de las leguminosas que mayor proteína contiene. Rica en calcio, proteína y caroteno, entre otros minerales y vitaminas. Se tiene que tener mucha atención con el proceso de cosecha, ya que tiende a perder muchas hojas, que es la parte más nutritiva, si no se corta apropiadamente. Vargas, G. (2015)

Entre sus principales características se encuentran:

- Resistente a las Heladas y Sequías.
- Es una planta.
- Su duración en el campo es de unos 3-4 años, practicándose varios cortes pro año.
- Si se siembran terrenos de alfalfa (véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se puede cultivar desde los 700 hasta 4.000 metros sobre el nivel del mar, en zonas con niveles de precipitación de 400 a 1.400 milímetros año, y con temperaturas de entre 6 a 25 grados centígrados.



*Figura 1: Terrenos de alfalfa*

**Fuente: Diario Correo, 2017**

En una entrevista para el diario “El Tiempo” en el artículo “Alfalfa: La RE5na de las Forrajeras”, Colombia, el Ingeniero Forestal Fredy, Z., dice: "El heno de alfalfa es de alto valor nutritivo, pues bien elaborado contiene hasta 20 por ciento de proteínas, calcio y vitaminas A y D". Dominguez, J., (2002).

La alfalfa, fue la mejor especie forrajera por su calidad, digestibilidad para animales y alta productividad, en el transcurso del tiempo han sido modificadas genéticamente, generando así nuevas y mejores especies de alfalfa. En nuestro país, se insertaron especies forrajeras para las zonas altas andinas, tales como:

### **1.3.3.1. Alfalfa Alto Andina – W350**

Esta alfalfa tiene las siguientes ventajas:

- La alfalfa W350 tiene una dormancia de 3.8, lo que le hace resistente a las sequias y heladas; cuando las circunstancias son perjudiciales pueden permanecer en el terreno en descanso hasta por 3 meses, luego brotar cuando las ambientes son propicios, en la sierra este periodo se da entre junio y octubre.
- Se ha verificado que esta alfalfa se desenvuelve con excelentes resultados entre los 2,600 y 4200 msnm, sola o en asociación con gramíneas, en terrenos con pH ideal de 5.5 a 6.8 Su laboreo sólo demanda agua de lluvia, con regadío fructifica mucho más.
- El periodo de duración en el terreno una vez situada y con un manejo apropiado es de entre los 15 a 20 años.
- Las ventajas en seco son de 100 tm/ha año de forraje verde y con aspersión 140Tm/ha año de follaje verde.
- Es un herbaje muy sustancioso, contribuye el 24% de proteínas, vitaminas, fósforo, potasio, cobre, hierro y nitrógeno que necesita un rumiante.
- Se adecua al pastoreo y a su vez permite utilizarlo en heno, ensilado y harina.
- El precio de sembrado de una hectárea de alfalfa oscila entre S/.2000.00 y S/.2500.00.

En un informe generado por Cáritas Perú, Torres, H. (2011) afirma que la introducción de este cultivo ha permitido al Altiplano de Puno situarlo, de acuerdo al Ministerio de Agricultura (ver **Anexo 1**), en el segundo puesto entre las mejores zonas lecheras del país y ha demostrado que la producción de leche en las alturas, es factible, ya que se cuenta con vacas que dan 30 litros diarios de leche en dos ordeños.

Es un estudio del sistema integrado de estadística agraria - SIEA, muestra los valores de producción de alfalfa por región/provincia de los años 2016 -2017. Observando con mayor índice de producción al departamento de la libertad, en el norte de nuestro país. (**Anexo 2**: Alfalfa por región y provincia según variables productivas, IV trimestre 2016/2017).

#### **1.3.4. Procesos para conservación y almacenado de forrajes**

A continuación, se describen los pasos que se llevan a cabo:

##### **1.3.4.1. Siega**

Con este trabajo se inicia cualquier proceso de recolección, la siega se realiza para separar el tallo de la raíz, que permanece unida al suelo, en toda el área de cultivo.

El proceso de la siega se puede llevar a cabo de dos formas, artesanalmente con una hoz, además de estas existen dos tipos de segadoras que destacan como opciones las que constan de una barra cortante son las clásicas barras guadañadoras o segadoras, que por mucho tiempo han sido las principales máquinas de siega usadas para esta labor, arrastradas por animales, conectadas de lado a un tractor, o más modernamente autopropulsadas (motosegadoras y cosechadoras de forraje).

Sin embargo, las segadoras alternativas están quedando obsoletas para la agricultura moderna, con la llegada de las segadoras rotativas (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) Una de las primordiales razones es que las alternativas, cuentan con una velocidad de trabajo bastante inferior a lo que una segadora rotativa podría ofrecer.



*Figura 2: Secadora rotativa*

**Fuente: Hernández, D., 2016**

Los trabajos de siega conviene ejecutarlos después de la salida del sol, una vez el follaje haya perdido algo de agua y la humedad de la noche. Con relación a la altura de corte, conviene hacerla a 5 cm del suelo. Para hacer más veloz el secado del forraje, haciendo que haya una excelente circulación de viento libre a través del forraje segado.

En los forrajes cultivados como la alfalfa, el tiempo idóneo de corte es durante la aparición del nuevo rebrote basal.

#### **1.3.4.2. Secado o curación de hierba**

Este paso se realiza con el propósito de reducir la concentración de humedad a menos de un 20 %, tratando de obtener la mínima pérdida de hojas. Las primordiales causas que establecen la celeridad del secado en el heno a henificar son: la temperatura del clima, la cantidad, el tipo de ubicación de la hierba en la hilera y el tipo de planta.

La disminución de humedad se origina a través de las hojas, paralelamente el agua de los tallos se evapora en parte, posteriormente a su translocación a las hojas. El forraje como la Alfalfa es la especie que su tiempo de deshidratación es un poco más extenso que el de las gramíneas.

La preparación del forraje de esta manera, apresura el tiempo de desecación en más de un 20% y es un poco más eficaz cuanto mayor sea el contenido de agua de la

planta, ya que su primordial ventaja es acrecentar la rapidez de vaporización de humedad en los tallos.

El uso de deshidratantes como el ácido fórmico usado para apresurar el proceso de secado, ha sido probado en Inglaterra, no obstante, aun siendo el método seguro, su uso no es muy habitual en la henificación, sin embargo, sí en el ensilado. Barioglio, C., (2006).

Posteriormente a estos pasos, se prosigue a recoger la alfalfa con un rastrillo para su recolección y almacenado.



**Figura 3: Alfalfa deshidratada**

**Fuente: Barioglio, 2006**

#### **1.3.4.3. Empacado y transporte**

Después de obtener un forraje con humedad deseada, se procede a recoger, y al tratarse de un material de baja consistencia, tiene que ser compactado para optimizar el espacio de almacén y mejorar su transporte.

Este proceso se logra con una máquina llamada “empacadora”. Las de baja producción o tradicionales, prensan la Alfalfa dándole una forma prismática, Atan el prisma con sisal o alambre y lo vuelven a colocar en el terreno para que continúe la deshidratación. Con otros sistemas, de alta producción la paca es recogida inmediatamente, en forma de rollo, o prismáticos gigantes.

## Enfardadoras prismáticas convencionales

Las enfardadoras prismáticas convencionales (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) producen fardos de dimensiones, 0,46 m x 0,36 m x 1,30, Peso, 20 a 30 kg, densidad 115 a 120 kg/m<sup>3</sup> 150 a 300 fardos/ha con 20% de humedad, hasta 600 fardos / ha bajo riego (Pastura de alfalfa).



*Figura 4: Fardos de alfalfa prismáticos convencionales*

Fuente: Diario El Liberal, 2010

## Roto enfardado

Las Dimensiones de cada rollo constan de un diámetro regulable desde los 0,8 m a 1,8 m. El Ancho del rollo dependerá del modelo de máquina de 1,2 m a 1,5 m. Peso máximo (de acuerdo al material enfardado) hasta 1.100 k g con un 20 a 25 % de humedad. Pesa más un rollo de alfalfa que uno de rastrojo. Densidad del rollo (aproximada): 200 a 260 kg/m<sup>3</sup> En una pastura, se obtienen de 4 a 6 rollos por hectárea. A continuación, se muestra un rollo de forraje.



*Figura 5: Rollo enfardado de alfalfa*

Fuente: Noticiero El Semiárido, 2015

## Fardos prismáticos gigantes

La **Figura 6** muestra un ejemplo de un fardo prismático gigante, estos tienen una densidad de 250 kg/m<sup>3</sup>. Las máquinas existentes de alta producción, tienen un proceso automatizado y rápido. Da unas dimensiones de Fardo: 2 m x 0,80 m x 0,50 m, 200 a 300 kg /fardo.



**Figura 6: Fardo prismático gigante**

**Fuente: Sargiotto, N. "MAQUINAC", 2014**

Esta investigación pretende elegir el mejor sistema que permita enfardar alfalfa, teniendo en cuenta la velocidad, cantidad de fuerza que puede aplicar, y además haga que la máquina sea fiable, de bajo costo de obtención y poco mantenimiento, para esto tenemos en cuenta los siguientes sistemas:

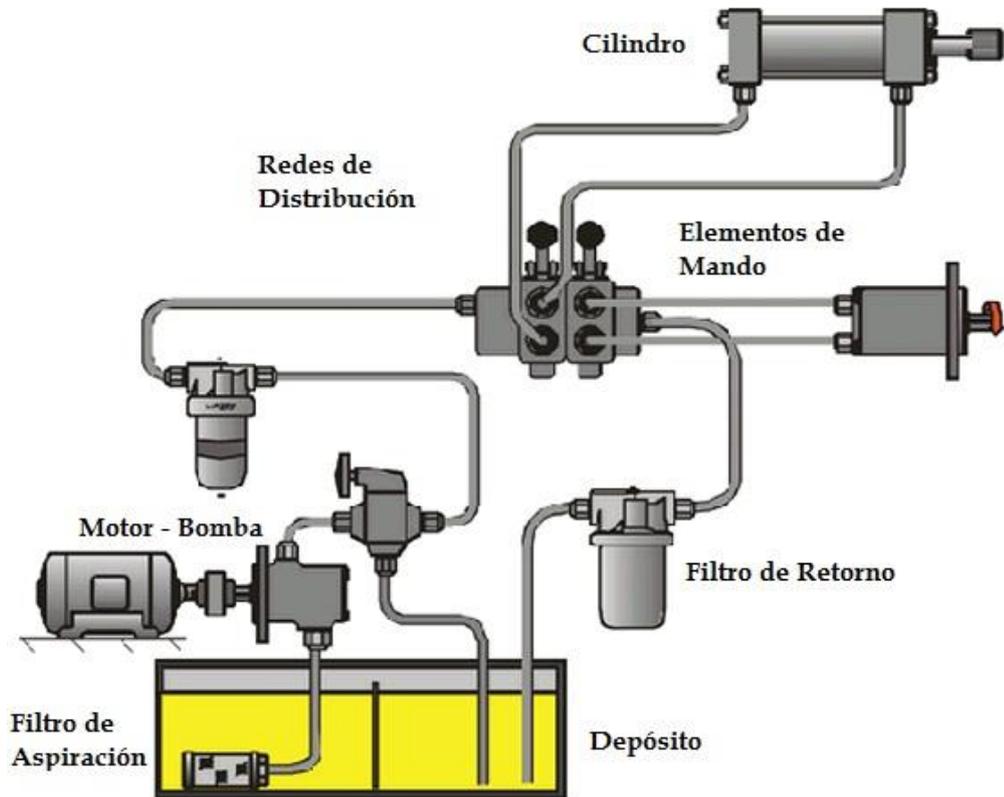
### **1.3.5. Sistema Hidráulico**

Conformado por mecanismos donde interviene un líquido.

#### **1.3.5.1. Principio de funcionamiento**

Los sistemas hidráulicos habitualmente están compuestos por un depósito, para almacenar el líquido de trabajo (acE5te en mucho de los casos); una bomba, que se encarga de hacer pasar el líquido en los circuitos a presiones definidas por el usuario que la manipula; una válvula elevadora, consignada a regular la presión del líquido en el sistema; una válvula distribuidora, maniobrada por el operante a través de una palanca para redirigir el flujo de líquido hacia las diferentes zonas de trabajo; uno o más cilindros y motores, capaces de desarrollar su trabajo aún en presiones elevadas; tuberías y conexiones, utilizadas para hacer circular el líquido desde el depósito de

acE5te hacia las partes de trabajo y permitir su posterior retorno; y un filtro, cuya única e importantísima misión es garantizar que se eliminen del líquido las partículas pequeñas que se desprenden a través de todo su recorrido (Ver *Figura 7*).



*Figura 7: Partes de un sistema hidráulico*  
Fuente: Guitar, D. “Estudios técnicos”

### 1.3.5.2. Ventajas

- Transmisión de fuerzas
- Posicionamiento exacto
- Arranque desde cero con carga máxima
- Movimientos homogéneos e independientes de la carga
- Buenas características de mando
- Protección de sobrecarga

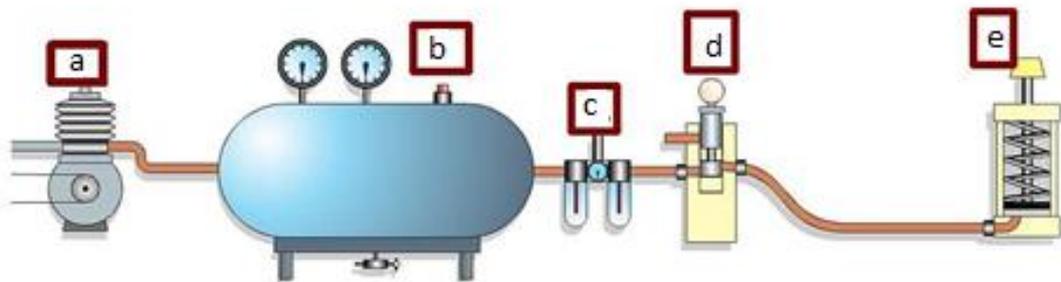
### 1.3.5.3. Desventajas

- Contaminación del entorno
- Sensibilidad a la suciedad
- Dependencia de la temperatura
- Costo de adquisición elevado

### 1.3.6. Sistema neumático

Los sistemas neumáticos son sistemas que utilizan el aire u otro gas como medio para la transmisión de señales y/o potencia. Dentro del campo de la neumática la tecnología se ocupa, sobre todo, de la aplicación del aire comprimido en la automatización industrial (ensamblado, empaquetado, etc.).

Un circuito neumático funcional consta de las siguientes partes (Ver *Figura 8*):



*Figura 8: Sistema neumático*

Fuente: Zambrana, A. "14\_Tecno\_15", 2015

#### 1.3.6.1. Compresor

Este absorbe aire de la atmosfera y aumenta su presión reduciendo el volumen en el que se encuentra, y se detiene al llegar a la presión deseada.

#### 1.3.6.2. Depósito

Se encarga de acumular el aire comprimido a altas presiones y lo enfría, este depósito contiene varios elementos que controlan las condiciones del aire.

#### 1.3.6.3. Filtro

Susodicho filtro, acondiciona el aire antes de introducirlo al sistema.

#### **1.3.6.4. Válvula**

Permite la circulación del aire comprimido ya sea para accionar el cilindro o para sacar el aire comprimido del sistema.

#### **1.3.6.5. Cilindro**

Es el que será accionado por el aire comprimido, puede ser de simple, o doble efecto.

##### **Ventajas**

- Cantidad: en cualquier lugar se dispone de cantidad de aireo
- Transporte: tiene facilidad a grandes distancias a través de tuberías
- Temperatura: no se afecta por los cambios de temperatura
- Almacenamiento: es posible almacenar en acumuladores desde el cual puede abastecer el sistema.
- Seguridad: no hay riesgoso
- Limpieza: no es sucio
- Velocidad: el aire comprimido es un medio de trabajo rápido

##### **Desventajas**

- Acondicionamiento: el aire comprimido tiene que ser acondicionado, ya que puede producirse un desgaste de los elementos mecánicos neumáticos.
- Fuerza: el aire comprimido es económico solamente hasta 20,000 y 30,000 Newtons según la carrera y la velocidad.
- Aire de escape: el escape de aire produce mucho ruido.
- Coste de adquisición, elevado.
- Coste de producción de aire elevado.
- Dificultad para el trabajo si se expone al polvo.

#### **1.3.7. Engranajes: Sistema multiplicador de fuerza**

El objeto de configurar engranajes a través del acoplamiento de los mismos, es transmitir una potencia. La transmisión dada por el contacto directo entre engranajes es determinada por la “relación de transmisión” ( $i$ ) que, a su vez, es el cociente entre el número de dientes del conducido y del engranaje motor,  $i = \frac{Z_c}{Z_m}$ , o también puede estar en función de la velocidad angular, que es el cociente entre la velocidad de salida y la de entrada,  $i = \frac{\omega_s}{\omega_e}$ , el resultado de la división definirá lo siguiente:

Si  $i < 1$ , Se denomina como un mecanismo reductor.

Si  $i > 1$ , se denomina como un mecanismo multiplicador.

En el caso de un sistema multiplicador de fuerza, (BOROBIA, 2010) la relación de transmisión es mayor a 1, un ejemplo que se considerará para esta investigación es el tecla de cadena, en el que eleva potencialmente la fuerza que se aplica a la entrada, pero reduce la velocidad.

### 1.3.8. Definición de términos

**Máquina enfardadora:** También conocido como empacadora, es una máquina agrícola empleada para recoger alguna especie de plantación y comprimirlo en fardos para luego ser atados en hilos.

**Fardo de alfalfa:** Es un forraje natural que conserva las cualidades de la alfalfa, mayormente tiene representación cuadrangular y es sujeta por hilos.

**Ganadería:** Es una actividad económica que se basa en el criado de ganado y comercio de este.

**Forraje:** Es la hierba seca o verde que se emplea como alimento para el ganado.

**Empacado:** Es la acción de hacer pacas o paquetes en cualquier tipo de forma.

**Cultivo:** Es un ambiente plano o terreno que permite el sembrío de alimentos y/o vegetales.

**Capacidad:** Es la propiedad para poder contener una cantidad específica de algo respetando un límite establecido.

**Compresión:** Es la aplicación de fuerzas internas equilibradas a distintos puntos de un cuerpo con la intención de reducir su tamaño.

**Multiplicador de fuerza:** Es un mecanismo que permite incrementar la fuerza o torque de algún equipo o máquina.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuáles serán las dimensiones y características técnicas que tendrá la máquina enfardadora de alfalfa con capacidad de 50 kg?

#### **1.5. Justificación e importancia del estudio**

##### **1.5.1. Justificación Académica**

Realizar una investigación de este tipo de máquinas genera un antecedente de estudio para futuros trabajos, y más aún si en la actualidad es notorio la escasez de información sobre enfardadoras de alfalfa u otro tipo de planta. Este proyecto muestra un cálculo en ingeniería sin complejidad que puede ser tomado como referencia.

##### **1.5.2. Justificación Ambiental**

El mecanismo móvil a través de neumáticos livianos que tiene la enfardadora de alfalfa permite la no afectación al terreno por donde transite, cuidado así el ambiente y los alrededores. Además, al no emplear calor para realizar la compactación de la materia prima se está evitando la producción de residuos de hierba quemada.

### **1.5.3. Justificación Económica**

El desarrollo de esta investigación pretende ser una ventana hacia el desarrollo para los pequeños productores, brindarles una máquina económica respecto a las máquinas de alta producción existentes, que aumente la generación de su producto, darle un valor agregado al mismo, y disminuir sus gastos en la mano de obra.

### **1.5.4. Justificación Social**

En la idealización de un macro desarrollo, se crean tecnologías para facilitar cada proceso, es así como se inventan y existen máquinas capaces de trabajar con grandes hectáreas de terreno, produciendo en masa, pero se deja de lado la innovación para aquel productor pequeño que podría tener las capacidades para ver un panorama amplio y lleno de oportunidades en la labor que desempeña, es por eso que esta investigación pretende dar un punto de apoyo para aquel productor de forraje de alfalfa, que puede mejorar su producción y crecimiento laboral.

## **1.6. Hipótesis**

No aplicable para este tipo de investigación.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Diseñar una máquina enfardadora de alfalfa con la capacidad de compactar fardos de hasta 50 kg, con dimensiones especificadas por los pequeños productores de la zona norte del Perú.

### **1.7.2. Objetivos Específicos:**

- Seleccionar el concepto de solución más óptimo para el diseño de la máquina a través de criterios ponderados.

- Definir la capacidad de la máquina para la obtención de fardos según el requerimiento.
- Generar el dimensionamiento y selección de equipos/sistemas de la máquina a través de cálculos de ingeniería y modelado por computadora.
- Analizar los elementos críticos de la máquina enfardadora usando herramientas CAD.
- Elaborar un análisis técnico económica de la máquina enfardadora.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Esta investigación, tiene una transcendencia aplicada alusiva al diseño de máquina para el empaquetado para pequeños productores, por lo tanto, el proyecto es de tipo aplicada e investigación cualitativa, ya que se utiliza un diseño orientado al proceso con procedimientos flexibles, con condiciones naturales para realizar el trabajo de investigación.

### 2.2. Población y muestra

No aplicable para este tipo de investigación.

### 2.3. Variables y operacionalización

#### 2.3.1. Variables

En la presente investigación se muestran dos tipos de variables, las variables independientes y las variables que dependen de estas, las variables dependientes.

##### 2.3.1.1. Variables Independientes

- Tiempo de compactación,  $t$  (s)
- Volumen de la alfalfa,  $V$  ( $m^3$ )

##### 2.3.1.2. Variables Dependientes

- Sistema de compactación
- Potencia,  $P$  (W)
- Velocidad del mecanismo de compactación,  $\omega$  (rpm)



*Figura 9:* Caja negra de variables  
Fuente: Zambrana, A. “14\_Tecno\_15”, 2015

### 2.3.2. Operacionalización

Tabla 1: Operacionalización de variables

	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA	ÍNDICE
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	Tiempo de compactación	Es la cantidad de segundos que demora en compactarse una masa según las dimensiones requeridas.	t	Tiempo (t)	s	t
	Volumen de la alfalfa	Es la cantidad de masa de alfalfa medida en metros cúbicos.	$V = L^3$	Volumen (V)	$m^3$	V
<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b>	Sistema de compactación	Es el mecanismo que generará la compactación de la alfalfa en un tiempo determinado.	----	----	---	---
	Potencia	Energía en una cantidad de tiempo que se tiene que aplicar para producir un trabajo.	$P = T \times \omega$	Torque (T)	N.m	T
				Velocidad angular ( $\omega$ )	rad/s	$\omega$
	Velocidad del mecanismo de compactación	Es la velocidad que tardará el sistema para generar un fardo de alfalfa.	$V = \frac{L}{T}$	Longitud (L)	m	L
Tiempo (t)				s	t	

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Abordaje metodológico**

#### **Analítico**

El objeto de estudio se descompone en partes iguales para poder obtener distintas problemáticas que se presenten en el proyecto, para esto es importante tener conocimiento sobre sus propiedades y riesgos.

En nuestro caso analizaremos el volumen de alfalfa que puede compactarse para obtener un correcto diseño de la máquina enfardadora en temas de capacidad.

#### **Deductivo**

Se revisará los distintos artículos científicos, papers, revistas científicas, tesis, trabajos de investigación, etc., que hablen sobre la inversión en estos tipos de máquinas y a la vez, sobre su diseño.

#### **Inductivo**

Con este método de estudio se espera observar de manera precisa y directa sobre la cantidad de alfalfa que puede tener cada fardo en un tiempo determinado.

### **2.4.2. Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Con la intención de llevar a cabo un trabajo de investigación que destaque, se utilizaron técnicas de recolección de datos que nos permiten obtener información valiosa y necesaria para poder lograr el cumplimiento de los objetivos de esta tesis. Las técnicas a emplear son:

#### **Observación**

Es una técnica valiosa que nos permitirá conocer, comparar, describir y registrar datos para la investigación. La observación se basa en el empleo de los sentidos para mirar los acontecimientos, personas laborando y la realidad social.

Se llevará a cabo visitas a pequeños productores en el sector agro-ganadero de la zona norte del Perú, las cuales nos ayudarán a determinar la problemática actual y necesidad con respecto a la producción de fardos de alfalfa. A través de estas visitas se ejecutará una observación minuciosa de todo lo que pasa con el cultivo de alfalfa.

### **Entrevistas**

La técnica de la entrevista se emplea para la obtención de datos e información. Esto consiste en la ejecución de preguntas hacia las personas que intervienen en la realidad problemática.

Las preguntas se ejecutarán a un grupo de agricultores ubicados en la ciudad de Guadalupe, Trujillo. Las preguntas serán fáciles de responder y de vital importancia para el avance del proyecto.

### **Información Bibliográfica**

Las distintas fuentes bibliográficas a emplear serán libros, tesis, páginas de internet, publicaciones, etc., esto con la finalidad de realizar una correcta evaluación para el diseño de la máquina enfardadora de alfalfa.

Esta técnica es básica y esencial que nos ayudará a entender más sobre el tema en cuestiones de diseño y cálculo.

## **2.4.3. Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **Ficha de observación**

En la ficha de observación se anotará todo lo que se pueda mirar durante las visitas a la ciudad de Guadalupe, además ira información asociada a la ruta para llegar al lugar, cantidad de agricultores disponible, las labores cotidianas, etc.

### **Hoja de entrevista**

El modelo de la entrevista que se aplicará puede observarse en el **Anexo 3**. Los resultados se mostraran en gráficos para una mejor interpretación (ver **Anexo 4**).

### **Ficha de información**

Toda la información que pueda ser recolectada e influya de gran manera para el desarrollo de la investigación será anotada en fichas en donde se mostrará la fuente y la fecha de publicación.

## **2.5. Procedimiento de análisis de datos**

Los procedimientos llevados a cabo para la recolección de datos e información se ejecutaron de acuerdo a las siguientes etapas:

### **Etapa 1: Elaboración de las entrevistas**

Se desarrollará un cuestionario para los agricultores en donde destacan preguntas asociadas a un futuro diseño de la máquina enfardadora.

### **Etapa 2: Determinación del cronograma de las entrevistas**

Para la realización de las entrevistas a los agricultores se organizarán las fechas de acuerdo a la disponibilidad de los mismos.

### **Etapa 3: Ejecución de las entrevistas**

Se llevará a cabo las entrevistas en base a la problemática actual y además, se espera obtener recomendaciones con respecto a la capacidad, tiempo de proceso y dimensiones que puede tener la máquina enfardadora de alfalfa.

### **Etapa 4: Identificación de la necesidad**

Se identificará la necesidad de los agricultores con respecto al empaquetado de fardos de alfalfa.

### **Etapa 5: Evaluación de la cantidad de alfalfa**

Se ejecutará las encuestas correspondientes a los agricultores para obtener información exacta con respecto a la cantidad de alfalfa que suele ser empaquetada.

### **Etapa 6: Evaluación del tipo de máquina**

Se evaluará el diseño de máquina más óptimo tomando en cuenta la inversión y un posible interés formal para ser construida.

### **Etapa 7: Evaluación del consumo de energía**

Se evaluará la cantidad de energía que puede consumir el mecanismo de compactación, esto con el fin de verificar la factibilidad del proyecto.



**Figura 10: Etapas del proceso para la recolección de datos e información**

**Fuente: Propia, 2020**

#### **2.5.1. Etapas del diseño**

Las etapas del diseño abarca el siguiente proceso:

**Reconocimiento de una necesidad:** Identificación de una situación real e indagar su solución más factible.

**Definición de un problema:** Necesidad de determinar la situación problemática de forma correcta, con la finalidad de evitar soluciones no fiables.

**Recopilación de información:** Para dar validez a lo mencionado anteriormente existen las fuentes de información como artículos, registros de patentes, documentos legales, informes de expertos, etc., que servirán como consultor externo.

**Conceptualización:** La conceptualización es una fase del proceso de diseño que nos posibilita definir las configuración, elementos, mecanismos, sistemas o procesos que al acoplarse formaran un diseño que pueda satisfacer la necesidad.

**Evaluación:** La evaluación implica cálculos matemáticos de forma analítica, aunque en la mayoría de casos se ve involucrado también alguna simulación del diseño empleando software en ingeniería o a través de un prototipo real.

**Comunicación del diseño:** La comunicación del diseño es la última parte del proceso de diseño, en las cuales se detalla los resultados hallados. Típicamente esta fase muestra una presentación oral que por lo general viene acompañada de un informe escrito que puede contener bosquejos, gráficos, planos, modelos o programación digital.



*Figura 11: Etapas del proceso de diseño*

Fuente: Propia, 2020

## 2.6. Criterios éticos

Los criterios éticos que se tendrán en cuenta para el desarrollo de este trabajo de investigación están basados en el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP, 1999) y el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2017).

### **Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**

El presente documento (ver **Anexo 5**) muestra los criterios éticos que debe tener en cuenta un ingeniero que labora dentro del interior del Perú para tener un buen desenvolvimiento y competencia leal dentro de la rama en relación con la sociedad, el ambiente, el públicos y los colegas. A continuación se menciona el Art 1:

“Art. 1 – los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.”

### **Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)**

Este documento consigna los lineamientos a tener en cuando se realiza investigación universitaria (ver **Anexo 6**). A través del presente código se detallan los criterios éticos para el uso de información y las políticas antiplagio. A continuación se menciona el Ar 1:

“Art. 1 – finalidad: El Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.”

## 2.7. Criterios de rigor científico

Para este proyecto de investigación se tendrá como base los criterios de validez, generalización, fiabilidad y replicabilidad.

**Fiabilidad:** Cuando se obtengan las medidas se verificará que éstas correspondan a una metodología científica y meticulosa.

**Generalización:** Se planeará y ejecutará adecuadamente la información extraída de las entrevistas.

**Replicabilidad:** Los protocolos y procedimientos que se llevarán a cabo estarán guiados a simplificar la repetición experiencial con la finalidad de animar la contrastación de resultados en trabajos de investigación posteriores.

**Validez:** Se hará el análisis adecuado al momento de escoger las variables relativas y relacionadas al problema de investigación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Selección del concepto de solución más óptimo para el diseño de la máquina

Todos los resultados encontrados y obtenidos serán detallados en tablas y figuras respetando el orden de los objetivos.

##### 3.1.1. Lista de exigencias

Para el diseño de la máquina se plantea establecer los parámetros o requerimientos que pueda satisfacer las funciones que debe realizar la máquina y que serán los que den forma y dimensión a los distintos mecanismos de los que estará compuesta.

La siguiente lista de exigencias fue desarrollada siguiendo las nociones del estado de la tecnología y además las necesidades planteadas como objetivos de la presente tesis. Se presentarán una serie de exigencias y características que deberá cumplir la máquina para su correcto funcionamiento y diseño.

En la **Tabla 2** se muestran los diferentes parámetros o requerimientos ordenados empezando desde las exigencias más básicas hasta la más importantes.

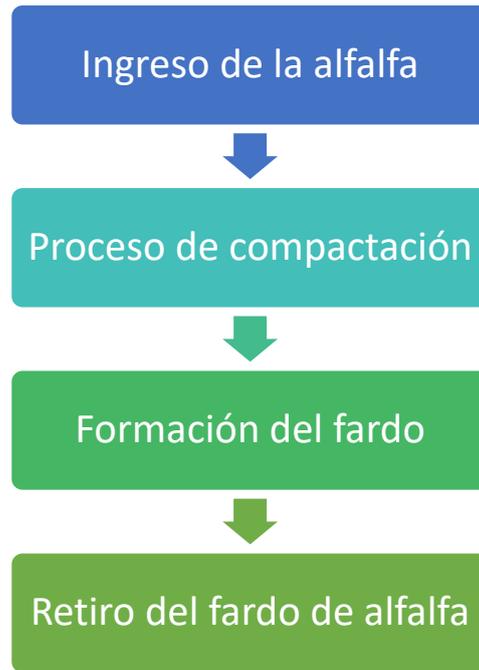
Tabla 2: Lista de exigencias

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>		
<b>PROYECTO</b>		
<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINA ENFARDADORA DE ALFALFA CON CAPACIDAD DE 50 KG PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES EN EL SECTOR AGROGANADERO DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL PERÚ</b>		
<b>No</b>	<b>Deseo (D) Exigencia (E)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>FUNCION PRINCIPAL</b>		
1	E	Compactar la alfalfa.
2	E	Proceso de compactación rápida.
<b>GEOMETRÍA</b>		
3	E	Las dimensiones de la máquina deberán ser las necesarias para una buena operación de trabajo.
<b>ENERGÍA</b>		

4	E	Se utilizará la energía eléctrica que lo suministrará un generador a gasolina a 220 V o 380 V, según las características del modelo elegido.
<b>MATERIA</b>		
5	E	Para su construcción deben usarse materiales con buenas propiedades de dureza, resistencia y tenacidad, además, que no contaminen el ambiente y la producción.
6	E	Debe ser usada la máquina para prensar este tipo de forraje.
<b>SEÑALES</b>		
7	D	La máquina debe contar con las instrucciones de uso y las respectivas señales de seguridad.
<b>SEGURIDAD</b>		
8	E	Debe contar con dispositivos de seguridad para evitar accidentes que dañen la máquina y afecten a los operarios.
<b>ERGONOMÍA</b>		
9	D	El operario debe ser capaz de suministrar la cantidad necesaria para evitar algún inconveniente con la máquina.
<b>CONTROL</b>		
10	E	Debe tener botonera de accionamiento para encendido y apagado.
<b>MONTAJE</b>		
11	E	Debe ser montado y desmontado por un personal capacitado.
<b>TRANSPORTE</b>		
12	D	La carreta debe tener un diseño que resista, y sus dimensiones apropiadas para poder ser transportada de un lugar a otro.
13	E	Esta operación debe exigir conocimientos técnicos especializados.
<b>USO</b>		
14	E	La máquina debe ser operada por personas con conocimiento previos en la materia y además, puede ser colocada y transportada en cualquier área dentro del campo de trabajo.
<b>MANTENIMIENTO</b>		
15	E	La máquina debe tener un acceso fácil a sus componentes.
16	E	Las piezas de recambio deben ser de fácil adquisición.
17	E	Debe tener protección contra la corrosión.
18	E	La frecuencia de mantenimiento debe ser aproximadamente cada 6 meses.
19	E	Los componentes de la máquina serán de fácil reemplazo (compra o fabricación).
<b>TERRENO</b>		
20	D	La máquina trabajará sobre un terreno que ya ha sido trabajado (arado, nivelado y/o rastrado).

### 3.1.2. Estructura de funciones

En la siguiente gráfica se muestra el diagrama de funciones, en el cual podemos examinar los diferentes pasos del proceso que relacionan entre sí:



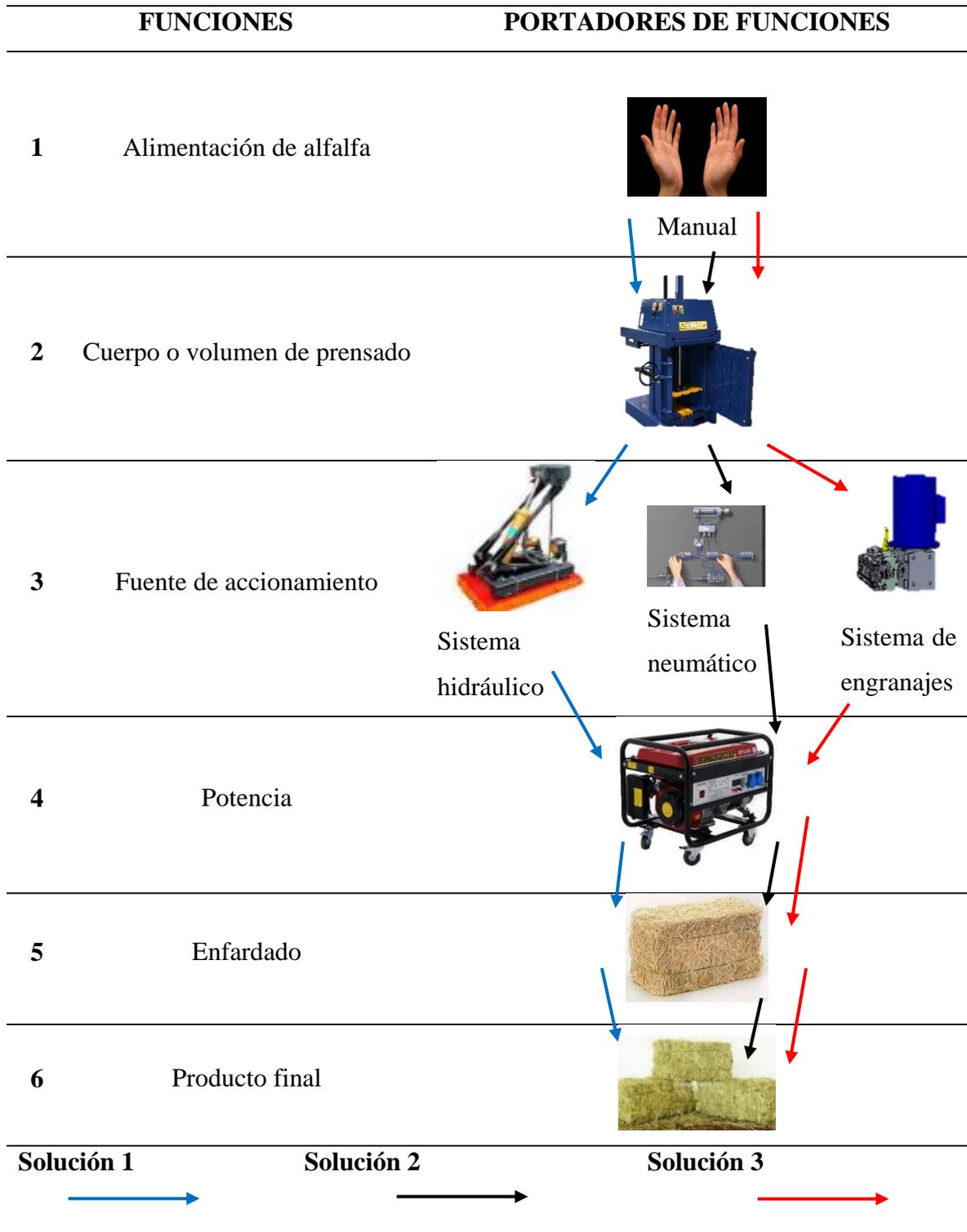
*Figura 12: Estructura de funciones*

**Fuente: Propia, 2020**

### 3.1.3. Matriz morfológica

Las mejores formas de realizar cada función para una solución están unidas por flechas del mismo tipo, en la siguiente tabla se muestra lo mencionado:

Tabla 3: *Matriz morfológica*



### 3.1.3.1. Criterios de evaluación de los conceptos de solución para el diseño de la máquina

Aplicando el diseño y método de una matriz morfológica se puntualizaron conceptos de solución óptimos para el diseño de la máquina empacadora de alfalfa.

La manera para definir esto será a través de una calificación en un orden del 0 al 4 para cada opción que tendrá la máquina seleccionado mediante 3 conceptos.

Para la evaluación previa de los conceptos de solución se seguirán los siguientes criterios:

**Factibilidad:** Contempla la probabilidad de que el concepto solución sea desarrollado en el contexto geográfico y social en el que se desea implementar.

**Comodidad:** Este criterio va relacionado con el concepto de ergonomía e interacción con el usuario. Mientras el diseño evite la fatiga y el excesivo movimiento del consumidor, estará mejor valorado.

**Facilidad de fabricación:** este criterio tiene mayor puntuación cuando los elementos que componen la máquina son de fácil adquisición o fabricación.

**Sencillez:** es un factor que mide el impacto visual de la presentación final de la máquina del sector objetivo. Está relacionado con la comodidad y la facilidad de fabricación.

**Facilidad de mantenimiento:** El mantenimiento del equipo deberá ser lo más sencillo posible. A mayor puntaje obtenido, el mantenimiento es más fácil.

**Eficiencia de diseño:** Se refiere a la capacidad del sistema de utilizar la energía entregada con las menores pérdidas posibles. A mayor puntaje la eficiencia será mejor

### 3.1.3.2. Conceptos de solución

#### ALTERNATIVA I

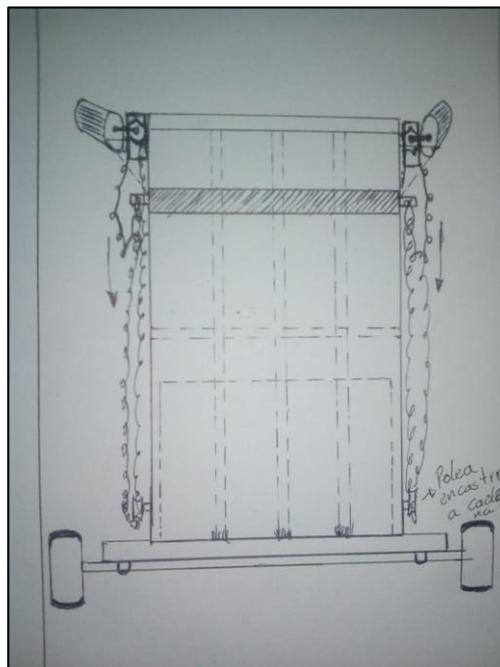
En la primera alternativa de diseño para la solución 3 se considera un cuerpo de máquina vertical, y con la plataforma de compactación con desplazamiento superior hacia la parte inferior, la fuerza del motor y el multiplicador de fuerzas pasarían por una cadena hacia la polea, tal que permitan el desplazamiento vertical de arriba hacia abajo.

Ventajas:

- El motor obviaría el peso de la plataforma para compactar.
- La plataforma de compactación, formará parte de la fuerza requerida para la acción a realizar.

Desventajas:

- Se tiene que considerar el uso de un elemento más de máquina “la polea”.
- El peso de la plataforma evadido en la compactación, tiene que ser considerado en el regreso a la posición inicial de trabajo.



**Figura 13: Alternativa de solución 1**

**Fuente: Propia, 2020**

## ALTERNATIVA II

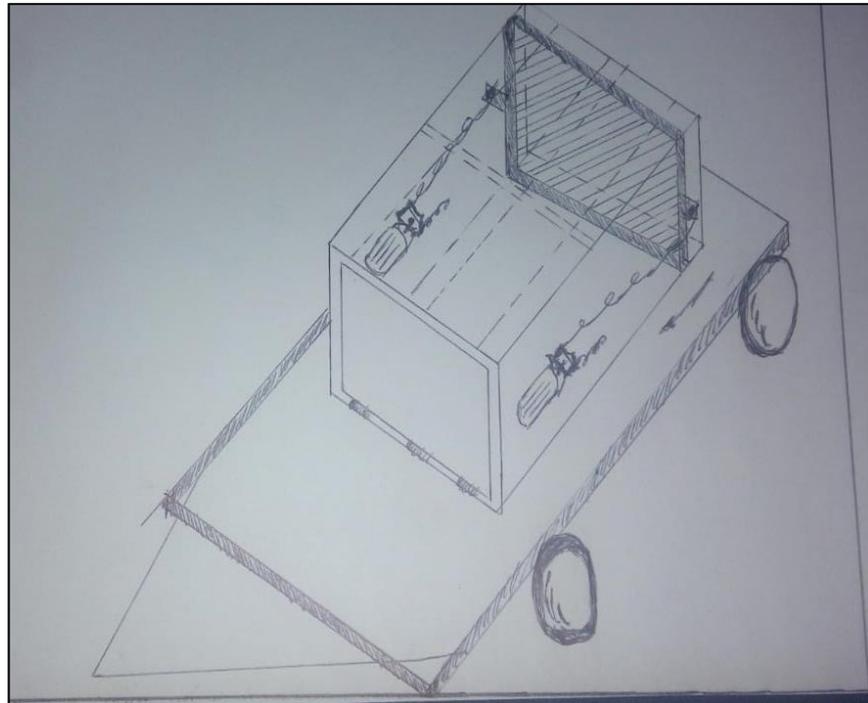
Se considera que la alternativa 2, podría ser en posición horizontal, y un desplazamiento de atrás hacia adelante, la plataforma de compactación al ser jalada tendrá que contar con un sistema que le permita desplazarse en la superficie de metal y estar correctamente colocada.

Ventajas:

- El sistema cuenta con pocas ventajas a su favor.

Desventajas:

- La fricción ya se vuelve considerable.
- Complejidad para permitir el desplazamiento de la plataforma de compactación.
- Su posición, ocasionará que el remolque sea mucho más amplio.



*Figura 14: Alternativa de Solución 2*

**Fuente: Propia, 2020**

### ALTERNATIVA III

En la alternativa 3, se vuelve a evaluar la posición vertical del cuerpo de la máquina, pero el desplazamiento de la plataforma será de la parte inferior hacia la superior.

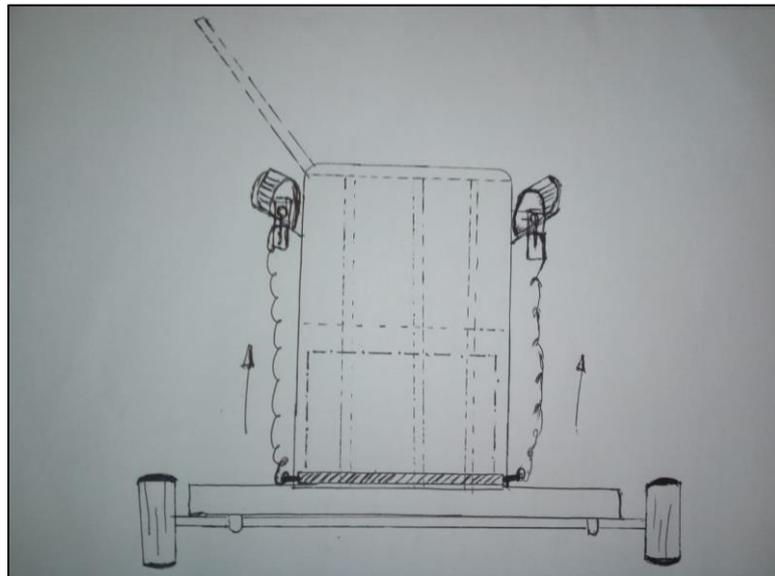
Ventajas:

- Conexión directa entre el moto-reductor, el multiplicador de fuerzas y la plataforma de compactado.
- No hay necesidad de usar una polea, por tanto, es un elemento que no se consideraría en el diseño ni en la evaluación económica.

Desventajas:

- El peso de la plataforma para compactar, se tendrá que considerar en la sumatoria de fuerzas que tendrá que vencer el sistema de potencia.
- Se tiene que tener cuidado con el dimensionamiento de la altura para el cuerpo de la máquina.

Concluyendo que el diseño de la Alternativa 3 es la que se llevará a cabo en esta investigación, debido a que es mejor en ventajas, comparado a las alternativas anteriores.



*Figura 15: Alternativa de Solución 3*

Fuente: Propia, 2020

### 3.1.3.3. Evaluación Técnica-Económica

Se realiza una evaluación técnico – económica por el método de evaluación de proyectos mecánicos según la metodología de diseño VDI 2225.

## EVALUACIÓN TÉCNICA

**Tabla 4: Evaluación técnica de los conceptos de solución**

<b>Diseño mecánico – evaluación de proyectos valor técnico</b>										<b>Proyecto</b>
<b>Proyecto: Diseño de una máquina empaquetadora de alfalfa con capacidad de 50 kg para pequeños productores en el sector agro-ganadero de la Zona Norte del Perú</b>										
P: puntaje de 0 a 4 (según escala de valores en VDI 2225) 0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien (ideal) g: el peso ponderado										
<b>Criterios de evaluación para el diseño</b>										
Nro .	Variantes	g	S1		S2		S3		Solución ideal	
			p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Rendimiento	3	3	9	2	6	4	12	4	12
2	Volumen	2	2	4	2	4	3	6	4	8
3	Diseño	2	2	4	2	4	3	6	4	8
4	Seguridad	2	2	4	2	4	3	6	4	8
5	Ergonomía	3	2	6	3	9	4	12	4	12
6	Fabricación	3	3	9	2	6	3	9	4	12
7	Estabilidad	2	2	4	2	4	3	6	4	8
8	Confiabilidad	3	3	9	3	9	4	12	4	12
9	mantenimiento	3	3	9	3	9	4	12	4	12
	control	3	3	9	2	6	4	12	4	12

<b>10</b>										
	Montaje	3	3	9	3	9	4	12	4	12
<b>11</b>										
	Influencia con el medio ambiente	2	2	4	2	4	3	6	4	8
<b>12</b>										
	<b>Puntaje máximo</b>			80		74		111		124
	<b>Valor técnico</b>			0.65		0.59		0.89		1.00

## EVALUACIÓN ECONÓMICA

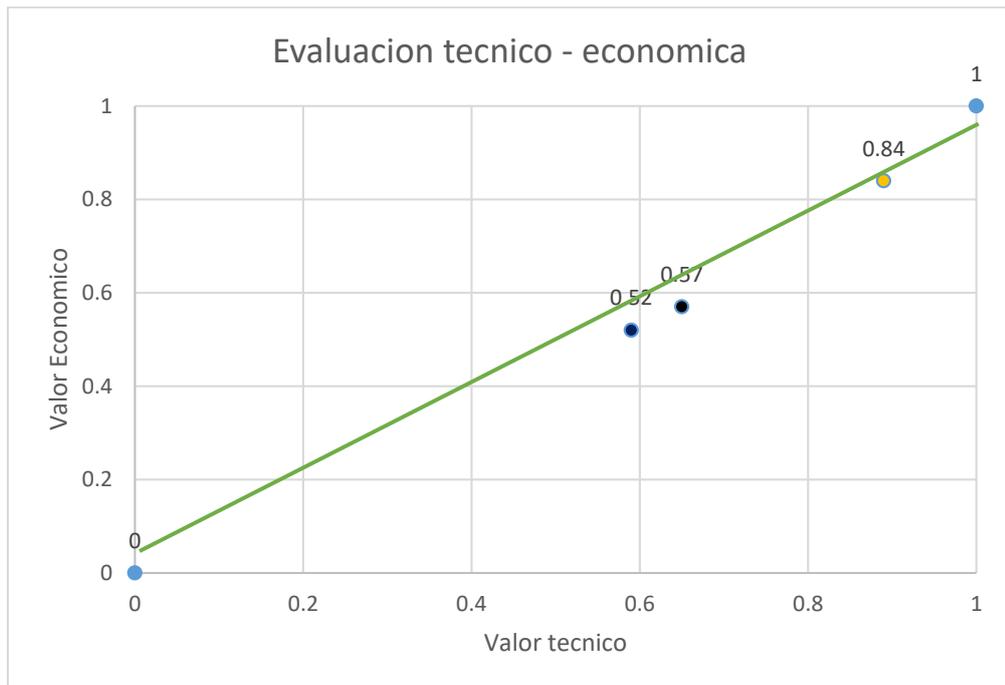
Tabla 5: Evaluación económica de los conceptos de solución

Diseño mecánico – evaluación de proyectos – valor económico										Proyecto	
<b>Proyecto: Diseño de una máquina empaquetadora de alfalfa con capacidad de 50 kg para pequeños productores en el sector agro-ganadero de la Zona Norte del Perú</b>											
P: puntaje de 0 a 4 (según escala de valores en VDI 2225) 0=No satisfice, 1= aceptación a las justas, 2=suficiente, 3=Bien. 4= muy bien(ideal) G: peso ponderado											
Criterios de evaluación para el diseño											
variantes		S1			S2			S3		Solución ideal	
Nro.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Costos de material	2	2	4	2	4	3	6	4	8	
2	Costos de montaje	3	3	9	2	6	4	12	4	12	
3	Costos de equipos	2	2	4	2	4	3	6	4	8	
4	costos de mantenimiento	2	1	2	1	2	4	8	4	8	
5	Costos indirectos	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
	transporte	2	2	4	2	4	3	6	4	8	
	<b>Puntaje total</b>			32		29		47		56	
	<b>Valor económico</b>			0.57		0.52		0.84		1.00	

**Tabla 6: Coordenadas cartesianas de los conceptos de solución**

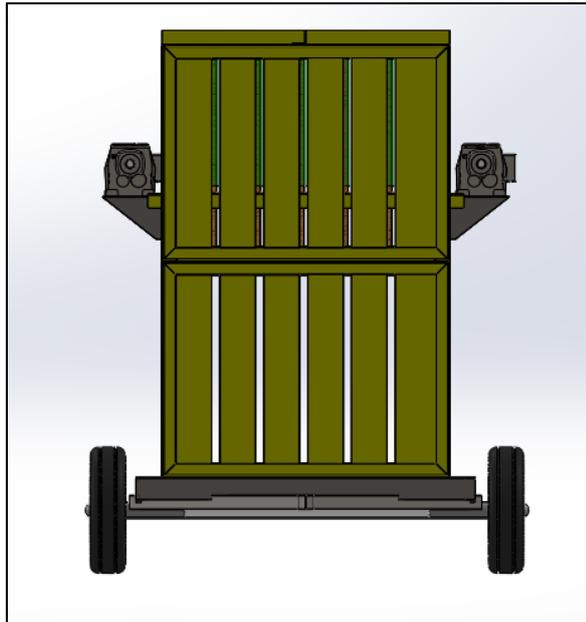
<b>Concepto de solución</b>	<b>Eje x (Valor técnico)</b>	<b>Eje Y (Valor económico)</b>
<b>Solución 1</b>	0.65	0.57
<b>Solución 2</b>	0.59	0.52
<b>Solución 3</b>	0.89	0.84

El resultado mostrado en la gráfica de la figura a continuación muestra que la solución 3 es la alternativa más óptima para el diseño de la máquina.



**Figura 16: Gráfica de evaluaciones**

**Fuente: Propia, 2020**



*Figura 17: Bosquejo del concepto de solución más óptimo*

Fuente: Propia, 2020

### 3.2. Definición de la capacidad de la máquina

Para definir la capacidad de la máquina es necesario hallar la densidad de la alfalfa, para esto se llevaron a cabo ensayos experimentales. Dichas prácticas se ejecutaron en un taller y se emplearon elementos como probetas (**Anexo 7**).

*Tabla 7: Ensayos experimentales de alfalfa*

APLICACIONES								
ENSAYO	MASA DE ALFALFA (KG)	MASA DE COMPACTADO (KG)	ALTURA INICIAL (M)	ALTURA FINAL (M)	AREA DE LA PROVETA (M <sup>2</sup> )	VOLUMEN INICIAL (M <sup>3</sup> )	VOLUMEN FINAL (M <sup>3</sup> )	FUERZA (N)
1	1.365	31.00	0.400	0.270	0.0491	0.01964	0.013257	304.11
2	1.365	66.00	0.400	0.185	0.0491	0.01964	0.0090835	647.46
3	1.365	102.50	0.400	0.140	0.0491	0.01964	0.006874	1005.53
4	1.365	133.50	0.400	0.102	0.0491	0.01964	0.00499744	1309.64
5	1.365	136.57	0.400	0.098	0.0491	0.01964	0.0048118	1339.72

Como se puede verificar se realizaron pruebas con diferentes pesos aplicados para la compactación de una masa constante de alfalfa ( $W_e = 1.365$  kg). Con los datos de los distintos ensayos se hallara la densidad de la alfalfa mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

**Ecuación 1:** *Fórmula de la densidad*

Donde:

m = Masa: 1.365 kg =  $W_e$

v = Volumen final de la alfalfa después de la compactación ( $m^3$ )

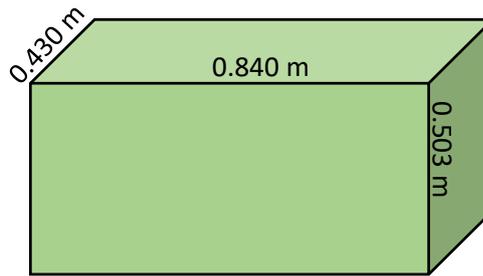
Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 8:** *Densidad de la alfalfa según pruebas*

<b>ENSAYO</b>	<b>DENSIDAD ALFALFA (<math>kg/m^3</math>)</b>
E1	102.964472
E2	150.272472
E3	198.574338
E4	273.139937
E5	283.677626

La densidad que se tomo como dato para obtener la capacidad de la máquina fue la que se hallo a través del mayor peso de compactación aplicada ( $W_c = 136.57$  kg). Con está prueba (E5) se verifico que la alfalfa aún poseía buena respiración para su conservación y no presentaba pérdidas de humedad.

Con el valor de la densidad podemos calcular el peso del fardo con las dimensiones ya estandarizadas según las especificaciones de los agricultores:



**Figura 18: Dimensiones del fardo de alfalfa**

**Fuente: Propia, 2020**

El volumen del fardo queda dado por la siguiente ecuación:

$$V_F = L \times A \times H_F$$

**Ecuación 2:** Ecuación de volumen de un cuadrado

Donde:

$V_F$  = Volumen del fardo ( $m^3$ )

L = Largo: 0.840 m

A = Ancho: 0.430 m

$H_F$  = Altura del fardo: 0.503 m

Entonces:

$$V_F = 0.840 \times 0.430 \times 0.503 = 0.1816 \text{ m}^3$$

Con la densidad y el volumen correspondiente se halla la masa o capacidad de la máquina reordenando y reemplazando valores en la **Ecuación 1**:

$$W_f = \rho \times V_F = 283.68 \times 0.1816 = 51.5 \text{ kg} \cong 50 \text{ kg}$$

### 3.3. Dimensionamiento y selección de equipos/sistemas

Para dimensionar y seleccionar los materiales, equipos y sistemas es necesario calcular los parámetros de funcionamiento. Un dato necesario es la fuerza de compactación, la cuál se halla de la siguiente manera:

$$F_c = W_c \times g$$

**Ecuación 3:** *Fórmula de fuerza*

Donde:

$F_c$  = Fuerza de compactación (N)

$W_c$  = Masa para la compresión: 136.57 kg

$g$  = Gravedad: 9.81 m/s<sup>2</sup>

Entonces:

$$F_c = 136.57 \times 9.81 = 1339.75 \text{ N}$$

Tendremos en cuenta que la fuerza con la que se compacta la alfalfa, depende directamente del peso a compactar y no del volumen en el que esté contenido, por tanto obtendremos el cociente entre el peso total del fardo ( $W_f$ ) y el peso de la alfalfa usada en la experimentación ( $W_e$ ).

$$\frac{W_f}{W_e} = \frac{51.5}{1.365} = 37.73$$

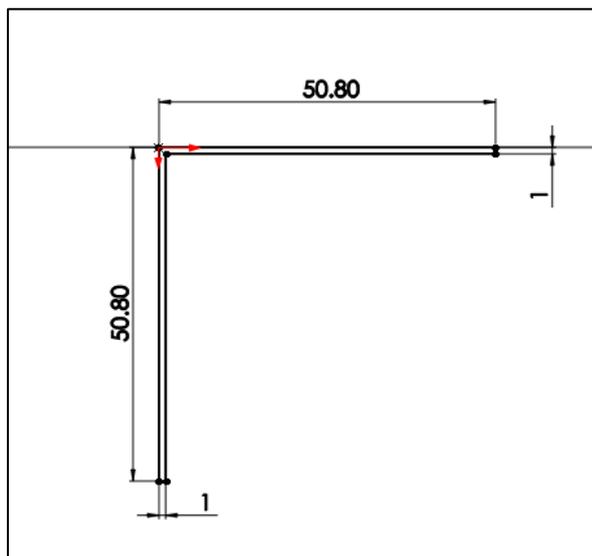
El valor de 37.73 representa la cantidad de veces que tendrá que aumentar la fuerza de compactación ideal en experimentación ( $F_c$ ), para poder compactar los 51.5 kg de alfalfa. Por lo que tendremos:

$$F_1 = F_c \times 37.73$$

$$F1 = 1339.75 \text{ N} \times 37.73 = 50\,547.34 \text{ N}$$

### 3.3.1. Determinación del factor de seguridad para la configuración estructural de la plataforma de compactado

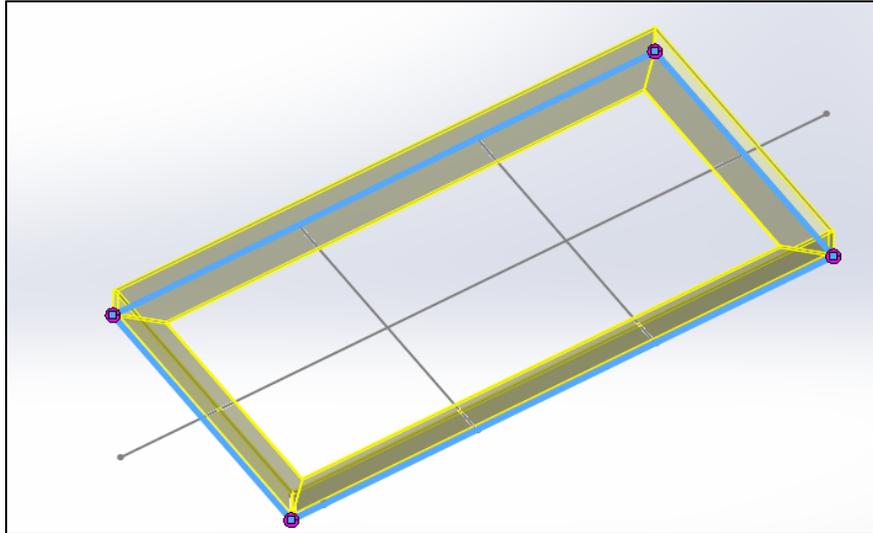
En este proyecto de diseño, para la plataforma de compactado y el cuerpo de la máquina se elegirá un material como el Acero ASTM A36. A continuación se muestra el estudio de la configuración estructural de la plataforma para compactar, y su factor de seguridad.



*Figura 19: Perfil del ángulo*

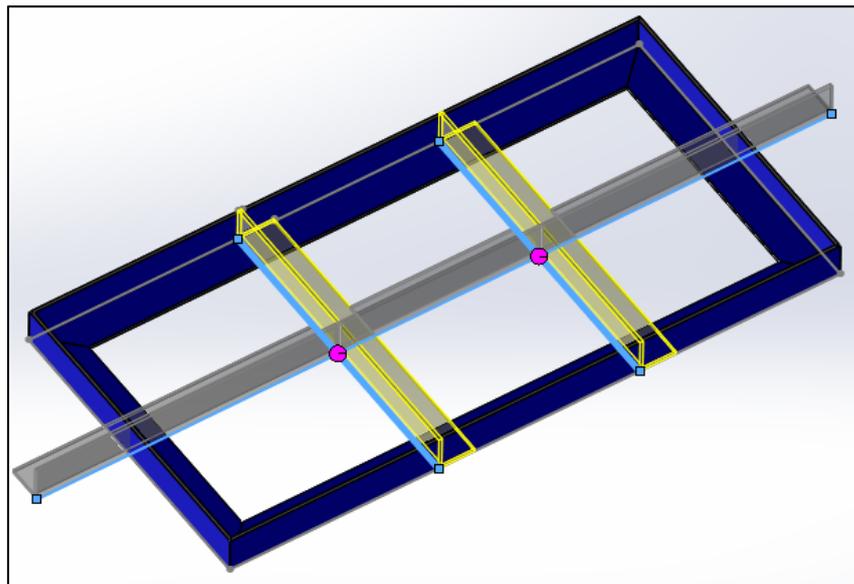
Fuente: Propia, 2020

En la *Figura 19* se muestra el perfil estructural laminado L2'' x 2'' x 1 mm seleccionado del catálogo de Aceros Estructurales de la ficha de ángulos estructurales laminados (Ver **Anexo 8**), con el cuál se conformará la configuración de la plataforma de compactación, como se muestra en la *Figura 20* y *21*:



**Figura 20:** Configuración de plataforma de compactado

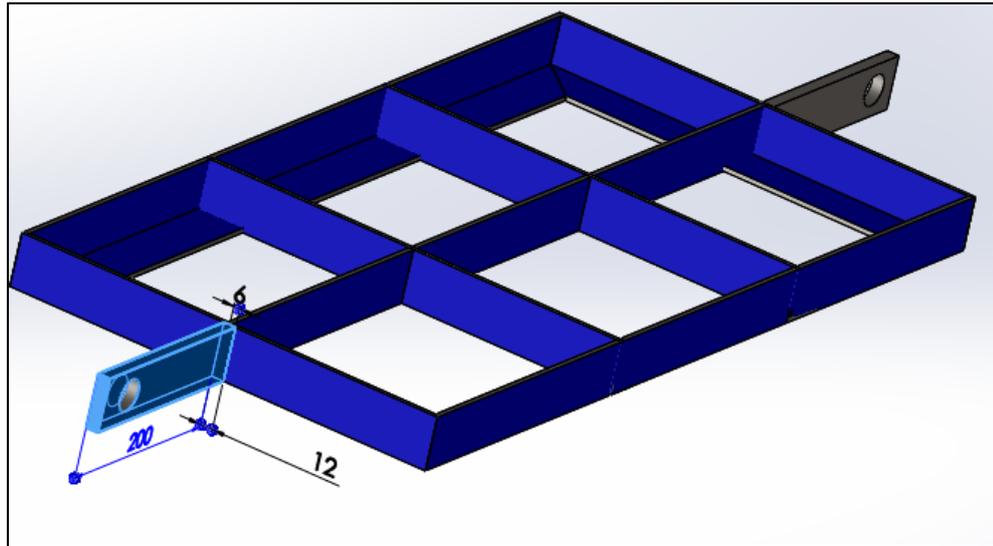
**Fuente:** Propia, 2020



**Figura 21:** 3D de plataforma de compactado

**Fuente:** Propia, 2020

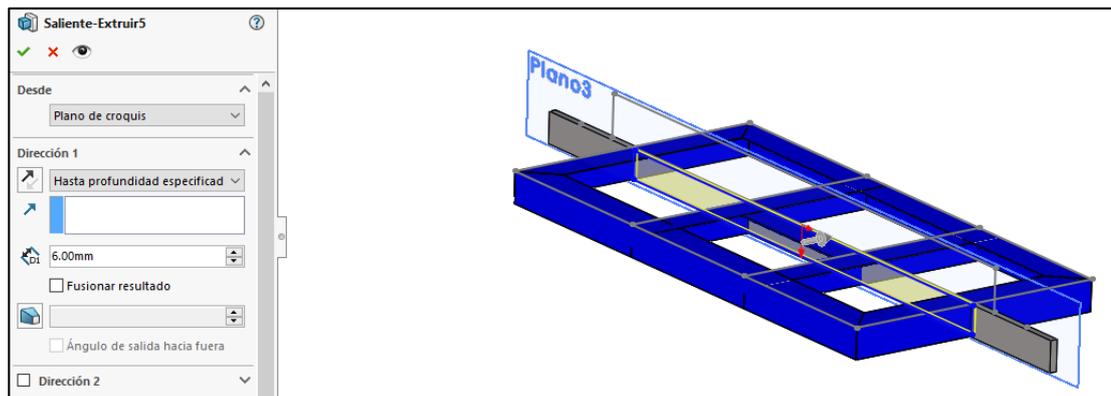
Para mejorar la sujeción de la plataforma hacia las cadenas de levante, se ha colocado dos barras del mismo material de 12 mm de espesor, tal como se muestra a continuación:



**Figura 22: Mejora de sujeción en estructura de compactado**

**Fuente: Propia, 2020**

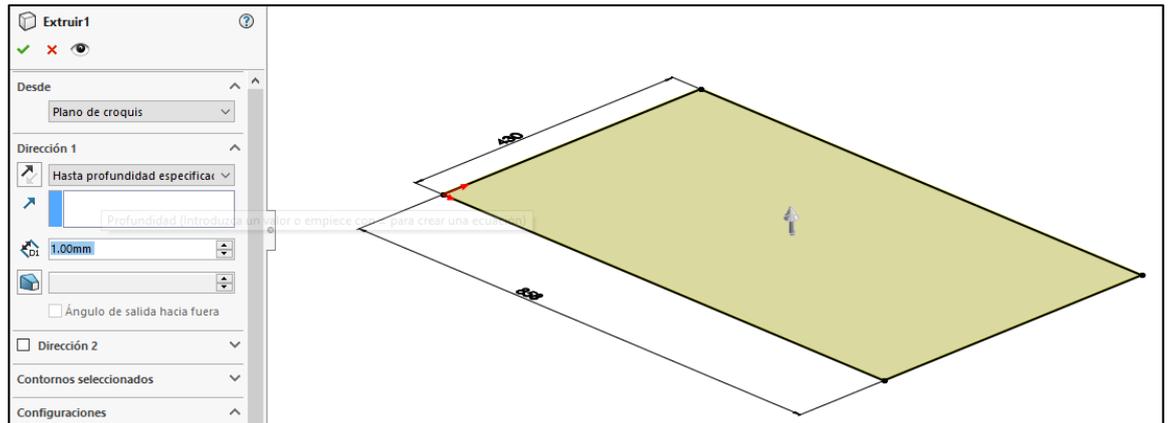
En la siguiente imagen se muestra un refuerzo añadido en la parte inferior de la plataforma de 6 mm de espesor, con el cual se pretende mejorar el factor de seguridad.



**Figura 23: Refuerzo de plataforma**

**Fuente: Propia, 2020**

Para tapar la configuración y darle aún más resistencia, es necesario considerar dos planchas estriadas de acero ASTM A36 de 1 mm de espesor.



**Figura 24: Planchas estriadas**

**Fuente: Propia, 2020**

## ANÁLISIS POR COMPUTADORA

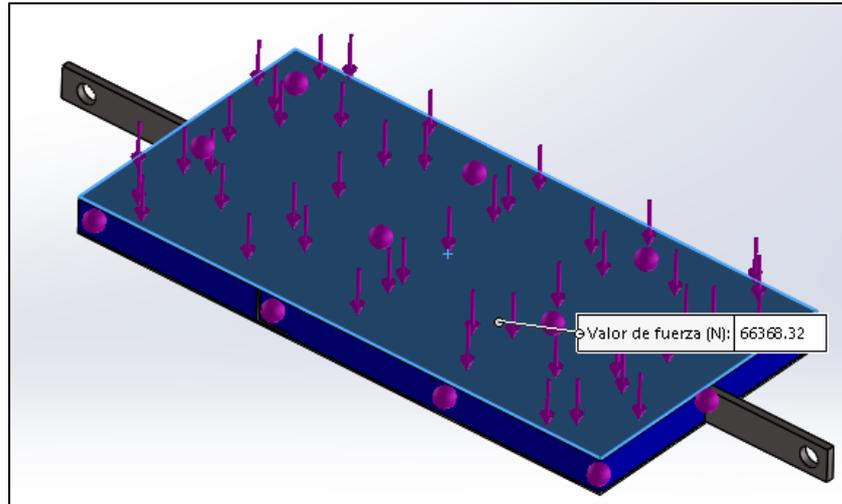
Para la simulación tendremos que considerar las propiedades físicas del Acero A36 tal como el límite a la fluencia de  $2\ 550\text{ kg/cm}^2$  entre otras propiedades que se ingresarán al software, y además la carga de  $66\ 368.32\text{ N}$  a la que se someterá la plataforma, dicho valor se obtiene de la siguiente manera:

- Fuerza necesaria para la compactación =  $50\ 547.34\text{ N}$
- Fuerza derivada del peso del fardo =  $505.215\text{ N}$
- Factor de seguridad =  $30\% = 1.3$

Entonces tendremos una sumatoria de fuerzas que van a interactuar en la plataforma y que multiplicaremos por el factor de servicio:

$$(50\ 547.34 + 505.215) * 1.3 = 66\ 368.32\text{ N}$$

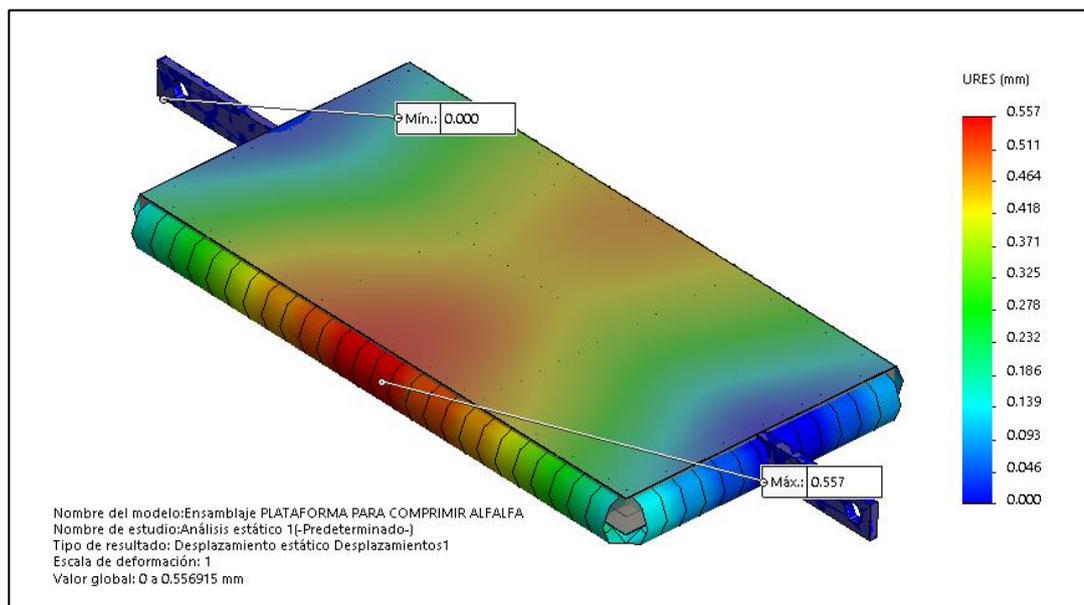
La distribución de fuerzas se muestra de la siguiente manera:



**Figura 25: Fuerza distribuida en la plataforma**

**Fuente: Propia, 2020**

A continuación se mostrará una imagen acerca del desplazamiento de la plataforma por consecuencia de las fuerzas que accionan sobre ellas, es de una décima de milímetro, lo que indica que dicha configuración tendrá una deformación mínima si se le sobre carga hasta un 30% más para lo que fue diseñada.

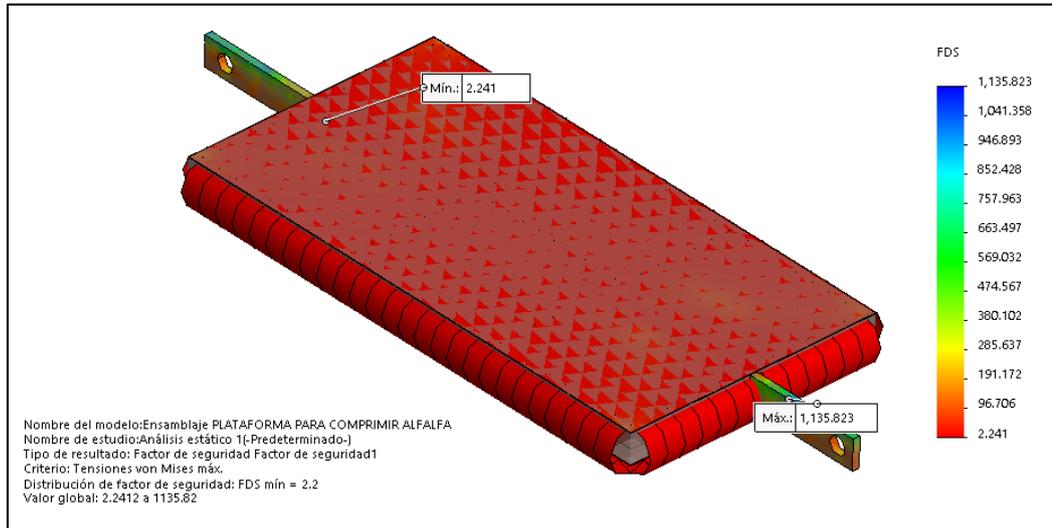


**Figura 26: Detalle de deformación**

**Fuente: Propia, 2020**

### 3.3.2. Determinación del factor de seguridad a través de la simulación

Del análisis con el software CAD SolidWorks se obtuvo que el factor de seguridad en el límite de ruptura en la plataforma tiene un valor de 2.2.



**Figura 27: Factor de seguridad de plataforma**

**Fuente: Propia, 2020**

Con esto se concluye, que al ser un factor de seguridad muy mayor a 1, esta configuración difícilmente fallará a la carga a la que se someterá.

### 3.3.3. Determinación del factor de seguridad del cuerpo de la enfardadora

Para el dimensionamiento de la altura interior de la máquina enfardadora, qué es el espacio para la compactación, se considera cumplir los siguientes requisitos:

- La altura debería ser menor al promedio de una persona, teniendo como referencia 1,60 m.
- El volumen debe ser capaz de aproximar el peso total del fardo a 50 kg.

Entonces, para este proyecto de diseño se considera que la altura interior debe ser aproximadamente 6% menos que la altura promedio de una persona, para que el llenado sea cómodo, entonces tenemos los siguientes datos:

L = Largo: 0.840 m

A = Ancho: 0.430 m

Área del fardo ( $A_F$ ) =  $0.361 \text{ m}^2$

$$\text{Altura } (h) = 1.6 \text{ m} - (1.6 \text{ m} \times 6\%) = 1.5 \text{ m}$$

Entonces el volumen interno  $V_i$  de la máquina se puede hallar con la **Ecuación 2**:

$$V = A_F \times h$$

$$V_i = 0.361 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ m} = 0.54 \text{ m}^3$$

La densidad aproximada de la alfalfa sin previa compactación ( $\rho_a$ ), será calculada a través del cociente del peso de la alfalfa de ensayo ( $W_e$ ), y el volumen de la probeta ( $V_p$ ).

$$\rho_a = \frac{W_e}{V_p}$$

$$V_p = A_p \times h_p$$

Donde:

$A_p$  = Área de la probeta:  $0.0491 \text{ m}^2$

$h_p$  = Altura de probeta: 0.400 m

$$V_p = 0.0491 \text{ m}^2 \times 0.400 \text{ m} = 0.01964 \text{ m}^3$$

Por tanto:

$$\rho_a = \frac{1.365 \text{ kg}}{0.01964 \text{ m}^3} = 69.50 \text{ kg/m}^3$$

Con los datos del volumen interior ( $V_i$ ) y la densidad previa de compactación ( $\rho_a$ ), podemos obtener el peso de alfalfa total que habría en ese espacio ( $W_1$ ).

$$W_1 = V_i \times \rho_a$$

$$W_1 = 0.54 \text{ m}^3 \times 69.50 \text{ kg/m}^3 = 37.51 \text{ kg}$$

El peso de alfalfa en el volumen total interior de la máquina ( $W_1$ ), es de 37.51 kg, esto genera que para el diseño se considere 2 etapas para la obtención del fardo, en la segunda etapa se indicará la altura hasta donde debe ser llenado para obtener el peso final ( $W_f$ ) de 50 kg.

$$W_f = W_1 + W_2$$

**Ecuación 4:** *Peso total de alfalfa*

Despejando:

$$W_2 = W_f - W_1$$

Donde:

$W_2$  = Peso que debe ser agregado de alfalfa suelta (kg)

$$W_2 = 50 \text{ kg} - 37.51 \text{ kg} = 12.49 \text{ kg}$$

Si el peso que debe ser agregado ( $W_2$ ) es igual a 12.49 kg, podemos definir la altura que falta llenar ( $h_2$ ) en la segunda etapa de compactación. Podemos despejar la altura de la fórmula presentada en la **Ecuación 1**.

$$W_2 = V \times \rho$$

$$W_2 = (A \times h) \times \rho$$

$$h_2 = A \div (W_1/\rho_a)$$

Donde:

$h_2$  = Altura de segundo llenado (m)

$A_F$  = Área del fardo:  $0.361 \text{ m}^2$

$W_2$  = Peso restante: 12.49 kg

$\rho_a$  = Densidad previa de compactación:  $69.50 \text{ kg/m}^3$

Reemplazando valores:

$$h_2 = 0.361 \text{ m}^2 \div \left( \frac{12.49 \text{ kg}}{69.50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 0.498 \text{ m}$$

Con eso se deduce que la altura que falta llenar ( $h_2$ ) es de 0.498 m, pero la marca en la máquina que indica hasta donde debe ser llenado en la segunda etapa ( $h_{t_2}$ ) se define por el resultado de la sumatoria de la altura del fardo de la primera etapa ( $H_F$ ), y la altura que falta llenar ( $h_2$ ):

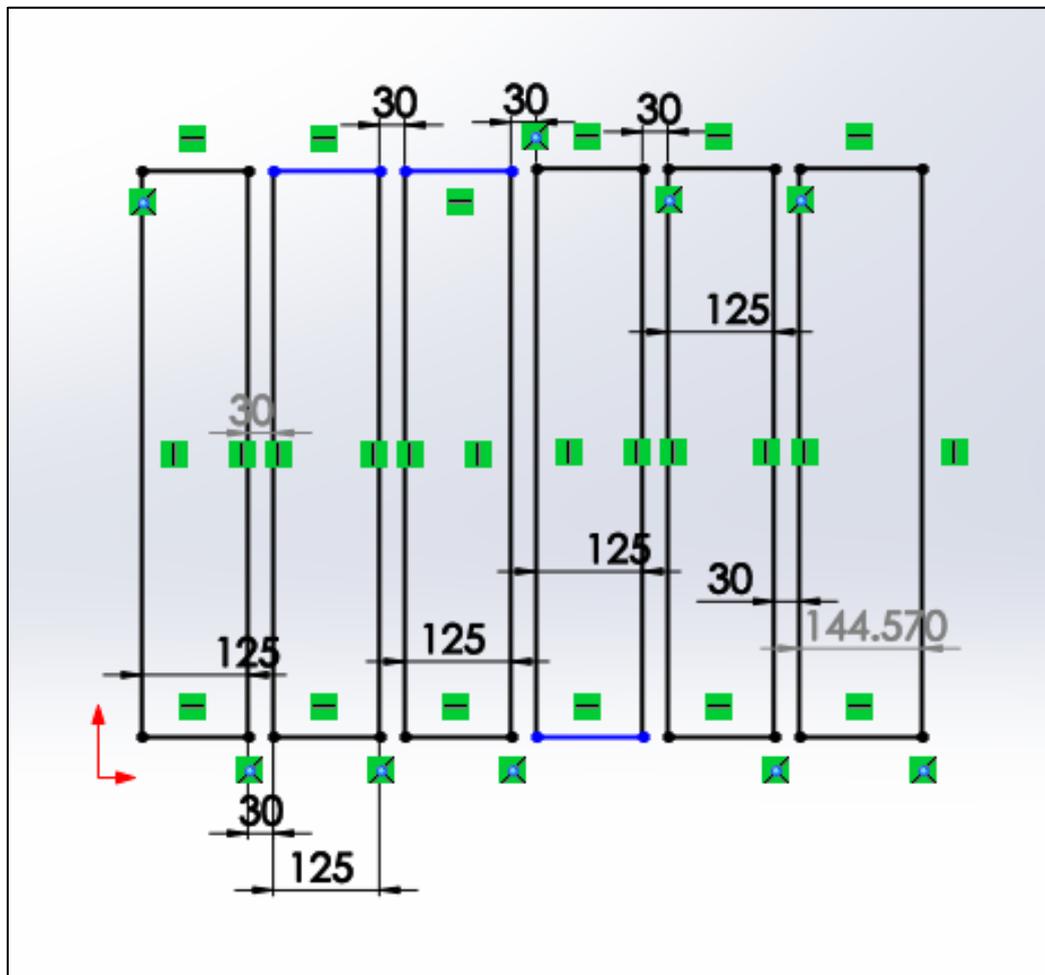
$$h_{t_2} = H_F + h_2$$

**Ecuación 5:** *Altura de llenado*

$$h_{t_2} = 0.503 \text{ m} + 0.498 \text{ m} = 1.0008 \text{ m}$$

En el modelado a través del Software SolidWorks, se considera una configuración con Acero ASTM A36, para los lados frontal y posterior del cuerpo de la plataforma, se diseñan marcos con barras de planchas de Acero anteriormente mencionado de 6mm de espesor, cada barra es de 125 mm de ancho y 674.40 mm de longitud y con una separación de 30 mm entre ellas, debido a que se estima que por estas ranuras

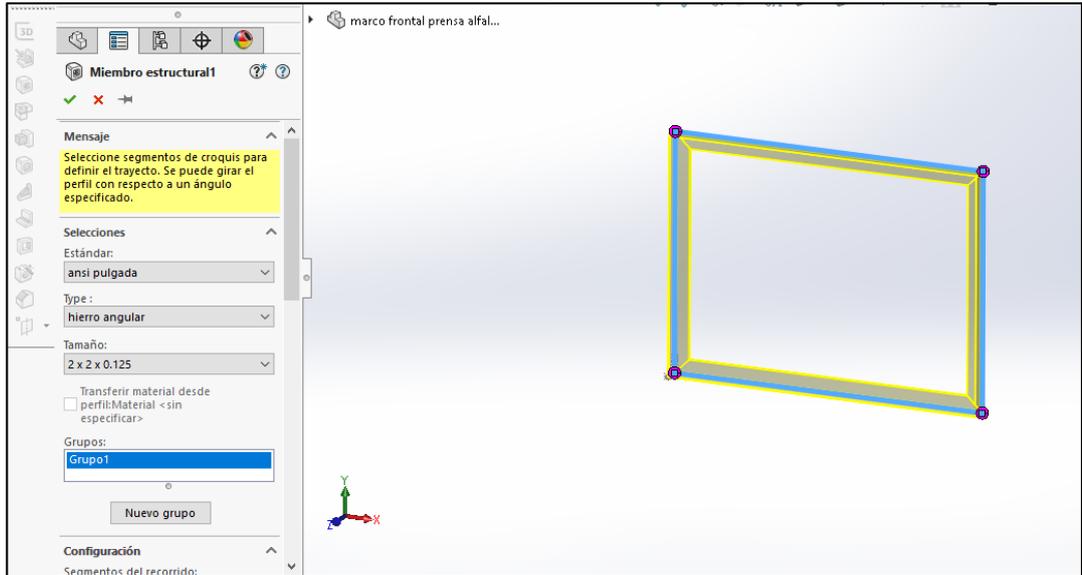
pasará el alambre para amarrar el fardo compactado, el diseño se muestra en la siguiente figura:



*Figura 28: Parte 1 del marco*

Fuente: Propia, 2020

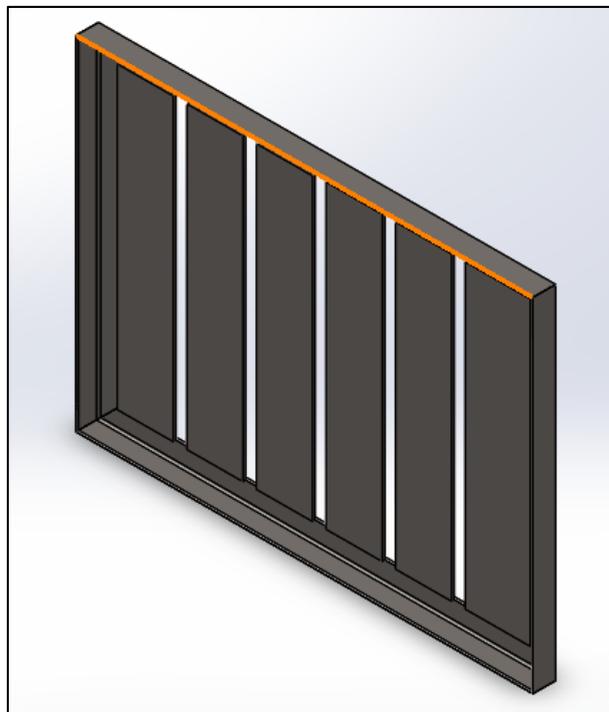
Para marcar dichas barras se usarán Ángulo Estructural Laminado de Acero ASTM A36 de L2'' x 1/8'', como se puede apreciar en la siguiente figura:



**Figura 29: Parte 2 del marco**

**Fuente: Propia, 2020**

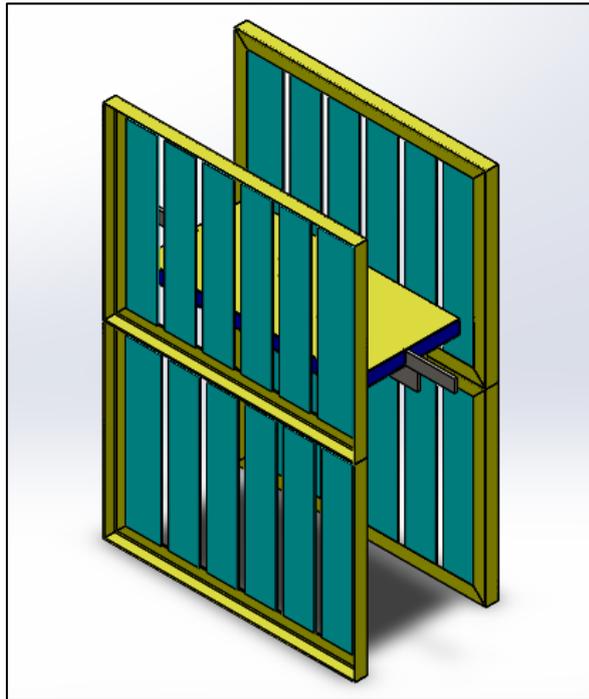
El marco general estará constituido de la siguiente manera:



**Figura 30: Marco completo**

**Fuente: Propia, 2020**

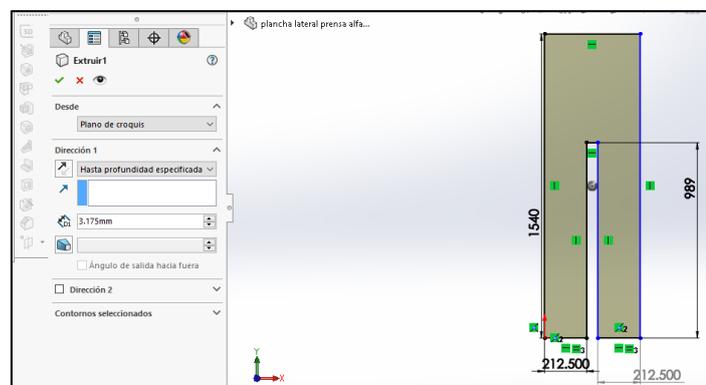
Y la parte frontal y posterior de la máquina quedará de la siguiente manera:



**Figura 31:** Conformado frontal y posterior de la máquina

Fuente: Propia, 2020

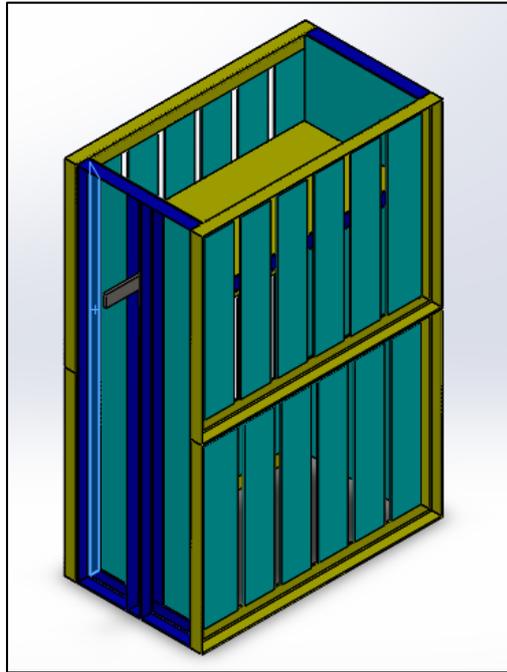
En el diseño de los laterales se considera planchas delgadas laminadas en caliente de  $1/8''$  de Espesor,  $1540\text{ mm}$  de Longitud,  $480\text{ mm}$  de Ancho, y con ranura que permita el recorrido de la plataforma de compresión, de  $55\text{ mm}$  de Ancho y  $989\text{ mm}$  de longitud, como se muestra en la **Figura 32**:



**Figura 32:** Laterales de la máquina

Fuente: Propia, 2020

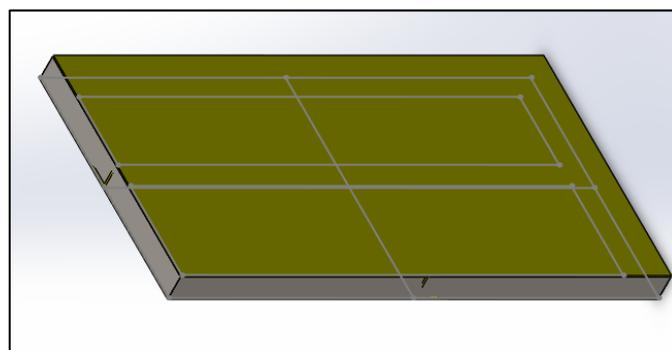
Finalmente se hará un marco con Ángulos Estructurales Laminados L2'' x 3/18'' para conformar la estructura.



**Figura 33: Conformado de los lados de la máquina**

**Fuente: Propia, 2020**

Para la plataforma superior de la máquina enfardadora se usa una configuración encajonada de con Ángulos Estructurales Laminados de L2'' x 3/16'' y dos Planchas Lisas Laminadas en calientes de 1/8'' en espesor, y dimensiones de 1017.05 mm x 530.72 mm.

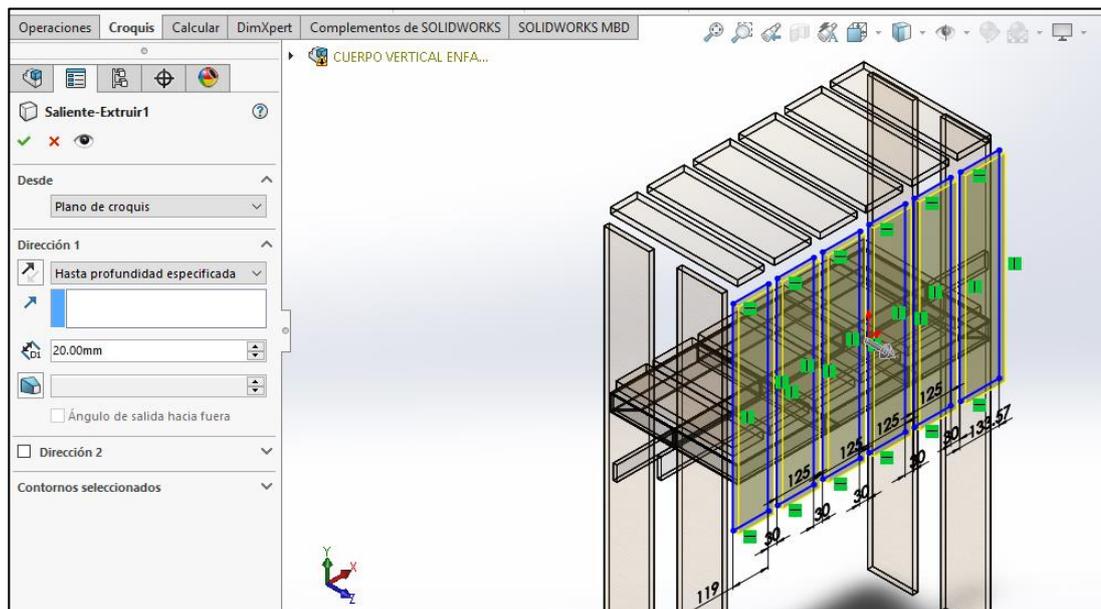


**Figura 34: Tapa superior de la máquina**

**Fuente: Propia, 2020**

## RECUBRIMIENTO DE MADERA

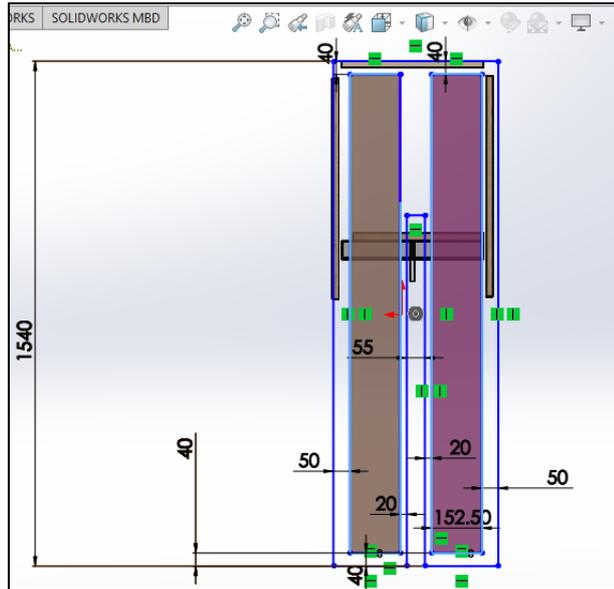
En el diseño, se reforzó el interior de la máquina con madera para evitar que la alfalfa tenga contacto con el acero, así conservamos el buen estado del producto debido a que la alfalfa al tener contacto con el óxido del metal, podría perder su valor nutritivo. Para el diseño se consideró una madera de roble de 20 mm de espesor, con barras de 125 mm X 30 mm.



*Figura 35: Configuración recubrimiento de madera*

**Fuente: Propia, 2020**

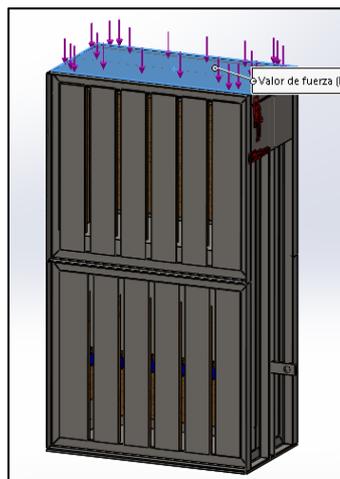
Para los laterales internos de la máquina se usa el mismo tipo de madera con espesor de 20 mm en columnas de 55mm de ancho por 1460 mm de alto.



**Figura 36: Laterales internos de madera**  
**Fuente: Propia, 2020**

En la simulación en el software SolidWorks para el cuerpo de la enfardadora se considera el esfuerzo necesario para compactación, por un factor de seguridad, por si se somete a una sobre carga, del 34%, siendo el resultado la fuerza para el estudio ( $F_s$ ).

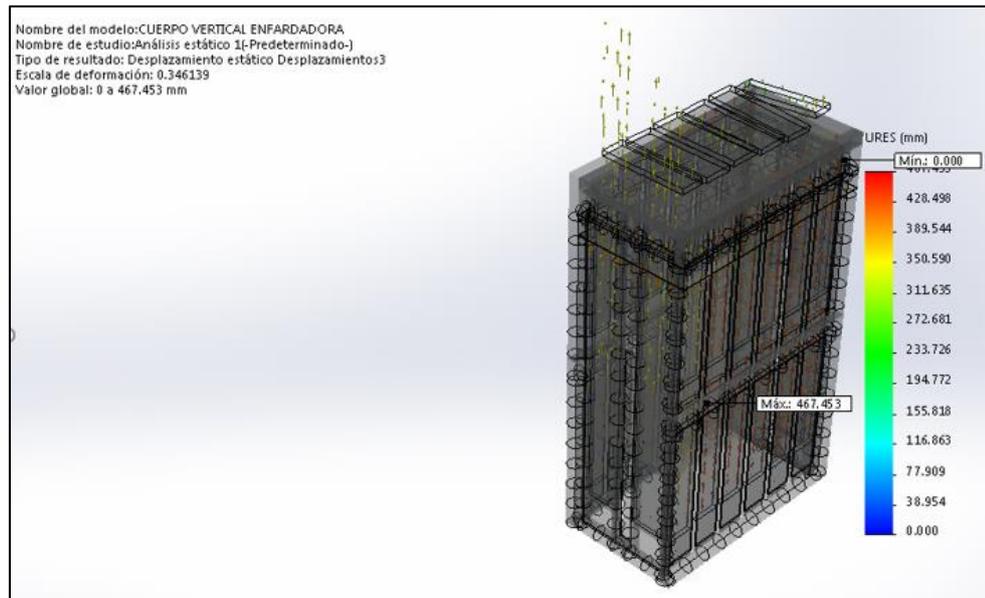
$$F_s = (50\,547.34N + 505.215N) \times 1.34 = 68\,410.42\,N$$



**Figura 37: Aplicación de fuerzas en el cuerpo**  
**Fuente: Propia, 2020**

## SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN Y FS

En la siguiente imagen se muestra la fuerza aplicada en la parte superior, debido a que esa será la carga a la que será sometida toda la estructura, y la parte fija será la zona inferior del cuerpo de la máquina.

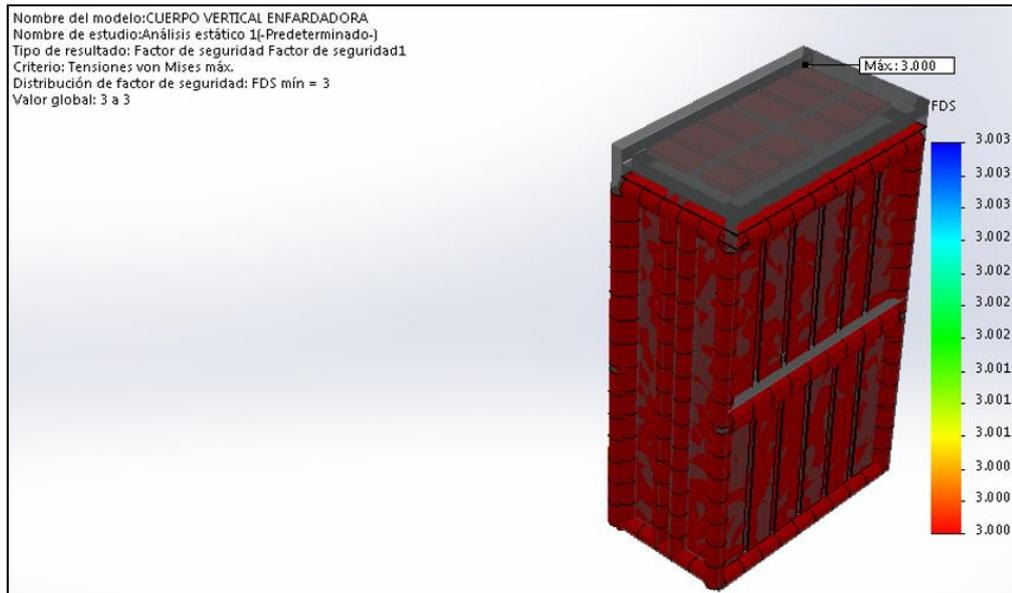


**Figura 38: Escala URES**

**Fuente: Propia, 2020**

La escala URES es el desplazamiento resultante de todo el cuerpo de la enfardadora, siendo que a una escala de deformación de 0.3461 la deformación es de 467.45 mm, y esta deformación corresponde al eje Y. La deformación máxima del metal con una sobre carga del 34% en la escala de deformación es de 175.519 mm, concluyendo que la deformación no es muy considerable en caso se sobre cargue la máquina.

Por otro lado, el Factor de Seguridad resultante de la simulación es mayor a la unidad, por lo tanto, el cuerpo de la máquina, considerando que se sobre pase su carga en un 34%, es fiable.



**Figura 39: Factor de seguridad**

**Fuente: Propia, 2020**

### 3.3.4. Determinación del sistema de transmisión

En esta investigación, se determina la potencia del motor requerida para la carga de diseño, y se define la relación de transmisión en un sistema multiplicador de fuerza, que reduzca la fuerza requerida por el sistema.

#### **DETERMINACIÓN DE LA FUERZA REQUERIDA PARA EL SISTEMA**

En la determinación de la fuerza para la póstuma selección de un motor es necesario en primer lugar, conocer la potencia requerida por la carga que se ha de accionar, entonces se toma en cuenta la sumatoria de fuerzas implicadas en el proceso de compactación en kilogramos.

Tenemos la fuerza necesaria para la compresión que es:

$$F1 = 50\ 547.34\ \text{N}$$

Que también puede expresarse de la siguiente manera según la **Ecuación 3**:

$$W_g = \frac{F_c}{g} = \frac{50\,547.34}{9.81} = 5\,152.63 \text{ kg}$$

Se procede a generar una sumatoria de pesos (W) implicados en el proceso de compactación:

$$\sum W = W_p + W_f + W_m + W_g$$

**Ecuación 6:** *Sumatoria de pesos*

Donde:

$W_p$  = Peso de plataforma de compactación: 41.54 kg

$W_f$  = Peso del fardo: 51.5 kg

$W_m$  = Peso de la madera: 3 kg

$W_g$  = Peso requerido para compactar: 5152.63 kg

Reemplazando valores se obtiene:

$$W = 41.54 + 51.5 + 3 + 5152.63 = 5247.17 \text{ kg}$$

Consideramos que la carga se distribuye en dos platinas a los laterales de la plataforma, como se observa en la figura, y se calcula la carga requerida en uno de los lados ( $W_r$ ) ya que la distribución de carga es igual en ambos lados, por lo tanto:

$$W_r = 5247.17/2 = 2623.59 \text{ kg}$$

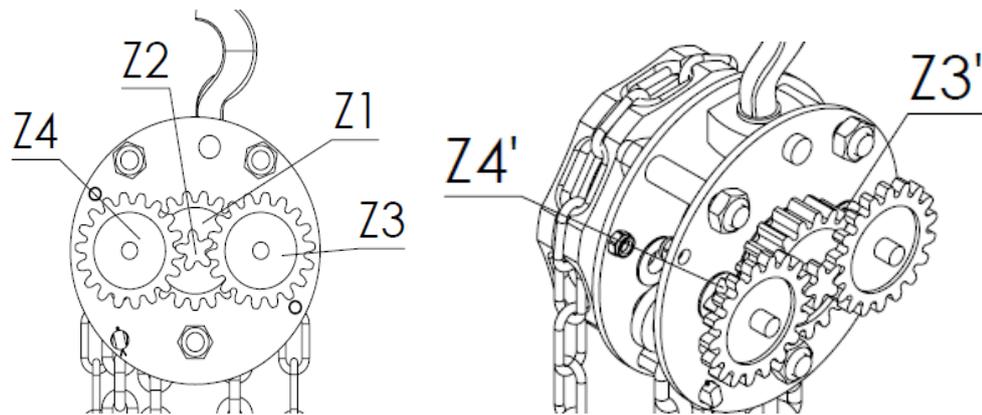
## **DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN**

Si se considera en el diseño, la selección de un motor - reductor capaz de trabajar con ese peso, lo equivaldría a un motor grande, y de elevado precio. Por tanto, se estimó

el uso de un sistema multiplicador de fuerza, para reducir la potencia requerida por el sistema.

### Principio de Multiplicación de fuerza

En el diseño del sistema multiplicador de fuerza para este proyecto de investigación, se toma como referencia la configuración de engranajes de un polipasto de cadena de una tonelada, debido a que no es tan grande, y su costo no es muy elevado. El módulo para un multiplicador de fuerza de esta capacidad es de 3, y la configuración de engranajes sería como se muestra a continuación (Vargas, 1992).



**Figura 40: Distribución de engranajes multiplicadores de fuerza**

**Fuente: Propia, 2020**

Entonces conocemos los siguientes datos:

**Tabla 9: Número de dientes y Diámetro primitivo en multiplicadores de fuerza de 1 TN**

	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z3'</b>	<b>Z4'</b>
<b>Número de dientes</b>	19	5	18	18	4	4
<b>Diámetro Primitivo (mm)</b>	57	15	54	54	12	12

Con los datos de la se demuestra que el módulo promedio para cada uno de los engranajes que se consideran en la configuración de un tecla de 1 tonelada es 3 tal a lo especificado:

$$m = \frac{d}{z}$$

**Ecuación 7:** Ecuación para el cálculo de módulo

Donde:

$d$  = Diámetro primitivo

$z$  = Número total de dientes del engranaje

Para el engranaje 1:

$$d = 112.42$$

$$z_1 = 38$$

$$m = \frac{112.42}{38} = 2.96 \approx 3$$

Para el engranaje 2:

$$d = 34$$

$$z_1 = 10$$

$$m = \frac{34}{10} = 3.4 \approx 3$$

Para el engranaje 3:

$$d = 108.76$$

$$z_1 = 36$$

$$m = \frac{108.76}{36} = 3.02 \approx 3$$

Para el engranaje 3':

$$d = 31.72$$

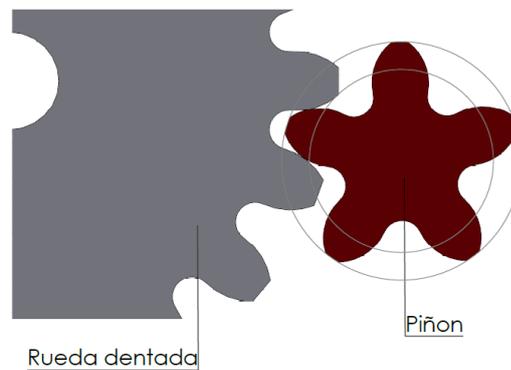
$$z_1 = 8$$

$$m = \frac{31.72}{8} = 3.9 \approx 4$$

El engranaje 3 es igual al engranaje 4, y el engranaje 3' es igual al engranaje 4'. Por lo tanto se llega a la conclusión que el promedio de módulos de los engranajes es 3.

#### Cálculo de la relación de transmisión

Cuando existe un contacto de engranajes, hay una transmisión de velocidades y fuerzas, a eso se le denomina relación de transmisión ( $i$ ), que depende de la cantidad de dientes de los engranajes conectados.



**Figura 41: Relación de transmisión en engranajes**

**Fuente: Propia, 2020**

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

**Ecuación 8: Relación de transmisión**

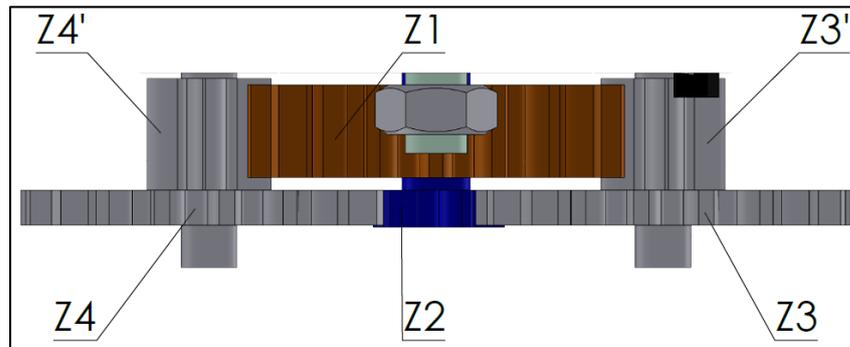
Donde:

$i$  = Relación de transmisión

$z_1$  = Número de dientes del conducido

$z_2$  = Número de dientes del conductor

El resultado de la relación de transmisión, se puede definir como las veces en las que la fuerza se ve modificada, en este caso multiplicada, a través de la configuración de engranajes.



**Figura 42: Configuración de engranajes, vista superior**

**Fuente: Propia, 2020**

Tomando en cuenta la Tabla 9 y conociendo que la entrada de potencia será a través del piñón 2, se tendrá que realizar dos relaciones de transmisión, una entre  $z_2 - z_4$  ( $i_1$ ), y  $z_{4'} - z_1$  ( $i_2$ ). Entonces:

Relación de transmisión 1:

$$i_1 = \frac{z_4 \text{ conducido}}{z_2 \text{ conductor}}$$

$$i_1 = \frac{36}{10} = 3.6$$

Relación de transmisión 2:

$$i_2 = \frac{Z_1 \text{ conducido}}{Z_4 \text{ conductor}}$$

$$i_2 = \frac{38}{8} = 4.75$$

“La relación de transmisión final de un conjunto de trenes de engranajes, es igual al múltiplo de cada relación de transmisión individual, que constituye dicho mecanismo” Según (Departamento de Agronomía. U.N.S, 2018); entonces la relación de transmisión total ( $i_t$ ) entre  $i_1$  y  $i_2$  es.

$$i_t = i_1 \times i_2$$

$$i_t = 3.6 \times 4.75 = 17.1$$

En conclusión, la relación de transmisión total es 17.1 eso quiere decir que esa es la cantidad de veces a la que se multiplica la fuerza al pasar por la configuración de engranajes.

## SELECCIÓN DE LOS MOTORES

Para la selección del motor, se considera los datos ya antes definidos, como son la fuerza total requerida para uno de los motores ( $W_r$ ) para el proceso de compactación expresada en kilogramos, y la relación de transmisión total ( $i_t$ ) del sistema multiplicador de fuerza.

Teniendo en cuenta que la potencia requerida por el sistema es igual al torque por la velocidad angular, desarrollamos lo siguiente:

- Como primer punto se determina el torque requerido en la polea para encastre de cadena, y la velocidad angular.

$$T = F_r * r$$

**Ecuación 9:** Ecuación de torque

Donde:

$F_r$  = Fuerza requerida por el sistema

$r$  = Radio de la polea con encastre para cadena

Y según la **Ecuación 3**, se sabe que:

$$F_r = W_r * g$$

Donde:

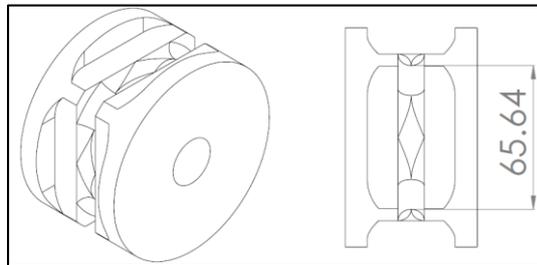
$W_r$  = Peso requerido por el sistema en un lado de la plataforma de compactación:  
2623.59 kg

$g$  = Aceleración de la gravedad:  $9.81 \text{ m/s}^2$

Entonces:

$$F_r = 2623.59 * 9.81 = 25\,737.42 \text{ N}$$

El radio de la polea se muestra en la siguiente imagen:



**Figura 43:** Polea con encastre para cadena

**Fuente:** Propia, 2020

Y se sabe que:

$$r = \frac{d}{2}$$

**Ecuación 10:** Radio de un círculo

Entonces:

$$r = \frac{68}{2} = 34 \text{ mm} = 0.034 \text{ m}$$

Y así:

$$T = 25\,737.42 * 0034 = 875.07 \text{ Nm}$$

Pero ese torque pasa por una relación de transmisión debido a la configuración de engranajes que multiplica la fuerza a la salida, se conoce el torque a la salida (T), para definir el torque a la entrada ( $T_i$ ) será el resultado del cociente entre el torque y la relación de transmisión.

$$T = 875.07 \times \frac{1}{17} = 51.47 \text{ Nm}$$

- En segundo lugar, se especifica la velocidad angular que requiere el sistema.

$$\omega = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$

**Ecuación 11:** *Velocidad angular*

Donde:

$\omega$  = Velocidad angular (rad/s)

$f$  = Frecuencia (Hz)

Y se sabe que:

$$f = \frac{n^\circ \text{ de vueltas}}{t}$$

**Ecuación 12:** *Frecuencia*

Debido a que no hay información acerca del tiempo de compactación ( $t$ ) para una máquina ensiladora de alfalfa, se ha determinado el tiempo por criterio propio a través de la observación de máquinas con distintos mecanismos de compactación y puestas en compactación que se pueden ver en la siguiente tabla:

**Tabla 10: Comparación de tiempo de compactación**

Mecanismo de compactación	Material a compactar	Peso del material a compactar (kg)	Nº de etapas de compactación	Tiempo total de compactado (s)
Hidráulico	Cáscara de Arroz, Heno	50	5	40
Neumático	Maíz, Cartón	60	4	35
Manual	Pajilla, Quinoa	37	6	213
<b>Promedio</b>				96

El número de vueltas que se llevan a cabo para recorrer los 0.997 m, dependerá de la siguiente ecuación:

$$n^{\circ} \text{ de vueltas} = \frac{L_c}{L_T}$$

**Ecuación 13:** Ecuación de n° de vueltas

Donde:

$L_c$  = Longitud de la circunferencia (ver **Figura 43**)

$L_T$  = Longitud a recorrer: 0.997 m

La longitud de la circunferencia se halla de la siguiente manera:

$$L_c = 2\pi * r$$

**Ecuación 14:** Longitud de una circunferencia

Entonces:

$$L_c = 2\pi \times 0.0328 = 0.21 \text{ m}$$

Y desarrollando la **Ecuación 13** se calcula que:

$$n^{\circ} \text{ de vueltas} = \frac{0.997}{0.21} = 4.75 \text{ vueltas}$$

De la **Tabla 10** se deduce que el promedio de tiempo usado para terminar el compactado es de 96 segundos, entonces se tendrá como referencia que el tiempo máximo en que la máquina debe completar un fardo, es 100 s, pero se definió anteriormente que el proceso consta de 2 etapas, por tanto cada etapa será de aproximadamente 50 s, entonces podemos determinar la frecuencia de la ecuación:

$$f = \frac{n^{\circ} \text{ de vueltas}}{t} = \frac{4.75}{50} = 0.95$$

Hallada la frecuencia, se procede a reemplazarla en la **Ecuación 11** de la velocidad angular:

$$\omega = 2\pi (0.95) = 0.597 \text{ rad/s}$$

La velocidad angular ( $\omega$ ) en relación a revoluciones por minuto - rpm ( $n_s$ ) es:

$$n_s = \frac{\omega \times 60}{2\pi}$$

**Ecuación 15:** *Cálculo de RPM*

Entonces:

$$n_s = \frac{0.597 \times 60}{2\pi} = 5.7 \text{ RPM}$$

Por lo tanto las revoluciones a la salida del mecanismo multiplicador es 5.70 rpm, a su vez, se sabe que los rpm ingresadas a un sistema multiplicador de fuerzas es dividida por su relación de transmisión total ( $i_t$ ). Entonces si se conoce los rpm a la salida ( $n_s$ ), los rpm a la entrada ( $n_i$ ) será:

$$n_i = n_s \times i_t$$

**Ecuación 16:** *RPM a la entrada del mecanismo*

$$n_i = 5.70 \times 17.1 = 197.47 \text{ rpm} = 100 \text{ rpm}$$

Los valores anteriormente determinados, definen el torque y las RPM en la entrada del sistema, lo que tiene que entregarnos el motor y el motorreductor.

Entonces, si partimos teniendo como referencia el análisis dimensional de un motor de 1HP con 100 revoluciones por minuto del reductor, podemos obtener el torque entregado por ambos elementos de máquinas.

Se sabe que la potencia se halla con la siguiente ecuación:

$$P = T \times \omega$$

**Ecuación 17:** *Potencia de un motor*

$$1HP = T \times \omega$$

$$T = \frac{1HP}{\omega}$$

También:

$$1 \text{ vatio} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{seg}} = 1 \frac{N \cdot m}{\text{seg}}$$

Entonces:

$$1HP = 746 \frac{N \cdot m}{\text{seg}}$$

Además, se sabe que la velocidad angular, es:

$$\omega = \frac{2\pi(n_i)}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi(100)}{60} = 10.47 \text{ rad/s}$$

Concluimos qué:

$$T = \frac{746 \text{ N.m}}{10.47} = 71.25 \text{ N * m}$$

Con el valor del torque obtenido del motor de 1 HP y con un reductor de 100 rpm, podemos determinar los HP requeridos ( $y$ ), teniendo el torque final requerido ( $T_f$ ).

$1 \text{ HP}$	$71.25 \text{ N.m}$
$P$	$51.47 \text{ N.m}$

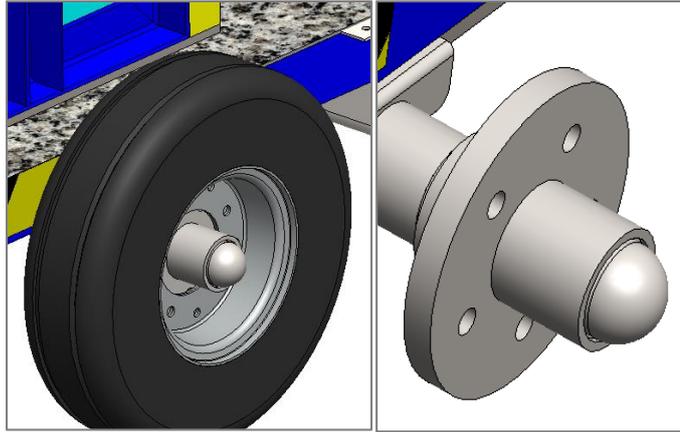
Desarrollando:

$$P = \frac{1 \text{ HP} \times 51.47 \text{ N.m}}{71.25 \text{ N.m}} = 0.72 \text{ Hp}$$

Comercialmente no existen un motorreductor con esas características, por lo tanto, se selecciona un motorreductor de 1 HP y 100 RPM (ver **Anexo 9**) para cada extremo.

### 3.3.5. Determinación de rodamientos de las ruedas

El eje horizontal del mecanismo móvil de la enfardadora de alfalfa poseen en sus extremos rodamientos que permiten la rotación y evitar el deslizamiento de las llantas. En el apartado “3.4. Elementos críticos de la máquina” se menciona la carga que proporciona todo el mecanismo de la enfardadora de alfalfa (2.38 kN), dicha carga será la que tiene que soportar los rodamientos.

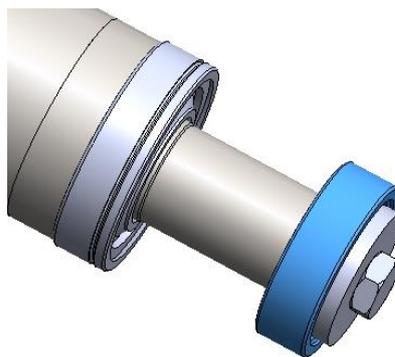


**Figura 44:** Llanta y eje con sistema de rotación

**Fuente:** Propia, 2020

### **RODAMIENTO 6205 SKF**

Para el extremo del eje motriz se empleará un rodamiento con un diámetro interno de 25 mm (reducción final del diámetro del eje), que posee un mecanismo rígido de bolas, ideal para soportar las cargas radiales y axiales que origina el movimiento de avance de la máquina. Cabe mencionar que las llantas de una máquina pesada de campo giran a una velocidad de 20 rpm.



**Figura 45:** Rodamiento 6205 SKF

**Fuente:** Propia, 2020

Los autores (Richard G. Budynas, 2008) expresan la siguiente ecuación para calcular la carga dinámica que puede soportar un rodamiento, con el fin de poder hallar la vida útil del elemento.

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

**Ecuación 18:** *Vida nominal de un rodamiento*

Donde:

C = Capacidad de carga dinámica: 14.8 kN (Ver **Anexo 10**)

P = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento: 2.38 kN

p = Exponente obtenido empíricamente, rodamiento de bolas: 3

Entonces:

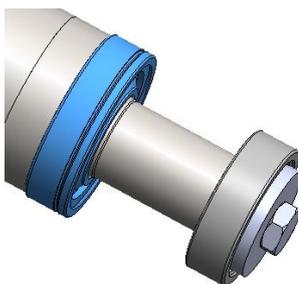
$$L = \left(\frac{14.8 \text{ kN}}{2.38 \text{ kN}}\right)^3 = 2.4 \times 10^2 \text{ millones de revoluciones}$$

Que es igual a:

$$L = \left(\frac{1000000}{60 \times 20 \text{ rpm}}\right) \times \left(\frac{14.8}{2.38}\right)^3 = 200.388 \times 10^3 \text{ horas de funcionamiento}$$

## **RODAMIENTO 62056 SKF**

Para el parte antes del extremo del eje motriz se empleará un rodamiento con un diámetro interno de 30 mm (diámetro del eje), que posee un mecanismo rígido de bolas, ideal para soportar las cargas radiales y axiales que origina el movimiento de avance de la máquina. Cabe mencionar que las llantas de una máquina pesada de campo giran a una velocidad de 20 rpm.



**Figura 46: Rodamiento 6206 SKF**

**Fuente: Propia, 2020**

C = Capacidad de carga dinámica: 20.3 kN (Ver **Anexo 11**)

P = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento: 2.38 kN

p = Exponente obtenido empíricamente, rodamiento de bolas: 3

Entonces:

$$L = \left( \frac{20.3 \text{ kN}}{2.38 \text{ kN}} \right)^3 = 6.205 \times 10^2 \text{ millones de revoluciones}$$

Que es igual a:

$$L = \left( \frac{1000000}{60 \times 20 \text{ rpm}} \right) \times \left( \frac{20.3}{2.38} \right)^3 = 51.71 \times 10^4 \text{ horas de funcionamiento}$$

### **3.3.6. Determinación y selección del sistema eléctrico**

El sistema eléctrico es el encargado de brindar la energía a la máquina para que pueda accionar cada sistema y parte de la misma, debido a que será una máquina no estática se empleará un generador por combustión interna que se alimenta de gasolina para proporcionar electricidad.



**Figura 47:** Generador Honda Gasolineru GX-290 de 5 kW

**Fuente:** honda.mx, 2010

### **CÁLCULO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA (A)**

El generador eléctrico posee una corriente trifásica de 380 V y aunque puede brindar una potencia máxima de hasta 5 kW (ver **Anexo 12**), los 2 motorreductores requieren una potencia máxima entre ellos de 2 HP (1.5 kW) y poseen un factor de potencia de 0.8. Con estos datos se hallará la corriente eléctrica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \text{Cos } \varphi}$$

**Ecuación 19:** Corriente eléctrica

Donde:

P = Potencia eléctrica: 1 500 W

U = Voltaje: 380 V

Cos  $\varphi$  = Factor de potencia: 0.8

Entonces:

$$I = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 2.85 \text{ A} \approx 3 \text{ A}$$

## ELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE MANDO Y PROTECCIÓN

Para poder tener un control del funcionamiento de los motorreductores y a su vez, generar una protección hacia daños que pueda causar algún cortocuito o alguna sobrecarga, se implementa un sistema de mando y protección eléctrico.

En la siguiente tabla se detalla un listado de los equipos, dispositivos y materiales que forman parte del sistema eléctrico de mando y protección. Cada elección depende de la corriente (A) del sistema, 3 A.

**Tabla 11: Equipos, dispositivos y materiales del sistema eléctrico**

ELEMENTO	MARCA	CANTIDAD	CORRIENTE (A)
Guardamotor Gz1e10	Schneider	1	4-6
Interruptor termomagnético	Bticino	1	10
Contactador LC1SKGC200U7	Schneider	4	5
Relé térmico LRD10	Schneider	2	4-6
Pulsador Seta NC (Tipo hongo, de emergencia)	Schneider	2	---
Temporizador RM4TR32	Schneider	1	---
Pulsador NC, NA	Chint	2	---
Cable 14 AWG	Indeco	50 m	6
Lámpara de señalización XB4	Schneider	4	---
Sensor de Final de Carrera	---	2	5

### Guardamotor

Un Guardamotor es un disyuntor magneto-térmico ajustable que se encarga de brindar diferentes funciones en una misma unidad compactada, con el objetivo de proteger un motor eléctrico expuesto a elevación de la corriente por cortocircuitos, sobrecargas y pérdida de fase. Las características principales del Guardamotor son; la alta capacidad de interrupción y su curva de disparo.



**Figura 48: Guardamotor Schneider Gz1e10**

**Fuente: [www.dmpcontrol.mx](http://www.dmpcontrol.mx), 2016**

## Interruptor termomagnético

El interruptor o llave termomagnética es un dispositivo que posee como principal función desconectar un sistema eléctrico cuando este está sobrepasando sus valores nominales.



*Figura 49: Interruptor termomagnético Bticino*

Fuente: [promart.com.pe](http://promart.com.pe), 2019

## Contactador

Es un dispositivo electromecánico que se emplea como fuente de conexión y desconexión eléctrica mediante una fuerza que tiene origen en su bobina, la cual funciona como un electroimán en sus contactos.



*Figura 50: Contactador Schneider LC1 SKGC200U7*

Fuente: [www.imc-direct.com](http://www.imc-direct.com), 2017

## Relé térmico

El relé térmico es un dispositivo de protección de motores contra sobrecargas débiles o prolongadas, capaz de optimizar la durabilidad de los motores ya que impide que estos equipos funcionen en condiciones de calentamiento anómalas, además, pueden lograr que un motor vuelva arrancar con mayor rapidez después de un disparo.



**Figura 51: Relé Térmico Schneider LRD10**

**Fuente: [www.ge.com](http://www.ge.com), 2018**

## Temporizador

El temporizador es un dispositivo que permite medir el tiempo a través de una previa programación. Su función principal es regular la conexión y desconexión de un sistema eléctrico según el requerimiento del proceso.



**Figura 52: Temporizador Schneider RM4TR32**

**Fuente: <https://pe.wiautomation.com/>, 2014**

## Sensor de Final de Carrera

En un interruptor de límite situado al final del recorrido de algún equipo o sistema.



Figura 53: Sensor de final de carrera

Fuente: iberobotics.com, 2016

## Cable AWG

El cable empleado para el sistema eléctrico es AWG 14, capaz de soportar una corriente de hasta 6 A.

Tabla 12: Cables AWG

NÚMERO AWG	DIÁMETRO (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Resistencia ( $\Omega$ /Km)	Capacidad (A)
2	6,544	33,63	1,50	96
4	5,189	21,15	0,80	60
6	4,115	13,30	1,27	38
8	3,264	8,36	2,03	24
10	2,588	5,26	3,23	15
12	2,053	3,31	5,13	9,5
14	1,628	2,08	8,17	6,0
16	1,291	1,31	12,9	3,7
18	1,024	0,82	20,83	2,5
20	0,8118	0,52	32,69	1,6

## DIAGRAMA ELÉCTRICO DE MANDO Y PROTECCIÓN

El proceso comienza con la activación de los motorreductores, la plataforma se eleva, y al llegar al final de la compactación (fin de carrera), se activa un temporizador por 3 segundos, generando el inicio de carrera, el cual acciona el cambio de giro, descendiendo la plataforma (ver **Anexo 13**).

### 3.4. Elementos críticos de la máquina

Como elemento crítico se toma la base que soportará el peso de todos los elementos que componen la máquina:

Tabla 13: Pesos de equipos/sistemas

ELEMENTO	PESO (kg)
Generador Honda GX-290	68
Fardo de alfalfa	50
Operario	80
Mecanismo de compactación	42
Madera	3
<b>TOTAL</b>	<b>243</b>

Multiplicando el total de los pesos por la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) tendremos una fuerza total de 2381.4 N. Para la base se tomará en cuenta una plancha estriada de 2.5 x 1.2 m con espesor de 2.4 mm del acero ASTM A36 (ver **Anexo 8** – Catálogos de Acero: Planchas estriadas LAC).

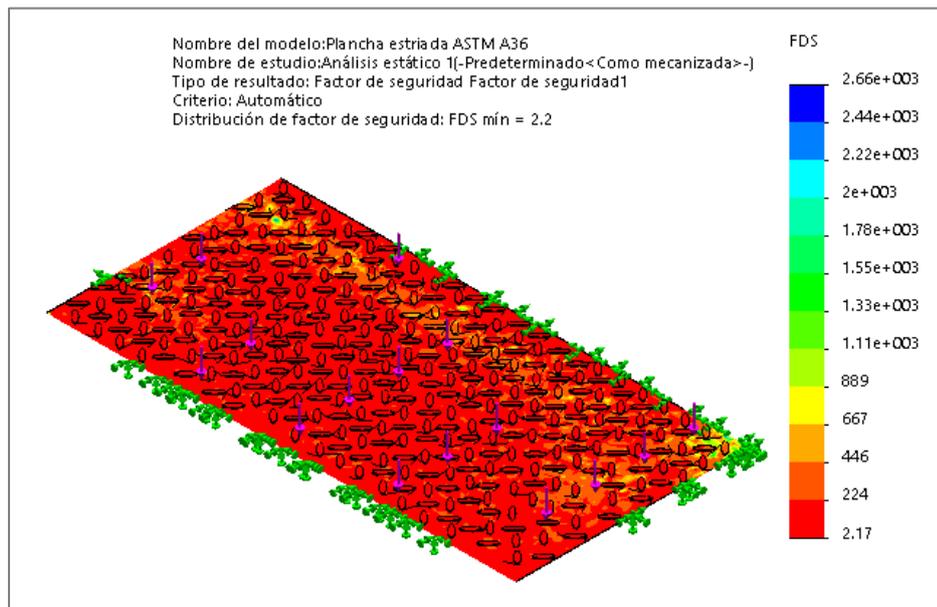
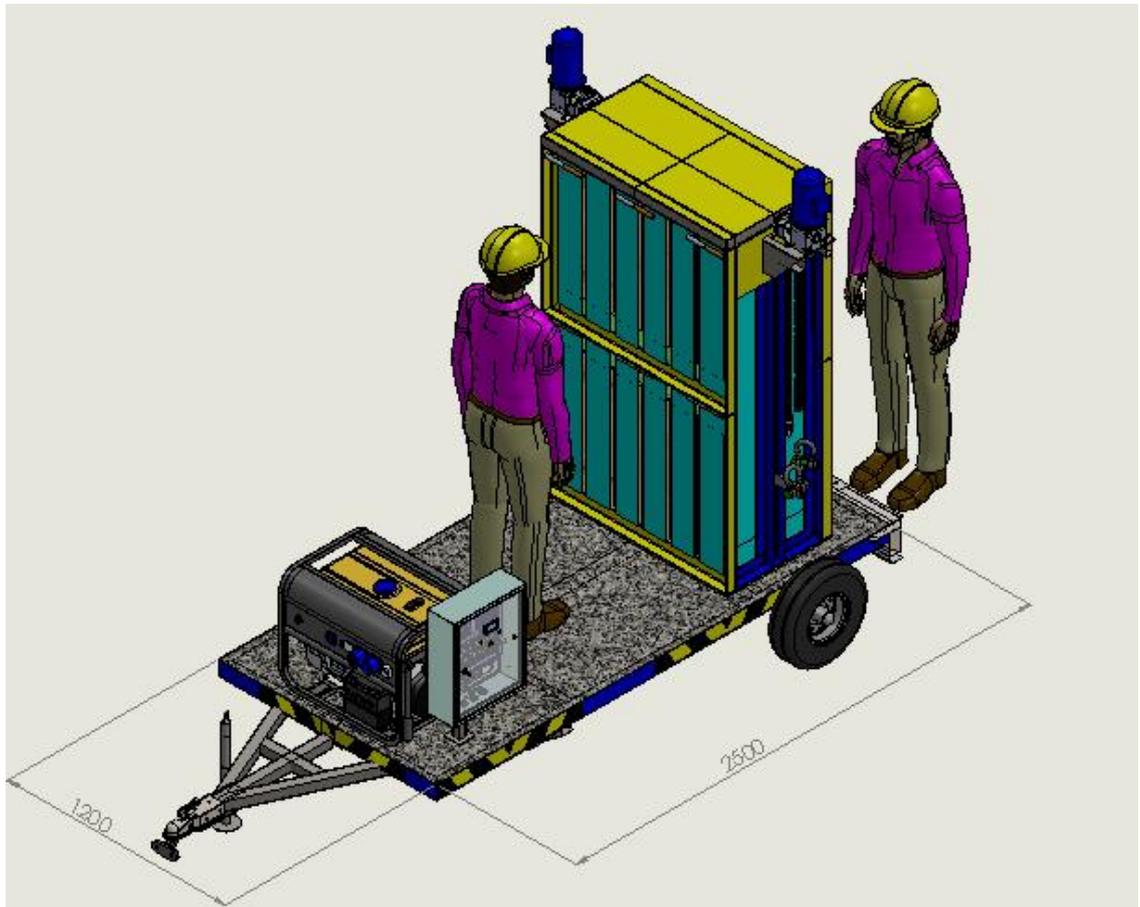


Figura 54: Factor de Seguridad de la base

Fuente: Propia, 2019

### 3.4.1. Diseño final de la máquina

Para el diseño final de la máquina se empleó un software CAD conocido en el ambiente de la ingeniería.



*Figura 55: Diseño final de la máquina enfardadora*

Fuente: Propia, 2020

## 3.5. Análisis técnico económico de la máquina

### 3.5.1. Lista de materiales

Para la fabricación de la máquina enfardadora se necesitara de las siguientes cantidades de materiales:

**Tabla 14: Lista de materiales**

<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>MEDIDA</b>
Plancha estriada de 2.4 mm	1	2.5 x 1.2 m
Canal	2	C3 x 5 LB/PIE
Tubo cuadrado 3'' x 2.5 mm espesor	1	6 metros
Tubo cuadrado 2'' x 2.5 mm espesor	1	6 metros
Tubo SCH 80 de 3''	-	1.3 m
Rodamiento 6206 SKF	2	-
Rodamiento 6205 SKF	2	-
Neumático de tico	2	-
Ángulo de 2'' x 1/8''	1	6 metros
Planchas A36 x 1/4'' o 3/16'' espesor	2	1.5 m x 3 m
Ángulo 2'' x 1/8'' espesor	1	6 metros
Estrobo	4	1.5 TN
Bisagra de tubo de (hechizas)	9	de 3/4'' SCH40
Ángulo 2'' x 1/8'' espesor	1	6 metros
Cerrojo de tolva de camioneta	4	-
Motorreductor IE2 NORD 1HP 100rpm	2	-
Tecles	2	1TN
Tablero Eléctrico Metálico	1	-
Generador Honda GX-290 Gasolinero	1	-
Guardamotor GZ1E10	1	-
Interruptor termomagnético	1	-
Contactador LC1SKGC200U7	4	-
Relé Térmico LRD10	2	-
Pulsador seta NC (tipo hongo, de emergencia)	1	-
Temporizador RM4TR32	1	-
Pulsador NC, NA	2	-
Cable 14 AWG	-	50 m
Lámpara de señalización XB4	4	-
Sensor de final de carrera	2	-

### 3.5.2. Inversión

#### **COSTOS DIRECTOS**

Los costos directos hacen referencia al valor de cada componente y elemento que forma parte la máquina, tanto la parte eléctrica como la mecánica.

**Tabla 15: Costos directos**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>SISTEMA MECÁNICO</b>			
Plancha estriada de 2.4 mm (1.2 m x 2.5 m)	1	270	270
Canal (C3 x 5 LB/PIE)	2	56	112
Tubo cuadrado 3'' x 3'' x 2.5 mm espesor	1 x 6 m	75	75
Tubo cuadrado 2'' x 2'' x 2.5 mm espesor	1 x 6 m	60	60
Tubo SCH 80 de 3''	1.3 m	25	25
Rodamiento 6206 SKF	2	35.6	71.2
Rodamiento 6205 SKF	2	27.5	55
Neumático de tico	2	115	230
Planchas A36 x 1/4'' espesor (1.5 m x 3 m)	2	220	440
Ángulo 2'' x 1/8'' espesor	4 x 6 m	6	24
Estrobo (1.5 TN)	4	120	480
Bisagra de tubo de 3/4'' SCH40 (hechizas)	9	10	90
Cerrojo de tolva de camioneta	4	8	32
Motorreductor IE2 NORD 1HP 100rpm	2	740	1500
Tecles (1 TN)	2	300	600
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>			
Tablero Eléctrico Metálico	1	150	150
Generador Honda GX-290 Gasolinero	1	2300	2300
Guardamotor GZ1E10	1	120	120
Interruptor termomagnético	1	40	40
Contactador LC1SKGC200U7	4	75	300
Relé Térmico LRD10	2	142	284
Pulsador seta NC (tipo hongo, de emergencia)	1	23	23
Temporizador RM4TR32	1	600	600
Pulsador NC, NA	2	12	24
Cable 14 AWG	500 m	90	90
Lámpara de señalización XB4	4	22	88
Sensor de final de carrera	2	15	30

### **COSTOS INDIRECTOS**

Los costos indirectos intervienen en el proceso de la fabricación de la máquina, ya sea como insumo o servicio.

**Tabla 16: Costos Indirectos**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>MATERIAL INDIRECTO</b>			
Soldadura E7018 para Soldeo Estructural	5 kg	12.70	63.5
Soldadura E6011 para Apuntalar y Armar	5 kg	11.40	57
Discos de pulir 4 1/2''	3	12.50	37.5
Discos de corte 4 1/2''	5	3.90	19.5
Base de Cromato y Esmalte	1	37.90	37.90
Lija para metales	10	2.40	24
<b>SERVICIOS</b>			
Mano de obra	-	1200	1200
Servicio de transporte (Fletes)	-	90	90
Energía eléctrica	1	75	75

**Tabla 17: Inversión total**

<b>COSTOS</b>	<b>VALOR (S/.)</b>
Costos Directos	8113.2
Costos Indirectos	1604.4
<b>TOTAL</b>	<b>9717.6</b>

### 3.5.3. Flujo de caja

#### INGRESOS ANUALES

Para los ingresos se tendrá en cuenta la venta de alfalfa por kilogramo que sale de nuestra máquina, los precio en nuevos soles para este producto será de /1.34, esto debido a la mejor calidad con la que saldrá la materia y la rapidez en disposición.

La zona de Pitura cuenta con 30 hectáreas de siembra de alfalfa, de las cuales producen y consiguen un total de 3400 kg por hectárea. Esta producción se da en 7 a 8 campañas en el transcurso del año. La siguiente ecuación nos determinara el ingreso por cosecha.

$$Producción = 30 \times 3400 \times 8 = 816\ 000 \text{ kg/año}$$

Y multiplicando por el precio de cada kilogramo, tendremos un total de:

$$\text{Ingresos} = 816\,000 \times 1.34 = 1\,093\,440 \text{ soles/año}$$

## EGRESOS ANUALES

Para que la máquina enfardadora de alfalfa tenga un buen desempeño se requiere que ciertos gastos necesarios que se detallan en la **Tabla 17**.

Cabe recalcar que la venta de alfalfa por kilogramo normalmente tiene un valor de S/1.30, es decir 1 060 800 soles por año.

**Tabla 18: Costos de operación y egresos**

DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad diaria	Precio unitario (S/.)	Precio mensual (S/.)	Precio anual (S/.)
<b>Costo de mano de obra</b>					
Personas	-	1	-	950	13300
<b>Ventas actuales</b>					
Alfalfa	kg	-	-	88 400	1 060 800
<b>Energía</b>					
Gasolina	Gl	2	13.00	780	9360
<b>Mantenimiento</b>					
Costo promedio	-	-	-	300	3600
<b>TOTAL</b>					<b>1 087 060</b>

### 3.5.3.1. Valor Actual Neto (VAN)

Para verificar la factibilidad de un proyecto, el VAN tiene que ser mayor a 0. Este dato estadístico se halla de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} - I$$

Donde:

n = Número de años

t = Tiempo: 5 años

Ft = Beneficio neto de flujo anual

r = Tasa de descuento (12%): 0.12

I = Inversión inicial: S/. 9 7117.6

### 3.5.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para ver la rentabilidad de un proyecto, es necesario que el TIR sea mayor al 12%, ya que este porcentaje es el que actualmente pagan los bancos en el Perú. El TIR se halla de la siguiente manera:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t} - I$$

Donde:

n = Número de años

t = Tiempo: 5 años

Ft = Beneficio neto de flujo anual

TIR = Tasa interna de retorno

I = Inversión inicial: S/. 9 717.6

**Tabla 19: VAN y TIR**

Inversión Inicial	-9 717.6					
Gastos en Reemplazos Gastos en operación, mantenimiento u otros		-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060
<b>TOTAL EGRESOS</b>	-9 717.6	-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060	-1 087 060
Ingresos por ventas de alfalfa compactada por la máquina enfardadora		1 093 440	1 093 440	1 093 440	1 093 440	1 093 440
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>		1 093 440	1 093 440	1 093 440	1 093 440	1 093 440
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	-9 717.6	6380	6380	6380	6380	6380
				<b>VAN</b>	13 280.87	
				<b>TIR</b>	59%	

## Discusión de resultados

- En las pruebas de compactación realizadas se pudo obtener la densidad de la alfalfa, la cual sirvió para poder hallar la masa que tendrá el fardo de alfalfa, aunque el valor fue de 51.5 kg, se decidió redondear la capacidad a 50 kg. Pero cabe mencionar que para todo el cálculo siguiente se tomó en cuenta el valor hallado matemáticamente, es decir 51.5 kg.
- Para hallar la relación de velocidad en los multiplicadores de fuerza se trabajó solo con un lado del sistema de engranajes, ya que el otro extremo poseía las mismas dimensiones y características.
- Aunque se pensó emplear un Variador de Frecuencia debido a la baja velocidad del sistema, la selección final fue por un Motorreductor que brinde exactamente 100 rpm. Esto hará que el sistema sea menos complejo, además de que comercialmente si son equipos accesibles.
- La base de la máquina, la cual es de plancha estriada, tiene un factor de seguridad de 2.17, eso quiere decir que dicho material puede soportar hasta dos veces el requerimiento de carga, esto en caso de que por mantenimiento o un posible desmontaje, suban a la plataforma 2 operarios o técnicos a realizar labores.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El concepto óptimo seleccionado para la enfardadora de alfalfa en gran parte se debe a la menor complejidad que proporciona un multiplicador de fuerza por engranajes. Si se tomaba un sistema de compactación hidráulico, la máquina tendría que haber contado de manera obligatoria con una bomba centrífuga que brinde el agua a una cierta presión, y si se hubiera tomado la opción que brinda un sistema neumático, un subsistema de aire comprimido. El multiplicador de fuerzas por engranajes tiene una relación de transmisión de 17.1, valor óptimo de incremento para este tipo de máquinas.
- La capacidad de la máquina se calculó teniendo en cuenta el volumen y la densidad de la alfalfa. El volumen del fardo requerido es de  $0.1816 \text{ m}^3$  ( $0.84 \times 0.43 \times 0.503 \text{ m}$ ), mientras que la densidad se calculó mediante 5 ensayos, dentro de los cuales se tomó el que se halló con la mayor fuerza aplicada (1339.72 N) en 1.365 kg de alfalfa. La densidad fue de  $283.677626 \text{ kg/m}^3$  y la capacidad de la máquina de 51.5 kg (50 kg).
- Todos los cálculos matemáticos realizados para dimensionar cada parte y sistema que compondrán la máquina, fueron comprobados a través del software de Diseño y Simulación en Ingeniería, SolidWorks. Ejemplo de esto es el Factor de Seguridad hallado de la Plataforma de Compacto, el cual dio 7. Esto demuestra el buen diseño y análisis del proyecto. Cabe mencionar también que se seleccionó 2 motorreductores con una potencia de 1 HP cada uno y 100 rpm.
- Para el análisis de elementos críticos se tomó la base que soportará todos los pesos y cargas de los mecanismos y equipos que forman la máquina en su totalidad. El análisis en SolidWorks brindó un factor de seguridad de 2.17, para una base estriada de acero ASTM A36 de 2.4 mm de espesor.
- El TIR hallado (59%), demuestra que la máquina enfardadora de alfalfa con capacidad de 50 kg es un proyecto totalmente rentable que genera ganancias desde el segundo año de funcionamiento.

## RECOMENDACIONES

- El costo de los fardos de alfalfa al final depende del precio que quiera colocarle el dueño de la empresa o máquina. Aunque la diferencia sea mínima, la inversión siempre tendrá un buen retorno debido a la gran producción que genera la máquina.
- Es necesario que pueda respetarse la selección de números de dientes y diámetros de los engranajes que conforman el multiplicador de fuerza, ya que caso contrario esto puede lograr que aumente o disminuya la fuerza de compactación, afectando el producto terminado y sus propiedades.
- Para evitar inconvenientes con la base de soporte de la máquina general es recomendable evitar que más de 2 personas con un peso promedio de 80 kg estén sobre ella.
- Si se desea cambiar el generador Honda GX-290 que consume gasolina, por otro generador que consuma un combustible diferente, es necesario que dicho equipo pueda brindar una potencia mayor a 1.5 kW y a la vez, una corriente que no acceda los 5 A, ya que la mayoría de equipos se seleccionaron con esta intensidad.
- Es obligatorio que cada equipo y elemento que conforma el sistema eléctrico de la máquina sea de buena marca, esto logrará salvaguardas el funcionamiento de los 2 motorreductores con los que cuenta la enfardadora.

## REFERENCIAS

- Barioglio, C. (2006). *Diccionario de Las Ciencias Agropecuarias* (1a ed. ed.). Córdoba: ENCUENTRO. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=xzLQnBU6DOkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Berrocal, M., y Cortez, A. (2015). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA ENSILADORA DE FORRAJES DE MAÍZ PARA ALIMENTAR GANADO BOVINO*. UNIVERSIDAD DE CORDOVA, Colombia.
- BOROBIA, J. M. (2010). *TEORÍA DE MÁQUINAS*. española.
- Bragachini, M., Peiretti, J., Sánchez, F., y Giordano, M. (2012). *ROTOENFARDADORAS DE NUEVA GENERACIÓN*. Argentina: INTA.
- Departamento de Agronomía. U.N.S. (2018). *Transmisión - Cátedra de Mecánica y Maquinaria Agrícola*. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía, Bahía Blanca. Obtenido de <http://mecymaq.criba.edu.ar/attachments/section/1/Trenes%20de%20engranaje2018.pdf>
- Dominguez, J. (20 de Abril de 2002). *EL TIEMPO*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1372362>
- Gil, G. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA EL ENFARDADO Y ENSILADO DE FORRAJES*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Colombia.
- Hernán, F. (2013). *Tecnolàctea*. Obtenido de <http://www.consorciolechero.cl/tecnolactea/main-conservacion-de-forraje/>
- Herrera, M., Medina, J., y Quintero, H. (2008). *DISEÑO DE MÁQUINA PARA EMPAQUE DE FORRAJE DE MAÍZ PARA ENSILAJE DOSIFICADO Y COMPACTADO*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Colombia: Scientia ET Technica año XIV.
- Isma. (06 de Noviembre de 2016). *COMO FUNCIONA*. Obtenido de <http://comofunciona.co.com/el-polipasto-de-cadena/>
- Richard G. Budynas, J. K. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*.
- Sanchez, W., y Coarite, X. (2017). *MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE HEINIFICACIÓN DE FORRAJE MEDIANTE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEGADORA - ACONDICIONADORA*. Universidad del Altiplano, Puno - Perú.
- Sosa, E., Cabrera, E., y Pérez, D. (OCTUBRE de 2009). *INIFAP*. Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3750>

- Sotomayor, Pablo. (2013). *ENFARDADORA MANUAL MODIFICADA. TECNOLOGÍAS PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES*. Argentina: INTA.
- Tamberoweb. (01 de Abril de 2016). *tambero.com*. Obtenido de <https://www.tambero.com/posts/686-la-importancia-de-la-alfalfa-en>
- Torres, H. (2011). *Cáritas del Perú*. Obtenido de [http://www.caritas.org.pe/boletin11\\_2011/enfoque4.html](http://www.caritas.org.pe/boletin11_2011/enfoque4.html)
- Vargas, A. I. (1992). *proyecto de fabricación de tecles de 1 TM*. LIMA: UNI.
- Vargas, G. (2015). *Calaméo*. Módulo, Instituto de educación superior tecnológico público, chocope. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/004503924d8ca8fdd1f62>
- Vyhmeister, H. (20 de Octubre de 1982). *Construya su propia enfardadora manual*. Obtenido de DOCPLAYER: <http://docplayer.es/70431833-Construya-su-propia-enfardadora-manual.html>

Anexo 1: Anuario estadístico 2015 – 2016 (MINAGRI)

Región	Superficie cosechada (ha)				Producción (t)				Rendimiento (t/ ha)			Precio al productor (S/ / t)		
	2015	2016	Var. %	Part % 2016	2015	2016	Var. %	Part % 2016	2015	2016	Var. %	2015	2016	Var. %
<b>Nacional</b>	<b>166 715</b>	<b>169 773</b>	<b>2</b>	<b>100</b>	<b>6 821 765</b>	<b>6 636 695</b>	<b>-3</b>	<b>100</b>	<b>41</b>	<b>39</b>	<b>-4</b>	<b>180</b>	<b>198</b>	<b>10</b>
Amazonas	120	125	4	0	11 765	12 260	4	0	98	98	0	304	386	27
Áncash	7 835	7 902	1	5	237 939	223 815	-6	3	30	28	-7	205	216	5
Apurímac	2 730	2 761	1	2	95 301	105 820	11	2	35	38	10	239	306	28
<b>Arequipa</b>	<b>40 240</b>	<b>40 284</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>2 994 346</b>	<b>2 919 437</b>	<b>-3</b>	<b>44</b>	<b>74</b>	<b>72</b>	<b>-3</b>	<b>109</b>	<b>114</b>	<b>5</b>
Ayacucho	8 142	7 951	-2	5	217 396	212 956	-2	3	27	27	0	244	281	15
Cajamarca	3 655	2 212	-39	1	184 177	170 418	-7	3	50	77	53	181	191	6
Callao	10	0	-100	0	132	0	-100	0	13	-	-100	1 000	-	-100
Cusco	2 319	2 175	-6	1	139 869	142 650	2	2	60	66	9	352	336	-5
Huancavelica	10 556	10 367	-2	6	150 261	144 452	-4	2	14	14	-2	163	172	6
Huánuco	646	745	15	0	16 318	17 252	6	0	25	23	-8	214	225	5
Ica	5 554	5 764	4	3	162 849	149 631	-8	2	29	26	-11	296	328	11
Junín	2 998	3 112	4	2	116 200	116 141	0	2	39	37	-4	224	262	17
La Libertad	5 458	5 484	0	3	222 491	227 535	2	3	41	41	2	260	262	1
Lambayeque	2 639	2 602	-1	2	82 346	84 914	3	1	31	33	5	216	250	16
Lima	10 578	10 311	-3	6	413 728	402 277	-3	6	39	39	0	293	334	14
Lima Metropolitana	32	33	3	0	919	967	5	0	29	29	2	241	241	0
Moquegua	9 583	9 348	-2	6	580 076	434 524	-25	7	61	46	-23	86	108	26
Pasco	162	163	1	0	2 065	2 196	6	0	13	13	6	331	360	9
Piura	143	161	13	0	2 695	3 182	18	0	19	20	5	412	435	6
<b>Puno</b>	<b>42 231</b>	<b>47 180</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>945 569</b>	<b>1 019 036</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>-4</b>	<b>305</b>	<b>306</b>	<b>0</b>
Tacna	11 085	11 094	0	7	245 323	247 234	1	4	22	22	1	216	276	27

Fuente: SIEA

**Anexo 2: Producción de alfalfa por región y provincia - Boletín Estadístico del trimestre IV 2016/2017 (MINAGRI)**

Región/ provincia	Producción (miles t)			Precio al productor (S/ / t)		
	2016	2017	Var. %	2016	2017	Var. %
TARMA	1,8	1,8	2,3	364	311	-14,5
YAULI	0,1	0,1	5,8	270	298	10,3
<b>LA LIBERTAD</b>	<b>68,1</b>	<b>66,9</b>	<b>-1,7</b>	<b>265</b>	<b>261</b>	<b>-1,5</b>
ASCOPE	15,5	16,2	4,6	258	249	-3,4
BOLIVAR	0,8	0,8	1,2	298	300	0,6
CHEPEN	16,9	15,9	-6,2	253	250	-1,1
GRAN CHIMU	0,3	0,3	0,5	272	296	8,8
JULCAN	0,9	0,7	-25,4	289	300	3,7
OTUZCO	1,4	1,4	1,2	290	300	3,4
PACASMAYO	5,7	4,6	-19,6	257	250	-2,9
PATAZ	7,2	7,2	1,2	293	300	2,5
SANCHEZ CARRION	1,2	1,2	0,2	297	300	1,1
SANTIAGO DE CHUCC	3,5	3,4	-2,2	297	300	1,2
TRUJILLO	2,5	2,6	4,2	258	250	-3,1
VIRU	12,3	12,7	2,7	260	250	-3,8
<b>LAMBAYEQUE</b>	<b>20,8</b>	<b>20,4</b>	<b>-1,8</b>	<b>257</b>	<b>240</b>	<b>-6,8</b>
CHICLAYO	16,7	16,3	-1,9	275	253	-7,8
FERREÑAFE	0,6	0,7	14,8	150	150	0,0
LAMBAYEQUE	3,5	3,4	-4,2	194	194	0,0
<b>LIMA (excluye LM)</b>	<b>94,1</b>	<b>87,8</b>	<b>-6,6</b>	<b>344</b>	<b>369</b>	<b>7,2</b>
BARRANCA	13,9	12,5	-10,1	300	200	-33,3
CAJATAMBO	11,5	11,0	-4,6	171	200	16,7
CANTA	2,6	2,7	3,4	302	314	4,0
CAÑETE	1,5	1,2	-17,1	189	186	-1,7
HUARAL	2,8	1,5	-46,5	399	318	-20,4
HUAROCHIRI	24,1	23,1	-4,1	435	562	29,4
HUAURA	10,0	8,2	-18,2	563	667	18,5

### Anexo 3: Modelo de entrevista

#### DIRIGIDA A LOS AGRICULTORES DE LA COMISION DE USUSARIOS " TOLON "

Tema: DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPAQUETADORA DE ALFALFA CON CAPACIDAD DE 25 A 30 KG

#### ESTRUCTURA DE ENTREVISTA

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nombre del Entrevistado: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

#### OBJETIVO:

Conocer las actividades que llevan a cabo los agricultores para la venta de la alfalfa, abarcando la recolección para el almacenado y distribución de la misma, con la finalidad de encontrar el impacto que lograría el desarrollo de un diseño de máquina que ayude a los procesos ya mencionados.

#### PREGUNTAS:

1. ¿Qué tipo de empresas son las principales consumidoras de su producto?

- Hipódromos
- Fábrica de productos lácteos
- Empresa de exportación
- Mercado a abastos
- Otros

2. ¿Cuánto tiempo le toma recolectar toda la producción de alfalfa por hectárea?

---

---

---

---

3. ¿Logra almacenar toda su producción en el área que destina para dicha finalidad?

---

---

---

---

4. ¿Conoce la existencia de máquinas enfardadoras de Alfalfa?

---

---

---

---

5. ¿Conoce o usa alguno de los siguientes tipos de enfardado?

- Enfardado prismático
- Enfardado en rollos
- Almacena el producto suelto

6. ¿Quisiera contar con una máquina que enfarde la alfalfa para toda su producción?

---

---

---

7. ¿Aumentaría su producción al contar con fardos que optimicen el espacio de su almacén?

---

---

---

8. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina que enfarde alfalfa?

---

---

---

9. ¿Obtendría más ganancias al vender su producto en fardos?

---

---

---

10. En tiempo de cosecha y almacenado de la alfalfa ¿Cuántas horas al día dedica al enfardado o almacenado de la misma?

---

---

---

11. ¿Si enfarda la alfalfa o lo llegar a hacer, cuál sería el peso ideal para usted?

---

---

---

---

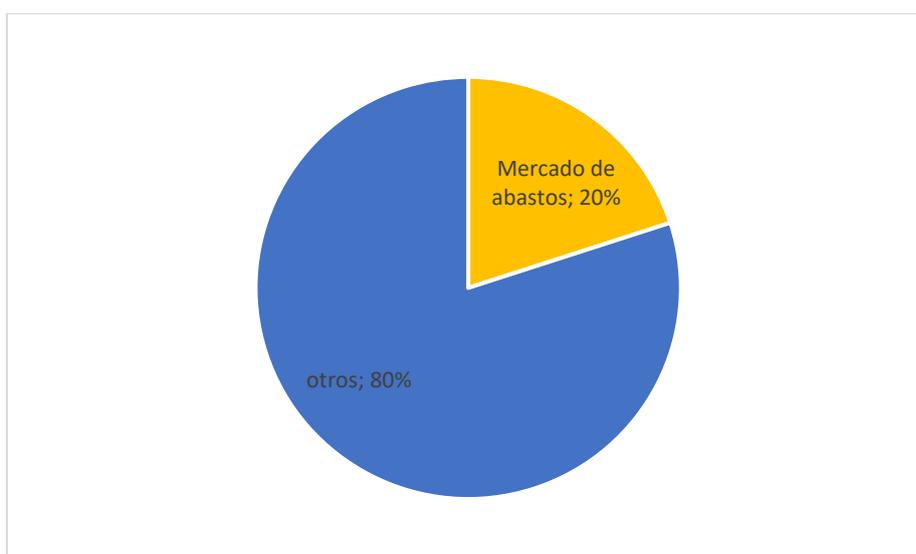
12. Le supondría una ventaja comercial y de transporte, tener un fardo de alfalfa de:

- 20-25 Kg
- 30- 35 Kg
- Otra Cantidad:

#### Anexo 4: Resultados de las entrevistas

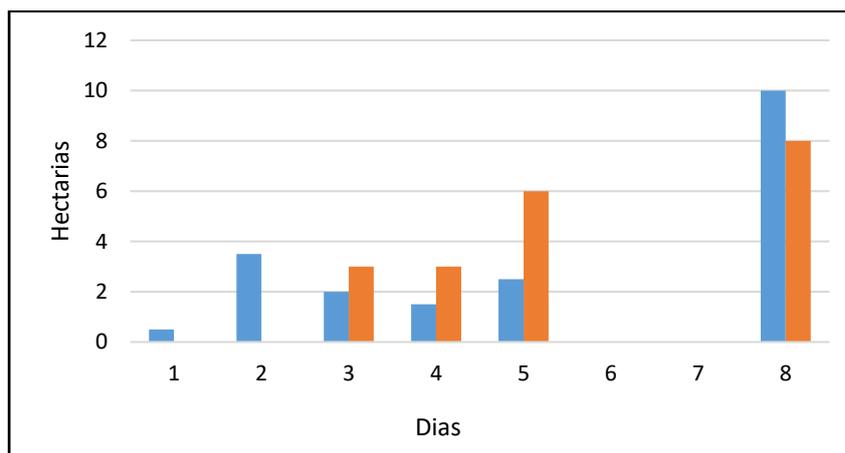
1. ¿Qué tipo de empresas son las principales consumidoras de su producto?

Ítems	Personas	%
Hipódromos	-	-
Fábrica de productos lácteos	-	-
Empresa de exportación	-	-
Mercado de abastos	2	20%
otros	8	80%
<b>total</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>



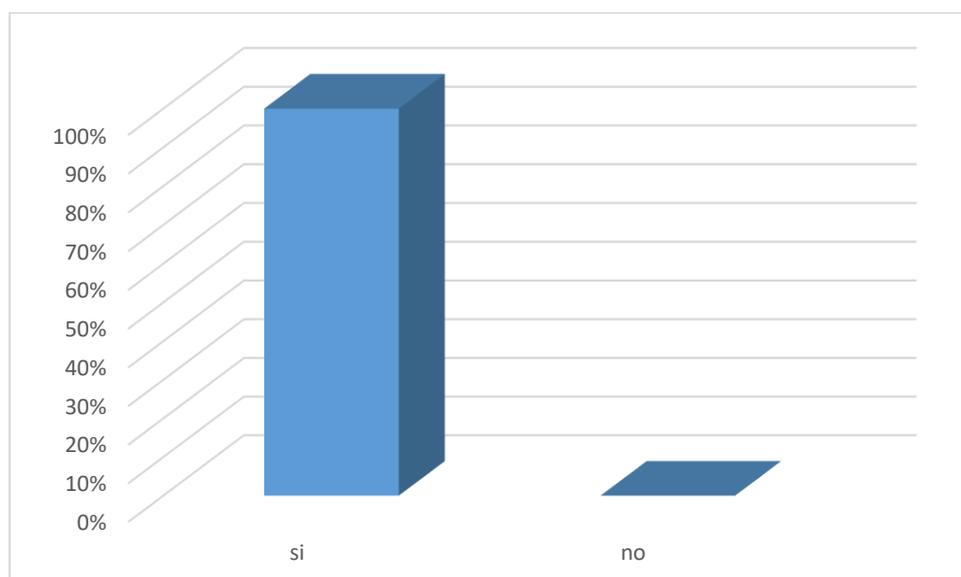
Se observa que, de 10 personas encuestadas, 2 personas que representan el 20% respondieron que sus principales empresas de consumo son los mercados, mientras que un 80% manifiestan que sus principales empresas de consumo son otros (ejemplo: pequeños establos, fondos)

2. ¿Cuánto tiempo le toma recolectar toda la producción de alfalfa por hectárea?



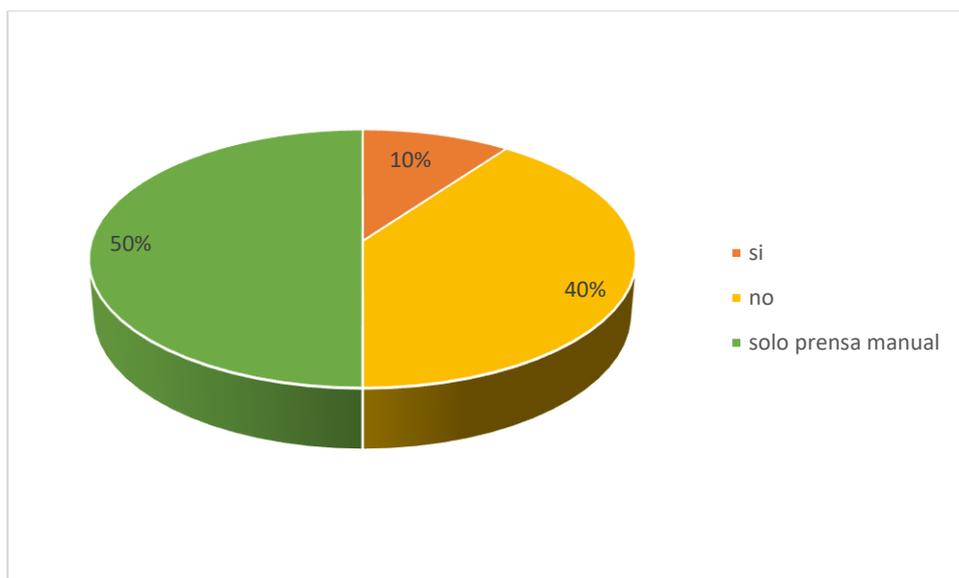
Se observa que, de 10 personas encuestadas, 2 personas coinciden que el tiempo en recolectar su producción de 8 a 10 hectáreas en 8 días, mientras que, a menor hectárea, menor será los días de recojo por hectárea.

3. ¿Logra almacenar toda su producción en el área que destina para dicha finalidad?



Se observa que, de 10 personas encuestadas, que representan el 100% respondieron todos que si logran almacenar su producción en el mismo campo de su terreno.

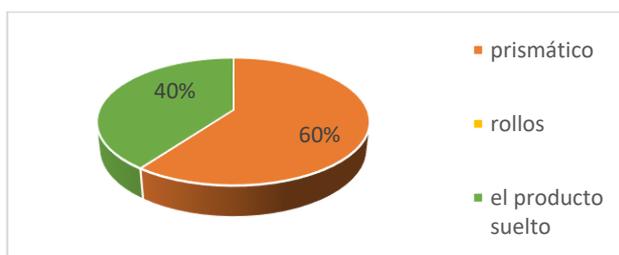
4. ¿Conoce la existencia de máquinas enfardadoras de Alfalfa?



Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 50% solo conoce la prensa manual (artesanal), el 40% desconoce de estas máquinas y un 10% conoce por información de periódicos y el internet la existencia de estas máquinas.

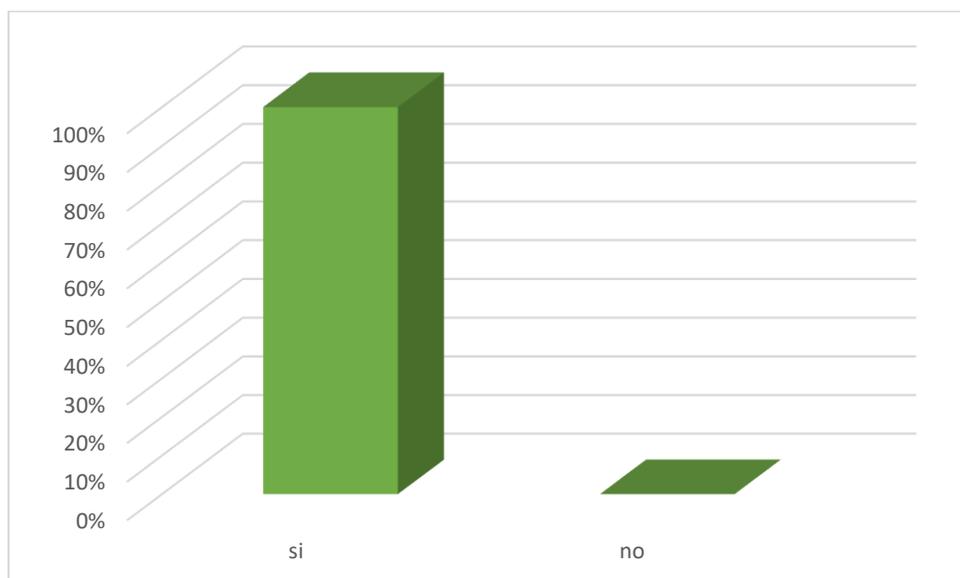
5. ¿Conoce o usa alguno de los siguientes tipos de enfardado?

Ítems	personas	%
prismático	6	60%
rollos	-	-
el producto suelto	4	40%
total	10	100%



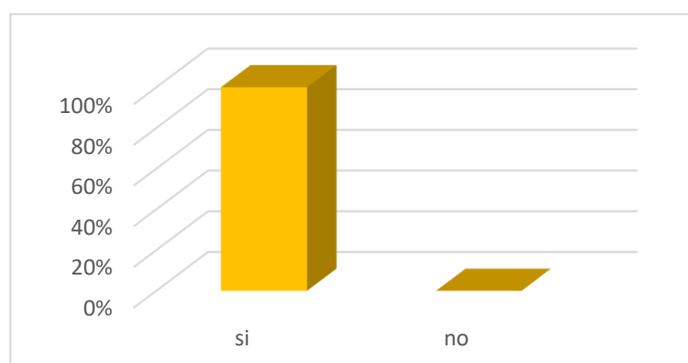
Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 60% conoce el enfardado prismático y el 40% usa y/o almacena su producto suelto.

6. ¿Quisiera contar con una máquina que enfarde la alfalfa para toda su producción?



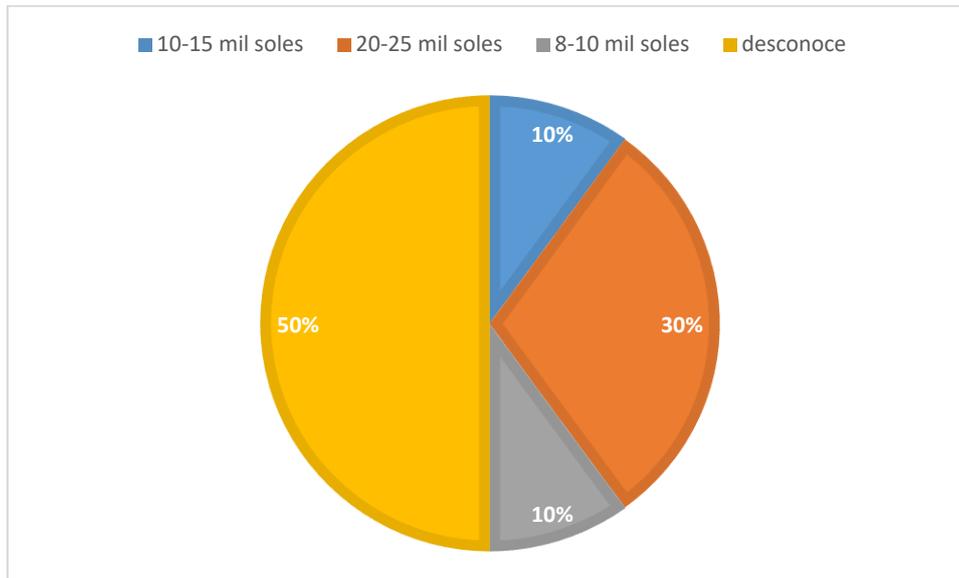
Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 100% respondieron que sí, quieren contar con la máquina, y que la adquirirían sería entre toda la asociación.

7. ¿Aumentaría su producción al contar con fardos que optimicen el espacio de su almacén?



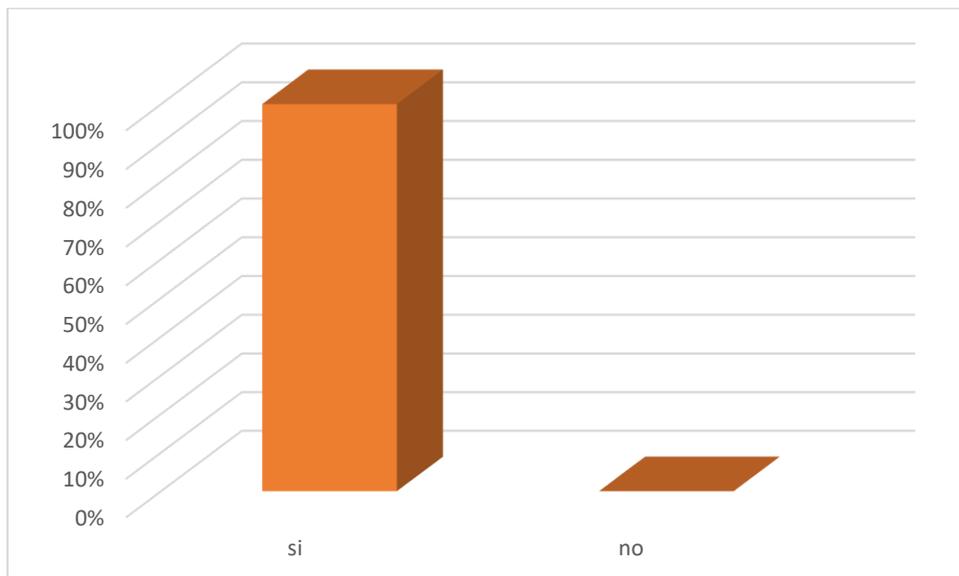
Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 100% respondió que sí, porque tendría mejores ingresos.

8. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina que enfarde alfalfa?



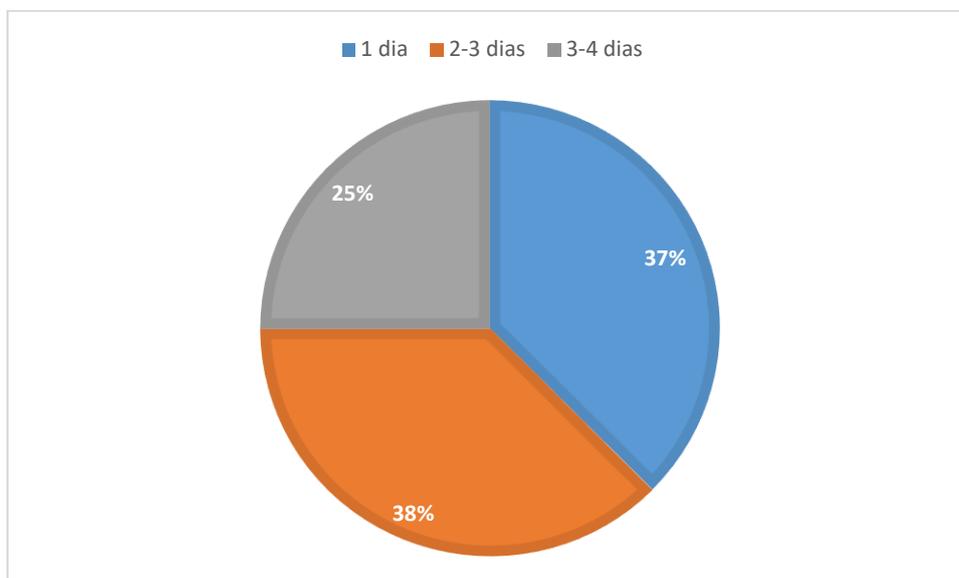
Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 50% desconoce un precio por ser un producto nuevo, un 30% tiene un precio porque ha escuchado o se ha informado de la web. Pero los valores están en esos rangos.

9. ¿Obtendría más ganancias al vender su producto en fardos?



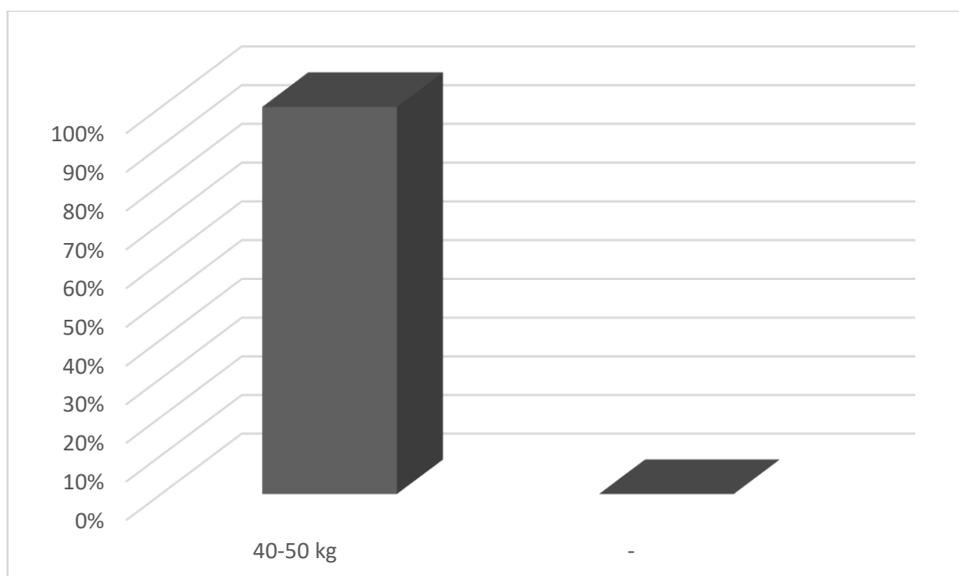
Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 100% respondieron que sí, obtendrían ganancias por darle un valor agregado al producto.

10. ¿En tiempo de cosecha y almacenado de la alfalfa ¿Cuántas horas al día dedica al enfardado o almacenado de la misma?



Se observa que, de 10 personas encuestadas, el 50% dedica un promedio de 2 a 3 días, el 30% en un día y el 20% de 3 a 4 días. Esto va a depender por el número de hectáreas por agricultor.

11. ¿Si enfarda la alfalfa o lo llegar a hacer, cuál sería el peso ideal para usted?



Además, para sinterizar la pregunta 12 que está en relación a la respuesta de la 11. Se observa que de 10 personas encuestadas que representan el 100% manifiestan que el peso ideal para ellos es de 40 a 50 kg.

## Anexo 5: Código de Ética del CIP



# **CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**

## Anexo 6: Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

# CÓDIGO DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA USS

VERSIÓN 03

RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS

**CHICLAYO - PERÚ**

Versión: 03	Código: vRI-CE	F. Implementación:	Página 1 de 29
Elaborado por: Dirección de Investigación	Ratificado por: Planificación y Desarrollo Institucional – Asesoría Legal		Ratificado con Resolución Rectoral N° 0851- 2017/USS

## Anexo 7: Ensayos en el taller



## Anexo 8: Catálogo de Aceros

# barras lisas y perfiles

## Ángulos Estructurales



DIMENSIONES	
Sistema Métrico (mm)	
20 x 20 x 2.0	
20 x 20 x 2.5	
20 x 20 x 3.0	
25 x 25 x 2.0	
25 x 25 x 2.5	
25 x 25 x 3.0	
25 x 25 x 4.5	
30 x 30 x 2.0	
30 x 30 x 2.5	
30 x 30 x 3.0	
30 x 30 x 4.5	
38 x 38 x 2.0	

### USOS:

En la fabricación de puertas, ventanas, rejas y/o artículos decorativos para el hogar.

También se utiliza en la fabricación de estructuras para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo	= 2,530 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,620 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento en 200 mm	
Espesores:	
2.0mm, 2.5mm, 3.0mm,	
3/32" y 1/8"	= 15.0% mínimo
4.5 mm y 3/16"	= 15.0% mínimo
1/4"	= 17.5% mínimo
5/16", 3/8" y 1/2"	= 20.0% mínimo
Soldabilidad	= Buena

### NORMAS TÉCNICAS:

Sistema Métrico: Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36 M  
Tolerancias Dimensionales: ISO 657/ V

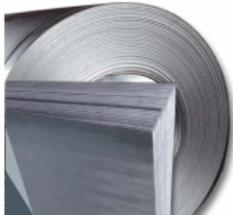
### PRESENTACIÓN:

Se producen en longitudes de 6 metros. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

# productos planos

## Planchas y Bobinas Laminadas en Caliente

### Planchas y Bobinas LAC



DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS LAC Calidad Estructural PDLAC A36 (mm)	BOBINAS LAC Calidad ASTM A36 (mm)
1.5 x 1,200 x 2,400	1.8 x 1,200
1.8 x 1,200 x 2,400	1.9 x 1,200
1.9 x 1,200 x 2,400	2.0 x 1,200
2.0 x 1,200 x 2,400	2.2 x 1,200
2.2 x 1,200 x 2,400	
2.3 x 1,200 x 2,400	
2.5 x 1,200 x 2,400	
2.8 x 1,200 x 2,400	
2.9 x 1,200 x 2,400	
4.0 x 1,200 x 2,400	
4.4 x 1,200 x 2,400	
4.5 x 1,200 x 2,400	
5.9 x 1,200 x 2,400	

### NORMAS TÉCNICAS:

Estructural: ASTM A36

### PRESENTACIÓN:

**Planchas:** Las planchas vienen enzunadas sin ninguna protección en paquetes de 8.0t como máximo.

**Bobinas:** Se presentan en calidad estructural. Las bobinas se entregan con peso mínimo de 5 TM aproximadamente, enzunadas longitudinalmente y transversalmente.

### USOS:

Se usa en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Estructural	
Límite de Fluencia mínimo	= 2,550 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la Tracción	= 4,080 - 5,610 kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento en 50 mm	= 20.0% mínimo
Doblado	= a 180° (opcional).
Diámetro Pin	= 3e. Sentido Laminación

# Planchas Estriadas LAC

**DENOMINACIÓN:**  
PLACE A36

**DESCRIPCIÓN:**  
Planchas de acero laminadas en caliente calidad comercial, con bordes de laminación o bordes cortados, con figuras geométricas resaltadas distribuidas en intervalos regulares, en una de las caras.

**USOS:**  
En la construcción de plataformas, pisos, escaleras, equipamiento de transporte y circulación, y estructuras en general.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
ASTM A36/A36M-14  
JIS G3193-2008  
ASTM A786/A786M-15

**PRESENTACIÓN:**  
Las planchas vienen sueltas en función del espesor o en paquetes de 2.0 TM mínimo.  
A solicitud del cliente se emiten certificados de calidad.

**DIMENSIONES NOMINALES:**

PLACE ASTM A36
2.5 x 1,200 x 2,400 mm
2.9 x 1,200 x 2,400 mm

**COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):**

Elementos	ASTM A36
C	0.25 máx.
P	0.030 máx.
S	0.030 máx.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Calidad	Norma	Límite de Fluencia (Kg/mm <sup>2</sup> ) (MPa)	Resistencia a la Tracción (Kg/mm <sup>2</sup> ) (MPa)	Alargamiento en 200mm (%)	Doblado a 180°
Estructural	ASTM A36	25.50 mín. (250 mín)	40.80 - 56-10 (400-550)	20 mín.	Sin fisura(*)

(\*) El ensayo de doblado es opcional.

**TOLERANCIAS DE MASA Y DIMENSIONALES:**  
Según ASTM A786M y ASTM A36

**TOLERANCIAS DE MASA ESPECÍFICA:**

ESPESOR NOMINAL (mm)	MASA ESPECÍFICA NOMINAL (Kg/m <sup>3</sup> )	TOLERANCIA PARA MASA PROMEDIO DE LOTES (en % de la masa específica nominal)	
		+	-
2.5	20.69	8	5
2.9	23.67	8	5
4.4	35.58	6	5
5.9	47.39	5	3

Tolerancia en ancho: + 10 mm / - 0 mm  
Tolerancia en longitud: + 13 mm / - 0 mm  
Falta de aplanado: 24 mm máx.

## Anexo 9: Ficha técnica del Motorreductor IE2 NORD

**0,75 kW**



### 1 SI, 1 SMI - Motorreductores de sinfin

P <sub>1</sub> [kW]	n <sub>2</sub> [min <sup>-1</sup> ]	M <sub>2</sub> [Nm]	f <sub>B</sub>	l <sub>ges</sub>	l <sub>sch</sub>	l <sub>vor</sub>	F <sub>R</sub>	F <sub>RP</sub>	Motorreductor			mm
									IE1	IE2	IE3	
0,75	18	231	0,9	80	80		8,0	4,9	SK 15I 75 IEC80 - 80 L/4	SK 15I 75 IEC80 - 80 LH/4	SK 15I 75 IEC80 - 80 LP/4	B36-37
	24	188	1,2	60	60		8,0	4,9				
	28	164	1,4	50	50		8,0	4,9				
	35	140	1,8	40	40		8,0	5,0				
	47	117	1,9	30	30		8,0	5,0				
	57	101	2,3	25	25		8,0	5,0				
	71	83	3,0	20	20		8,0	5,0	SK 15MI 75 IEC80 - 80 L/4	SK 15MI 75 IEC80 - 80 LH/4	SK 15MI 75 IEC80 - 80 LP/4	24 B46-47
	24	173	0,8	80	80		5,0	2,2	SK 15I 63 IEC80 - 80 L/4	SK 15I 63 IEC80 - 80 LH/4	SK 15I 63 IEC80 - 80 LP/4	B34-35
	28	154	0,9	50	50		5,1	2,3				
	35	132	1,1	40	40		5,3	2,4				
	47	105	1,5	30	30		5,4	2,4				
	57	96	1,4	25	25		5,4	2,4				
	71	80	1,8	20	20		5,5	2,5				
	94	62	2,5	15	15		5,5	2,5				
	113	54	2,4	12,5	12,5		5,5	2,5				
	142	44	3,0	10	10		5,6	2,5	SK 15MI 63 IEC80 - 80 L/4	SK 15MI 63 IEC80 - 80 LH/4	SK 15MI 63 IEC80 - 80 LP/4	16 B44-45
	47	99	0,9	30	30		4,8	2,4	SK 15I 50 IEC80 - 80 L/4	SK 15I 50 IEC80 - 80 LH/4	SK 15I 50 IEC80 - 80 LP/4	B32-33
	57	91	0,8	25	25		4,8	2,4				
	71	76	1,1	20	20		4,8	2,5				
	94	60	1,5	15	15		4,8	2,5				
	113	53	1,4	12,5	12,5		4,8	2,5				
	142	43	1,7	10	10		4,8	2,5				
	189	33	2,4	7,5	7,5		4,8	2,5				
	283	23	2,9	5	5		4,8	2,5	SK 15MI 50 IEC80 - 80 L/4	SK 15MI 50 IEC80 - 80 LH/4	SK 15MI 50 IEC80 - 80 LP/4	15 B42-43
	94	57	0,9	15	15		2,8	1,1	SK 15I 40 IEC80 - 80 L/4	SK 15I 40 IEC80 - 80 LH/4	SK 15I 40 IEC80 - 80 LP/4	B30-31
	113	51	0,8	12,5	12,5		2,7	1,1				
	142	42	1,0	10	10		2,7	1,1				
	189	32	1,4	7,5	7,5		2,8	1,1				
	283	22	1,7	5	5		2,4	1,2				
									SK 15MI 40 IEC80 - 80 L/4	SK 15MI 40 IEC80 - 80 LH/4	SK 15MI 40 IEC80 - 80 LP/4	

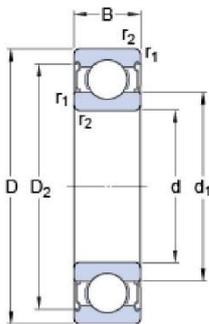
## Anexo 10: Ficha técnica del rodamiento 6205 2Z SKF



### 6205-2Z

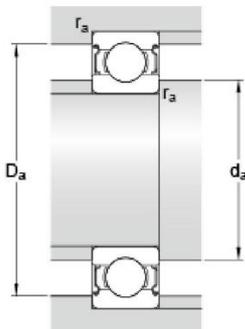
Producto popular  
SKF Explorer

#### Dimensiones



d	25	mm
D	52	mm
B	15	mm
d <sub>1</sub>	≈ 34.35	mm
D <sub>2</sub>	≈ 46.21	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1	mm

#### Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	min. 30.6	mm
d <sub>a</sub>	max. 34.3	mm
D <sub>a</sub>	max. 46.4	mm
r <sub>a</sub>	max. 1	mm

#### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	14.8	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	7.8	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.335	kN
Velocidad de referencia		28000	r/min
Velocidad límite		14000	r/min
Factor de cálculo	k <sub>r</sub>	0.025	
Factor de cálculo	f <sub>0</sub>	14	

#### Masa

Rodamiento de masa		0.13	kg
--------------------	--	------	----

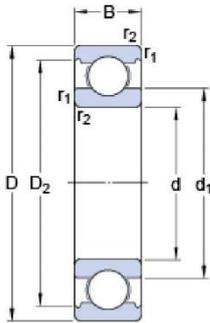
## Anexo 11: Ficha técnica del rodamiento 6206 SKF



### 6206

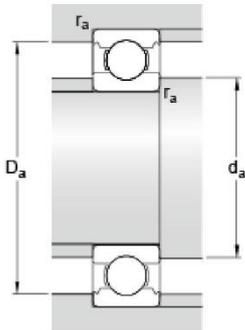
Producto popular  
SKF Explorer

#### Dimensiones



d	30	mm
D	62	mm
B	16	mm
d <sub>1</sub>	≈ 40.36	mm
D <sub>2</sub>	≈ 54.06	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1	mm

#### Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	min. 35.6	mm
D <sub>a</sub>	max. 56.4	mm
r <sub>a</sub>	max. 1	mm

#### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	20.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	11.2	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.475	kN
Velocidad de referencia		24000	r/min
Velocidad límite		15000	r/min
Factor de cálculo	k <sub>r</sub>	0.025	
Factor de cálculo	f <sub>0</sub>	14	

#### Masa

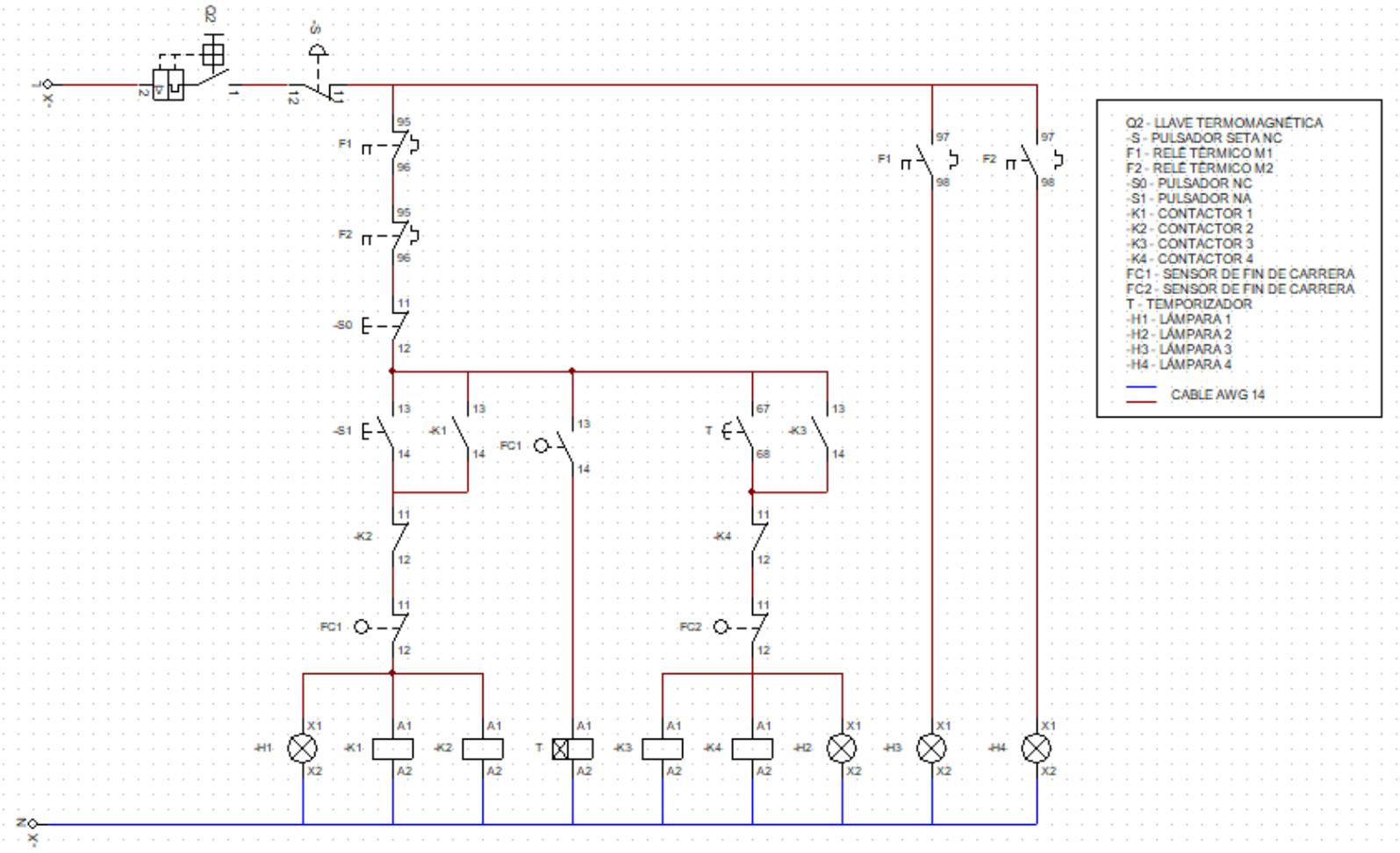
Rodamiento de masa		0.2	kg
--------------------	--	-----	----

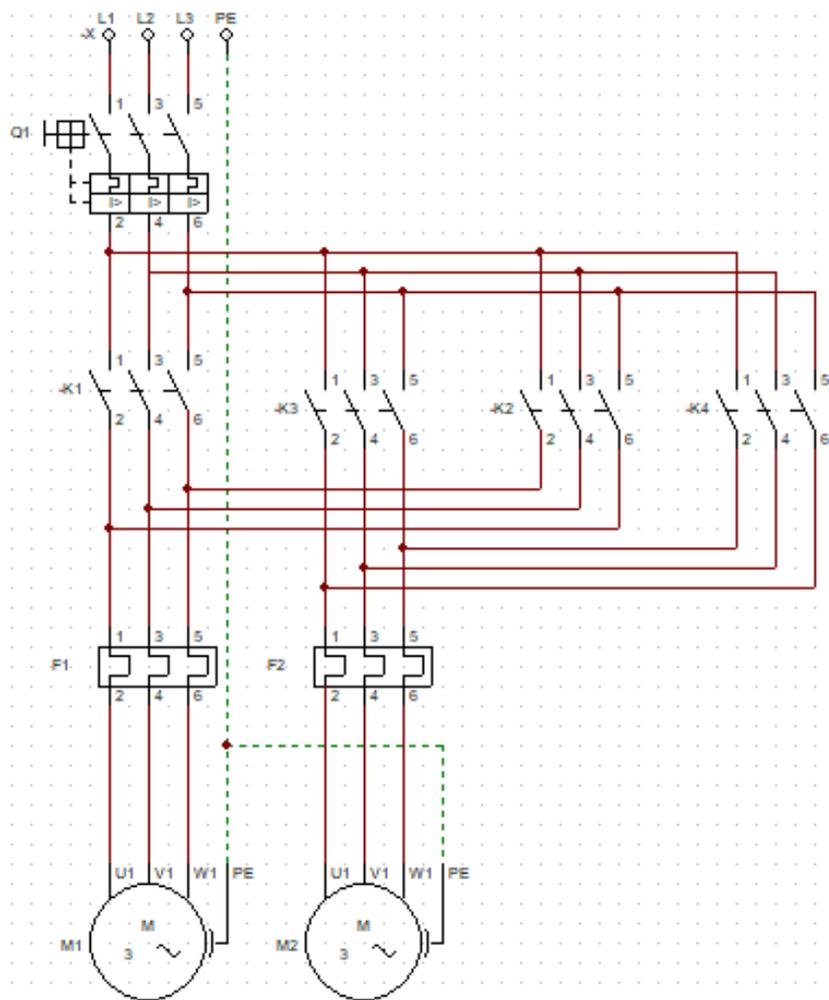
## Anexo 12: Ficha técnica del Generador Honda GX-290

- Motor Honda GX-290 de 4 tiempos, enfriado por aire
- Autonomía de 3.5 horas
- Capacidad del motor 289 cc
- Depósito para 6 litros de combustible
- Arranque eléctrico
- Potencia continua 4500 W
- Potencia máxima 5000 W
- Medidas: 70x79x88 cm
- Peso 68 kg
- Nivel de ruido 99 dBA
- ¡5 años de garantía!



### Anexo 13: Diagrama eléctrico de mando y protección





- Q1 - GUARDAMOTOR
- K1 - CONTACTOR 1
- K2 - CONTACTOR 2
- K3 - CONTACTOR 3
- K4 - CONTACTOR 4
- F1 - RELE TÉRMICO M1
- F2 - RELE TÉRMICO M2
- M1 - MOTORREDUCTOR 1
- M2 - MOTORREDUCTOR 2
- CABLE AWG 14
- - - CABLE AWG 14