

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA ENFARDADORA DE PASTO
CON FINES DIDÁCTICOS PARA LA CARRERA TÉCNICA PROFESIONAL EN
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DEL INSTITUTO DE PROYECCIÓN
REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA (IPRED) DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER.

WILLIAM ALBERTO SUAREZ CHAPARRO
NICOLAS FELIPE PINTO VEGA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA ENFARDADORA DE PASTO
CON FINES DIDÁCTICOS PARA LA CARRERA TÉCNICA PROFESIONAL EN
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DEL INSTITUTO DE PROYECCIÓN
REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA (IPRED) DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER.

WILLIAM ALBERTO SUAREZ CHAPARRO
NICOLAS FELIPE PINTO VEGA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR

ING RICARDO ALFONSO JAIMES ROLON
INGENIERO MECÁNICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios por todas sus bendiciones, por brindarme salud, inteligencia, una gran familia y amigos.

A mi mama y mama Ana por ser mi más grande apoyo, por ser unas luchadoras, principalmente gracias a ellas consigo este gran logro y espero siempre llenarlas de orgullo y felicidad.

A mi familia que de una u otra manera formaron parte de este proceso, tías, tíos, primos, primas, mi papa, mi papa chato y mis hermanos.

A mi novia por acompañarme en la última y más crucial etapa de mi carrera, por sus consejos, amor, por ser mi amiga y confidente.

Por último, a todos mis amigos tanto de la universidad como de maní que también formaron parte de esto, que me apoyaron tanto en lo académico como en la vida.

A todos ustedes les dedico esto y muchas gracias.

William Alberto Suarez Chaparro.

DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso, porque sin El nada hubiera sido posible.

A mi madre y a mi padre, que siempre han sido mi gran guía y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi tía Alix, porque sin tener ninguna obligación siempre estuvo apoyándome y animándome durante cada decisión de mi vida.

A mi hermano Jorge, por ser mi más cercano amigo y compañía.

A mi abuela Alix, aunque no pudo verme alcanzar este nuevo logro, sé que me mira y está muy feliz y orgullosa de todo lo que he logrado.

A toda mi familia, porque sé que siempre me dieron su confianza y apoyo sin importar la situación.

A mis amigos, por ser mi compañía durante todo el proceso de la universidad y brindarme grandes momentos de alegría.

A todos ustedes les dedico este proyecto y muchas gracias.

Nicolás Felipe Pinto Vega.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, director del proyecto, por su respaldo, confianza y siempre buena disposición y colaboración.

Carlos Aníbal Vásquez Cardozo, director del área agroindustrial del IPRED, por su apoyo, Respaldo y confianza en el proyecto.

A Duván Rey, mecánico y al taller Indumetalicas AN-RAGA s.a.s. por la construcción de la máquina.

Al Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED), por su colaboración económica que permitió la construcción del proyecto.

A Gonzalo Calderón Caballero, Técnico de soporte académico de la escuela de ingeniería mecánica, por su impulso al proyecto.

A Sergio Muñoz Ballesteros el encargado de la granja Guatiguara, por su acompañamiento y disposición siempre a la hora que se necesitó.

A Jorge Enrique Pinto Hernández, por su orientación y apoyo técnico en el proceso de diseño y construcción de la máquina.

Nicolás F. Pinto y William A. Suarez.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2. MARCO REFERENCIAL	27
2.1 EL PASTO EN COLOMBIA.....	27
2.1.1 Gramíneas de clima frio	27
2.1.2 Gramíneas de clima cálido.....	35
2.2 ENFARDADO, PROCESO PRODUCTIVO	42
2.2.1 Creación del fardo.....	42
2.3 SECTOR BOVINO EN EL PAÍS.....	45
2.3.1 Otros datos del sector bovino	46
3. DISEÑO PRELIMINAR	47
3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	47
3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	47
3.2.1 Planteamiento de alternativas.....	47
3.2.2 Evaluación y selección de alternativas.....	49
3.3 DISEÑO CONCEPTUAL.....	49

4. DISEÑO EN DETALLE	53
4.1 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	53
4.1.1 Calculo de la fuerza de entrada	53
4.1.2 Calculo computacional primer subsistema	59
4.2 SUBSISTEMA DE COMPACTACIÓN	68
4.2.1 Diseño del subsistema de compactación montaje n°1 (palanca)	70
4.2.2 Diseño de la placa de compactación	76
4.2.3 Diseño del subsistema de compactación montaje n°2 (neumático)	79
5. CONSTRUCCIÓN	84
6. PRUEBAS Y PINTURA	94
6.1 PINTURA DE LA ENFARDADORA	94
6.2 PRUEBAS	99
6.2.1 Prueba con sistema de palanca	99
6.2.2 Prueba con sistema neumático	103
7. MANUAL DE OPERACIONES	107
8. GUÍA DIDÁCTICA	109
8.1 REALIZACIÓN	109
9. ANALISIS DE COSTOS	112
10. CONCLUSIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de selección	49
Tabla 2. Propiedades del material de los perfiles cuadrados	60
Tabla 3. Propiedades del material de los ángulos y las laminas	60
Tabla 4. Propiedades del material de los ejes de las ruedas	65
Tabla 5. Propiedades del material de los ejes de las ruedas	72
Tabla 6. Propiedades del material de las manivelas	75
Tabla 7. Propiedades del material de los ángulos y las laminas	77
Tabla 8. Propiedades del material del soporte pivotante	81
Tabla 9. Costos totales de la maquina parte 1	112
Tabla 10. Costos totales de la maquina parte 2	112
Tabla 11. Costos totales de la maquina parte 3	113

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pasto azul Ochoro	27
Figura 2. Pasto falsa Poa	28
Figura 3. Pasto Festuca alta	29
Figura 4. Pasto Festuca media	30
Figura 5. Pasto Kikuyo	31
Figura 6. Pasto Raigrás italiano	32
Figura 7. Pasto Raigrás ingles	32
Figura 8. Pasto avena forrajera	33
Figura 9. Pasto brasilero	34
Figura 10. Pasto alemán	35
Figura 11. Pasto Angleton	36
Figura 12. Pasto bahía	36
Figura 13. Pasto Braquiaria	37
Figura 14. Pasto estrella	38
Figura 15. Pasto caña forrajera	39
Figura 16. Pasto elefante	40
Figura 17. Pasto King grass	41
Figura 18. Fardos rectangulares	43
Figura 19. Fardo en rollo	43
Figura 20. Enfardadoras	44

Figura 21. Discriminación del PIB nacional	45
Figura 22. Precio del ganado en pie, en pesos colombianos	46
Figura 23. Inventario bovino por Departamentos	46
Figura 24. Alternativa n°1, enfardadora mainero 5700	48
Figura 25. Alternativa n°2, enfardadora manual-metálica rodada	48
Figura 26. Alternativa n°3, enfardadora manual (vertical)	48
Figura 27. Diseño conceptual (subsistema de compactación manual)	50
Figura 28. Diagrama cinemático del sistema de palanca	50
Figura 29. Diseño conceptual (subsistema de compactación neumático)	51
Figura 30. Diagrama cinemático del sistema neumático. Cilindro simple efecto con válvulas 3/2.	51
Figura 31. Sistema cilindro pistón	54
Figura 32. Diagrama de posición del cilindro neumática	58
Figura 33. Distribución de la fuerza de entrada a la máquina	59
Figura 34. Tensiones de Von Mises estructural	61
Figura 35. Desplazamientos estructural	61
Figura 36. Deformaciones unitarias estructura	62
Figura 37. Factor de seguridad estructura	62
Figura 38. Diagrama de centroides en la maquina	63
Figura 39. Centroide final de la maquina	64
Figura 40. Diagrama de fuerzas en Y en 2-D	64
Figura 41. Eje de la rueda sometido a flexión	65

Figura 42. Tensiones de Von Mises eje de la rueda	66
Figura 43. Desplazamientos eje de la rueda	66
Figura 44. Deformaciones unitarias eje de la rueda	67
Figura 45. Factor de seguridad eje de la rueda	67
Figura 46. Montaje sistema manivela-biela-corredera solidworks	69
Figura 47. Montaje sistema neumático solidworks	69
Figura 48. Diagrama del sistema manivela-biela-corredera teorico	70
Figura 49. Determinación teórica de la longitud de las manivelas	71
Figura 50. Fuerza promedio ejercida por un hombre en newton	72
Figura 51. Tensiones de Von Mises palanca	73
Figura 52. Desplazamientos palanca	73
Figura 53. Deformaciones unitarias palanca	74
Figura 54. Factor de seguridad palanca	75
Figura 55. Distribución de la fuerza de entrada placa de compactación	76
Figura 56. Tensiones de Von Mises placa de compactación	77
Figura 57. Desplazamientos placa de compactación	78
Figura 58. Deformaciones unitarias placa de compactación	78
Figura 59. Factor de seguridad placa de compactación	79
Figura 60. Distribución de la fuerza de entrada soporte pivotante	80
Figura 61. Tensiones de Von Mises soporte pivotante	81
Figura 62. Desplazamientos soporte pivotante	82
Figura 63. Deformaciones unitarias soporte pivotante	82

Figura 64. Factor de seguridad soporte pivotante	83
Figura 65. Funcionamiento por accionamiento de palanca	107
Figura 66. Funcionamiento por accionamiento neumático	108
Figura 67. Objetivos de la guía didáctica	110
Figura 68. Procedimiento de la guía didáctica parte 1	110
Figura 69. Procedimiento de la guía didáctica parte 2	111
Figura 70. Procedimiento de la guía didáctica parte 3	111

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Cajón de madera	54
Fotografía 2. Tapa de triplex	55
Fotografía 3. Cajón lleno	55
Fotografía 4. Elementos del experimento	56
Fotografía 5. Pesos utilizados	56
Fotografía 6. Experimento parte 1	57
Fotografía 7. Experimento parte 2	57
Fotografía 8. Medición de los pesos utilizados	57
Fotografía 9. Materiales para la construcción (Tubo cuadrado 2x1 calibre 16)	84
Fotografía 10. Materiales para la construcción (Angulo 1/8 x 1-1/4)	85
Fotografía 11. Armado inicial de la estructura principal (vista lateral)	85
Fotografía 12. Armado inicial de la estructura principal (vista posterior)	86
Fotografía 13. Armado completo de la estructura principal (medición)	86
Fotografía 14. Armado completo de la estructura principal (soldando)	87
Fotografía 15. Montaje de las patas y ejes de las ruedas	87
Fotografía 16. Montaje de la compuerta de extracción con sus respectivas bisagras y seguro	88
Fotografía 17. Montaje de las ruedas	88
Fotografía 18. Armado final de la placa de compactación	89
Fotografía 19. Rodamientos usados para la placa de compactación	89

Fotografía 20. Montaje de la placa de compactación	90
Fotografía 21. Pulido final a la estructura	90
Fotografía 22. Tubo redondo 1" calibre 6 usado como Palanca	91
Fotografía 23. Manivelas	91
Fotografía 24. Montaje de sistema de palanca	92
Fotografía 25. Cilindro neumático	92
Fotografía 26. Válvula 5/2 de pedal	93
Fotografía 27. Montaje de sistema de neumático	93
Fotografía 28. Proceso de despiece y limpieza de la máquina	94
Fotografía 29. Proceso pintura de placa de compactación	95
Fotografía 30. Placa de compactación pintada	95
Fotografía 31. Proceso pintura de la estructura	96
Fotografía 32. Estructura pintada	96
Fotografía 33. Manivelas pintadas	97
Fotografía 34. Apoyo de cilindro neumático pintado	97
Fotografía 35. Palanca	98
Fotografía 36. Enfardadora pintada y ensamblada con sistema de palanca	98
Fotografía 37. Enfardadora pintada y ensamblada con sistema neumático	99
Fotografía 38. Montaje de sistema de palanca	100
Fotografía 39. Alimentación de pasto	100
Fotografía 40. Compactación del pasto	101
Fotografía 41. Amarrado del fardo	101

Fotografía 42. Extracción del fardo	102
Fotografía 43. Pesado del fardo en la báscula	102
Fotografía 44. Montaje de sistema de neumático	103
Fotografía 45. Alimentación de pasto	103
Fotografía 46. Compactación del pasto	104
Fotografía 47. Amarrado del fardo	104
Fotografía 48. Extracción del fardo	105
Fotografía 49. Pesado del fardo en la báscula	105
Fotografía 50. Autores del proyecto	106

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Planos de la maquina

Anexo B. Guía didáctica

Anexo C. Manual de operación

Anexo D. Proceso matriz QFD

Anexo E. Ficha de la válvula

Anexo F. Ficha del cilindro neumático

Anexo G. Ficha de la rueda

Anexo H. Información de las alternativas de diseño

Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS.

.

.

RESUMEN

TITULO:

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA ENFARDADORA DE PASTO CON FINES DIDÁCTICOS PARA LA CARRERA TÉCNICA PROFESIONAL EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DEL INSTITUTO DE PROYECCIÓN REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA (IPRED) DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*.

AUTORES:

WILLIAM ALBERTO SUAREZ CHAPARRO, NICOLÁS FELIPE PINTO VEGA**.

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, PASTO, HENO, ENFARDADORA, DESARROLLO RURAL.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado tiene como finalidad desarrollar un prototipo de maquina enfardadora de pasto para la carrera técnica profesional en producción agropecuaria del IPRED (instituto de proyección y educación a distancia) de la UIS para mostrar a sus estudiantes, de manera didáctica, una alternativa de producción de fardos de heno que sea económica y de fácil manejo y transporte, en comparación a la maquinaria que se encuentra actualmente en el mercado, y eficiente y práctica, referente a los métodos rudimentarios que utilizan hoy en día los pequeños y medianos productores Colombianos, para así poder generar un desarrollo rural, técnico y económico en el sector agrario de Santander.

El proceso de desarrollo inicia con el diseño de la máquina, empezando por el diseño preliminar donde se mira las alternativas disponibles y se define, en general, los componentes y forma del prototipo. Después se realiza el diseño en detalle el cual se divide por subsistemas principales, para mayor facilidad, y se determinan los elementos finales con sus respectivas formas y materiales, todo esto gracias a la utilización de software de diseño como solidworks y procedimientos de cálculo aprendidos durante la carrera. Seguido esto, se pasa a la construcción, donde se muestra en gran medida el proceso realizado, a través de fotografías, para seguir con las pruebas y pintura en la cual se comprueba y valida que los requerimientos propuestos al principio del proyecto se cumplen a cabalidad y sin inconvenientes. Se termina el proceso con la creación de un manual de operación y una guía didáctica que será el procedimiento a seguir por los estudiantes.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, ingeniero mecánico.

ABSTRACT

TITLE:

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF A BALER GRASS MACHINE WITH DIDACTIC PURPOSES FOR PROFESSIONAL TECHNICAL CAREER IN FARMING PRODUCTION OF THE REGIONAL PROJECTION AND DISTANCE EDUCATION INSTITUTE OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*.

AUTHORS:

WILLIAM ALBERTO SUAREZ CHAPARRO, NICOLÁS FELIPE PINTO VEGA**.

KEYWORDS: DESIGN, CONSTRUCTION, GRAZING, HAY, BALER, RURAL DEVELOPMENT.

DESCRIPTION:

This bachelor thesis has as purpose of developing a prototype of baler grass machine for professional technical career in farming production of IPRED (the regional projection and distance education institute), by its acronym in Spanish, of the UIS to show students, in a didactic way, a bale production alternative of hay which was economic and easy to handle and transport, in comparison to machinery currently found in the market, and efficient and practical, concerning to rudimentary methods used today by little and medium Colombian producers, in order to generate a rural, technical and economic development in farming sector of Santander.

The development process starts with machine design, beginning by preliminary design where we look available alternatives and we define, in general, components and prototype shapes. Then we do the detail design which is divided by principal subsystems, for more facility, and we determinate final elements with their respective shapes and materials, thanks of utilization of design software as solidworks and calculation procedures learned through the career. Followed this, it passes to construction where we mostly show made process, through photographs, to continue with tests and painting where we check and validate proposed requirements at the beginning of project are accomplished fully and without inconveniences. We finish the process with creation of an operation manual and a didactic guide which will be the procedure to follow by students.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, ingeniero mecánico.

INTRODUCCIÓN

Actualmente Colombia tiene un atraso tecnológico, con respecto a la vanguardia del mundo, en el área agroindustrial y pecuaria lo cual trae consigo afectaciones en la generación y mejoramiento de la producción en las fincas del país, con el agravante del erróneo pensamiento que posee el campesino colombiano hacia sus terrenos y recursos los cuales no aprovechan al cien por ciento, y la falta de planeación de su producción anual según las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra (en Colombia debido a su ubicación geográfica, generalmente, se pueden encontrar dos estaciones bien definidas que son verano, que se caracteriza por largas jornadas de sequía, e invierno, que se caracteriza por abundantes lluvias.)

Lo que se puede notar de este continuo movimiento es que el pequeño y mediano productor no sabe manejar y administrar de manera correcta los recursos que tiene a su alcance según las circunstancias en las que se encuentra. Por ejemplo, tenemos el pasto. En época de invierno es abundante por lo cual permite la tenencia y crianza de más animales, generalmente bovinos, en menos terreno y permite su mejor desarrollo, pero cuando llega el verano la producción de pasto cae dejando al campesino con solo dos opciones, o vende a muy bajo costo los animales que tenga en exceso (según La Unidad de Ganado por Hectárea, UGH, Actualmente en Santander no se manejan más de 3 animales (adultos) de 350 a 450 kg por hectárea en invierno y en verano solo pueden llegar a ser 1 o 2 reses) o compra pasto para alimentarlos, generando gastos extras.

Por otro lado, también se encuentra que la maquinaria utilizada en el sector agrícola es de un alto nivel técnico y tecnológico por lo tanto de elevados costos de adquisición para el campesino de la región y del país que no posee los recursos necesarios para hacer tal inversión.

Debido a estas problemáticas cabe la necesidad de mostrarle al pequeño y mediano productor cuales son las mejores técnicas de producción agropecuaria que se encuentran actualmente en el mundo y a su disposición, de tal manera que maximice y genere valor a los recursos que posee y sea económica y de fácil adquisición. Esto es exactamente lo que hace la universidad industrial de Santander (UIS) a través de la carrera técnica-profesional en producción agropecuaria que se dicta en la granja Guatiguara, en Piedecuesta-Santander, y sus regionales.

Por lo cual lo que se busca con este proyecto es apoyar los procesos de enseñanza a través de un prototipo de máquina que le muestre a los estudiantes dichas técnicas, que en este caso particular es el enfardado de pasto el cual permite en épocas de invierno almacenar el pasto en abundancia (sin problemas hasta dos años, si se hizo de manera correcta) sin ocupar mucho espacio ni generando esfuerzos adicionales de tal manera que cuando llegue el verano pueda satisfacer las necesidades de sus animales y, en caso de que no tenerlas, generar una fuente extra de ingresos gracias a su comercialización, y en segunda medida que existen máquinas accesibles las cuales pueden implementar en sus fincas.

En conclusión, es mostrarles a los estudiantes, con la máquina, que con esta práctica se puede generar más beneficios con menos recursos, maximizar la producción, y que no es necesario hacer una gran inversión para conseguirla, así obtener un crecimiento económico importante y una mejor calidad de vida para sus familias.

Para llevar a cabo el cumplimiento de este proyecto se desarrollaron los siguientes capítulos donde se explican paso a paso cual fue el procedimiento hecho. Es así

que en el capítulo 2 se encuentra todo lo referente al pasto y el mundo agropecuario colombiano para dar un contexto en lo que se va a trabajar y con qué elementos.

Los capítulos 3 y 4 están dedicado exclusivamente a la etapa de diseño donde se plantearon los primeros bocetos e ideas sobre la máquina y después, de una selección adecuada, se introduce la ingeniera para dar con un diseño ajustado a las necesidades y retos del mundo real.

En los capítulos 5 y 6 se dedicó todo lo referente a traer ese diseño conceptual y virtual a la realidad para probarlo y verificar que cumpla con lo planteado al comienzo del proyecto, es decir, que estas son las etapas de construcción, pruebas y pintura. En ellos también se puede evidenciar correcciones realizadas después de que ciertos detalles no salieran como lo planeado.

Los capítulos 7 y 8 son el desarrollo de los documentos complementarios a la máquina que son el manual de operaciones y la guía didáctica, donde en el primero se dan todas las recomendaciones y advertencias de uso de la maquina como las buenas prácticas y elementos de protección a la hora de su funcionamiento. El segundo es un archivo de soporte y acompañamiento académico para el estudiante donde podrá fortalecer sus conocimientos y habilidades a través de una guía pedagógica.

Finalmente, en los capítulos 9 y 10 se tienen el análisis de costos donde se da el valor real de costo de la máquina con todos sus elementos y las conclusiones donde se plantea si se logró el objetivo fijado o no.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de maquina enfardadora de pasto para apoyar procesos de enseñanza - aprendizaje en la materia manejo de nutrición animal de la carrera técnica profesional en producción agropecuaria del Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED) de la Universidad Industrial de Santander para la granja “Guatiguara” en Piedecuesta-Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un prototipo que permita realizar el proceso de enfardado de pasto, el cual está compuesto de los siguientes subsistemas:
 - Ventana de alimentación, para el pasto, de geometría cuadrada con medidas treinta por cuarenta centímetros (30cm x 40cm).
 - El prototipo dispone de dos tipos de accionamientos de compactación, uno de ellos manual por medio de sistema de palanca y el otro un accionamiento neumático, los cuales permiten cumplir las siguientes características del fardo: un peso máximo de veinte kilogramos (20 kg) y un volumen de setenta y dos mil centímetros cúbicos (72000 cm^3).
 - Subsistema de amarrado por medio de cuerdas de fique.
 - El prototipo debe ser de fácil transporte (portable) para esto cuenta con 2 ruedas.

- Realizar la documentación de las pruebas del prototipo enfardador en la granja Guatiguara donde se verifique el correcto funcionamiento, posibles mejoras y cambios.
- Generar un manual de operación del prototipo de enfardado de pasto y una guía didáctica del procedimiento donde incluya: introducción, Objetivos, marco teórico, procedimiento a realizar, observaciones y conclusiones.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 EL PASTO EN COLOMBIA

Debido a la posición geográfica del país y sus condiciones de terreno, en Colombia se pueden encontrar diferentes tipos de pasto y cambian según el piso térmico en el que se encuentren. Estos se clasifican en:

2.1.1 Gramíneas de clima frío: Este tipo de pasto puede vivir en alturas superiores a 2400 msnm y a temperaturas que están entre los 14°C. en esta categoría se encuentran:

2.1.1.1 Azul Ochoro:

Figura 1. Pasto azul Ochoro



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: esta gramínea es originaria del norte de África, crece en plantas individuales, sus raíces son profundas y los tallos florales alcanzan una altura promedio de 1,3 metros de altura.

Suelos y clima: este pasto se adapta muy bien a suelos fértiles, profundos y muy drenados, la encontramos entre los 2,200 msnm hasta los 3,100 msnm.

Siembra: este pasto se propaga por semilla, y se mezcla con trébol rojo o alfalfa. Se siembra en surco, 5kg/ha, a 7kg/ha, mezclado con trébol rojo, los surcos tienen una profundidad de 0,5 mm a 2,0 cm de profundidad.

Manejo: como esta gramínea es de pastoreo se recomienda que tal pastoreo se rotacional con intervalos de 35 a 42 días, se debe fertilizar cada 2 o 3 meses, este pasto sostiene 1,4 a 1,8 vacas lecheras por potrero.¹

2.1.1.2 Falsa Poa:

Figura 2. Pasto falsa Poa



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

¹ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: originaria de Europa, crece en plantas individuales o en pequeños grupos, los tallos son erectos tiene una altura de 60 cm a 70 cm.

Suelos y climas: se adapta muy bien a suelos arcillosos a arenosos, húmedos, pero con buen drenaje, una ventaja que tiene este pasto es que se adapta a suelos pobres, pero con un buen trabajo de abono de manera regular, crece de buena manera en una altura de 2,500 msnm a 3,200 msnm.

Siembra: su propaga por semilla sexual, su crecimiento inicial es lento, se asocia bien con leguminosas como el trébol, este pasto se recomienda sembrarlo en laderas

Manejo: para este pasto se recomienda pastoreo rotacional, es recomendable que el gano la consuma antes que madure, este pasto es bueno para ovejas y vacas lecheras tiene un porcentaje de 12 ovejas/ha, y 2 vacas/ha.²

2.1.1.3 Festuca alta:

Figura 3. Pasto Festuca alta



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

² Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: posee raíces profundas, sus tallos son numerosos y altos, logran alcanzar una altura 1,5 m.

Suelos y climas: es de suelos fértiles, arcilloso, con alta humedad y tolera la roya. Crece a una altura 2,500 msnm a 3,000 msnm.

Siembra: su siembra puede ser en voleo o en surco, el suelo debe ser arado antes de la siembra, se puede mezclarse con trébol rojo.

Manejo: el pastoreo se inicia cuando las primeras espiguillas aparezcan, el pastoreo debe ser rotacional con un promedio de 6 días de ocupación por 35 días de descanso.³

2.1.1.4 Festuca media:

Figura 4. Pasto Festuca media



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

³ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: crece en matojos en macollos y en forma de césped, sus tallos son más delgados que los de la Festuca alta.

Suelos y clima: el suelo debe tener buen drenaje, fértiles, profundos y húmedos. Su crecimiento lo podemos ver a una altura entre 2,000 msnm a 3,000 msnm.

Siembra: su siembra se hace en surcos o voleo, se puede mezclar con alfalfa.

Manejo: su pastoreo es rotacional su rotación es de 6 días de uso por 35 días de descanso, su capacidad de carga es de 2 animales/ha. a 3 animales /ha.⁴

2.1.1.5 Kikuyo:

Figura 5. Pasto Kikuyo



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: es de origen de África, sus raíces son profundas y se desarrolla en rizomas.

Suelos y climas: se adaptan a suelos de baja a alta fertilidad, crecen a una altura promedio de 2,400 msnm a 3,000 msnm.

Siembra: su propagación sexual es posible cuando el animal la consume transporta las semillas y luego la expulsas en sus heces.

⁴ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Manejo: su manejo puede ser pastoreo continuo, aunque se recomienda pastoreo rotacional, su capacidad de carga es 2 animales/ha. a 4 animales/ha.⁵

2.1.1.6 Raigrás:

Figura 6. Pasto Raigrás italiano



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Figura 7. Pasto Raigrás inglés



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: en los campos colombianos encontramos dos especies de raigrás los cuales son el italiano (*Lolium multiflorum* Lam) y el

⁵ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

inglés (*Lolium perenne*). El raigrás italiano es de origen del norte de África y Asia menor, crece en matojos, tiene una altura de 60 cm a 90 cm. El raigrás inglés es originario del norte de África y Asia, sus tallos son ligeramente planos y hojas angostas.

Suelos y climas: son de suelos de media a alta fertilidad la encontramos entre los 2,500 msnm a 3,000 msnm.

Siembra: su propagación es por semilla, y se siembra en praderas puras de raigrás.

Manejo: este pasto sirve para la producción de heno.⁶

2.1.1.7 Avena forrajera:

Figura 8. Pasto avena forrajera



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: es una planta anual, de crecimiento erecto, la variedad ICA-Cajicá alcanza una altura entre 80cm a 100 cm.

Suelos y climas: se adapta bien a suelos de mediana a alta fertilidad, profundo y con buen drenaje crece entre alturas de 2,000 msnm a 3,000 msnm.

Siembra: la siembra es de tipo voleo y se cubre con una capa de 2 cm a 3 cm del suelo.

⁶ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Manejo: la ICA-Cajicá tiene un periodo vegetativo más corto y se cosecha a los 90 días, se usa para ensilaje.⁷

2.1.1.8 Brasileiro:

Figura 9. Pasto brasileiro



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: las raíces son profundas y numerosas, sus tallos son vigorosos con nudos sobresalientes.

Suelos y climas: se adapta a suelos fértiles, de textura franca a franco arcillosa, con buena capacidad de retención de humedad, crece a una altura superior a los 2,800 msnm.

Siembra: se propaga en cepa o tallos, la cepa se siembra en surcos a 80cm a 100cm de distancia en cuadro. La siembra de tallos, estos deben estar maduros y bien desarrollados y se deben mantener húmedos por 8 días.

Manejo: el corte se puede hacer a los 4 meses a 5 meses.⁸

⁷ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

⁸ Ibíd.

2.1.2 Gramíneas de clima cálido: Este tipo de pasto vive en alturas entre los 0 msnm a 2200 msnm y a temperaturas que están entre los 34°C a 18°C. en esta categoría se encuentran:

2.1.2.1 Alemán:

Figura 10. Pasto alemán



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: crece en macollas, sus tallos alcanzan una altura de 2m

Suelos y climas: se adapta a suelos de mediana a alta fertilidad, inundables o húmedos. Crece a una altura de 0 msnm a 1,200 msnm.

Siembra: se propaga por material vegetativo, tallos y cepas, sembrados en surcos a 50 cm a 60 cm o al voleo y tapado con rastrillo.

Manejo: se debe manejar pastoreo rotacional, se debe rotar los potreros en 4 meses a 6 meses, tiene una capacidad de carga de 2,5 animales/ha.⁹

⁹ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

2.1.2.2 Angleton:

Figura 11. Pasto Angleton



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: es su de crecimiento rápido, se desarrolla en matojos y alcanza una altura de 1m a 2m.

Suelo y clima: crece muy bien en suelos fértiles y de textura franca, lo encontramos entre 0 msnm a 1,000 msnm.

Siembre: se sugiere sembrar 5kg/ha. y 6kg/ha., en semillas certificadas.

Manejo: su manejo es rotacional, el mejor momento para realizar el pastoreo es antes de la floración (que es alrededor de 40cm a 50cm de altura), se debe dejar descansar entre 35 a 42 días.¹⁰

2.1.2.3 Bahía:

Figura 12. Pasto bahía



¹⁰ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: se encuentra en zonas de ladera de la región andina, tiene una altura de 15 cm a 40 cm, produce rizomas cotas que emiten raíces en los nudos.

Suelo y clima: se adapta a suelos neutros a ácidos, desde arcilloso arenoso con buen drenaje, lo encontramos en alturas entre 0 msnm a 2,300 msnm.

Siembra: su propagación es a través de semilla sexual, la cual se distribuye en surcos o al voleo con 12 kg a 17 kg de semilla/ha.

Manejo: tolera pastoreo continuo, pero se recomienda rotacional, el pastoreo se debe hacer antes de la floración.¹¹

2.1.2.4 *Braquiaria*:

Figura 13. Pasto Braquiaria



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: crece en matorros que puede llegar a formar un césped denso, tiene tallos largos que tiene una altura entre 50 cm a 80 cm.

Suelos y clima: se adapta bien a suelos ácidos y de baja fertilidad y bien drenados, lo encontramos entre 0 msnm a 1,800 msnm.

Siembra: la podemos hacer con semilla cariósida o por material vegetativo. Las semillas pueden sembrarse al voleo o en surco a

¹¹ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

distancia de 60 cm a 80 cm y cubrirse con una capa de 1 cm de suelo. En siembra sexual se requiere entre 2,5kg/ha. y 3kg/ha.

Manejo: a los 4 meses de la siembra se puede hacer el primer pastoreo, el pastoreo es rotacional, dejando de 30 a 35 días de descanso en épocas de lluvias y 40 a 55 días en época de sequía.¹²

2.1.2.5 Estrella:

Figura 14. Pasto estrella



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: es de origen africano, presenta tallos con entrenudos largos y desarrolla abundantes estolones de hasta 5 m de longitud.

Suelos y clima: se adapta a suelos de fertilidad media a alta, con textura francas a arcillosas y buen contenido de materia orgánica, no tolera sequías. Lo encontramos entre los 0 msnm a 2,200 msnm.

Siembra: se propaga por materia vegetativo, estolones, tallos o cepas.

Manejo: este pasto requiere un manejo técnico del pastoreo que evite el subpastoreo, por la tendencia de acumular estolones, es de pastoreo rotacional, en periodos de 6 a 7 semanas.¹³

¹² Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

¹³ Ibíd.

2.1.2.6 Caña forrajera:

Figura 15. Pasto caña forrajera



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: crece en matojos robustos, los tallos son jugosos y alcanzan alturas de 2 m a 3 m y de diámetro 2 cm a 4 cm.

Suelos y climas: se adapta bien a suelos franco arcillosos, con pH entre 5,5 a 7,5. La encontramos entre 0 msnm a 2,000msnm.

Siembra: se propaga mediante estacas o tallos, con un buen número de yemas viables que se colocan en los surcos, tales surcos se cubren con 1,5 cm a 2,5 cm de suelo.

Manejo: se cosecha haciendo cortes cada 10 o 12 semanas; así se puede efectuar hasta 4 cortes al año. Se puede obtener un rendimiento hasta de 450t/ha. de forraje al año.¹⁴

¹⁴ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

2.1.2.7 Elefante:

Figura 16. Pasto elefante



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: crece en matos, los tallos pueden medir 2 m a 3 m de altura y de diámetro 2 cm a 4 cm.

Suelos y climas: se adapta a suelos de baja fertilidad, pero para obtener mejores resultados lo sembramos en suelos con buena fertilidad, tolera sequías, pero no el encharcamiento. Las encontramos entre los 0 msnm a 2,000 msnm, a una temperatura entre 18°C a 30°C, con un óptimo de 24°C.

Siembra: se propaga por material vegetativo, colocando los tallos unos tras otros en los surcos, a una distancia de 75 cm a 100 cm.

Manejo: se debe cortar con una frecuencia de 35 días a 50 días en épocas de lluvias y hasta 60 días en época de verano cuando el pasto tenga 1m a 1,20 m de altura, se ha logrado cosechar 200 t/ha. con 6 cosechas al año.¹⁵

¹⁵ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

2.1.2.8 King grass:

Figura 17. Pasto King grass



Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

Botánica: proviene de África del sur, es un cruce entre *P. purpureum* y *P. typhoides*, sus tallos son numerosos, con 13 mm a 15 mm de diámetro y 3,5 m de altura.

Suelos y clima: se adapta a suelos francos a arcillosos y de mediana a alta fertilidad. Lo encontramos entre los 0 msnm a 2,100 msnm.

Siembra: mediante materia vegetativo, con tallos maduros extendidos en los surcos que se cubren con una capa de suelo de 2 cm.

Manejo: se debe cortar 35 días a 45 días en épocas de lluvia y cada 80 días en época de verano o cuando el pasto alcance una altura de 1,20 m a 1,50 m, se puede ensilar, se obtiene entre 50 t/ha. y 60t/ha. con 6 u 8 cortes al año.¹⁶

¹⁶ Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en Fuente: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

2.2 ENFARDADO, PROCESO PRODUCTIVO

El enfardado de pasto o henificación es un proceso para la conservación de paja seca donde el objetivo principal es conseguir un bloque compacto con la humedad adecuada y la mínima actividad celular y microbiológica para así alcanzar la calidad precisa con la cantidad necesaria de nutrientes que necesita el animal, “el objetivo de la conservación de un forraje es mantenerlo almacenado sin perder la calidad inicial”¹⁷.

Un fardo que haya cumplido con todas estas condiciones no perderá calidad nutricional ni presentara descomposición, contrarrestando la desnutrición animal en épocas de escasez y aumentando enormemente la productividad de la finca.

2.2.1 Creación del fardo

2.2.1.1 Tipos de fardos: en la actualidad se manejan 2 tipos de compactación de pasto:

- **Rectangular:** este fardo se caracteriza por ser bloques rectangulares generalmente de 60x40x30 de dimensiones y peso promedio de 12 kg. Son de fácil creación, manejo y almacenamiento, y su costo de producción y su necesidad tecnológica es bajo.
- **Rollos:** este fardo se caracteriza por ser de forma cilíndrica y de gran tamaño. Se pueden crear o conseguir desde los 100kg hasta los 400kg y se necesita de gran maquinaria agraria para su producción y transporte.

¹⁷ ANZOLA VÁSQUEZ, Héctor José y DURÁN MURIEL, Héctor Mauricio. El secreto para obtener un buen heno. [Base de datos en línea]. Enero-Febrero 2015. Revista: Carta FEDEGAN, 5782020 (Recuperado en 20 de julio 2019). Disponible en <https://www.fedegan.org.co/carta-fedegan-146-el-secreto-para-obtener-un-buen-heno>

Figura 18. Fardos rectangulares



Fuente: https://es.123rf.com/photo_80081296_prado-con-c%C3%A9sped-cortado-y-almacenado-en-fardos-o-rectangular-en-el-lado-del-bosque-de-robles.html

Figura 19. Fardo en rollo



Fuente: <http://www.saltaagropecuaria.com.ar/pasturas-fardos-y-rollos-de-avena-para-ganaderia.html>

2.2.1.2 Procedimiento de creación: después de tener el pasto en óptimas condiciones para su procesamiento, estos son los pasos a seguir:

- **Primero:** corte el pasto con la herramienta o maquinaria a su disposición.
- **Segundo:** deje el pasto a sol de 2 a 3 días para su correcto secado y voltéelo regularmente para su homogenización.
- **Tercero:** apile en pasto seco en montículos.
- **Cuarto:** compacte el pasto según el método de su elección, ya sea en bloques o rollos.
- **Quinto:** transporte y almacene los fardos en un lugar libre de la exposición al agua y al sol.

2.2.1.3 Tipos de enfardadoras que se comercializan en Colombia: se dividen básicamente en el tipo de fardo que están diseñadas para hacer (bloque o rollo) donde las de rollo son más costosas que las otras.

Figura 20. Enfardadoras



Fuente: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-los-tipos-de-enfardadoras-que-se-comercializan-en-el-pais>

2.3 SECTOR BOVINO EN EL PAÍS

Actualmente el sector agropecuario, silvícola y pesquero poseen un peso medio en el ambiente productivo del país, que se ve reflejado en el PIB nacional, con un porcentaje de participación del 7%, según cifras del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), en el segundo semestre de 2018.

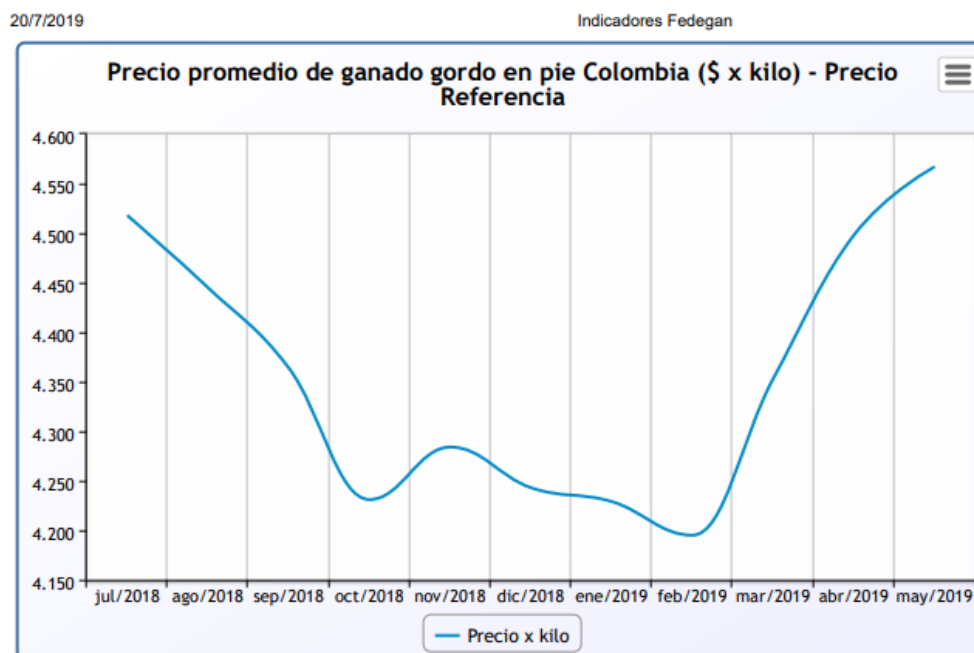
Figura 21. Discriminación del PIB nacional



Fuente: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios-pymes/actualizate/sostenibilidad/sector-agropecuario-en-colombia>

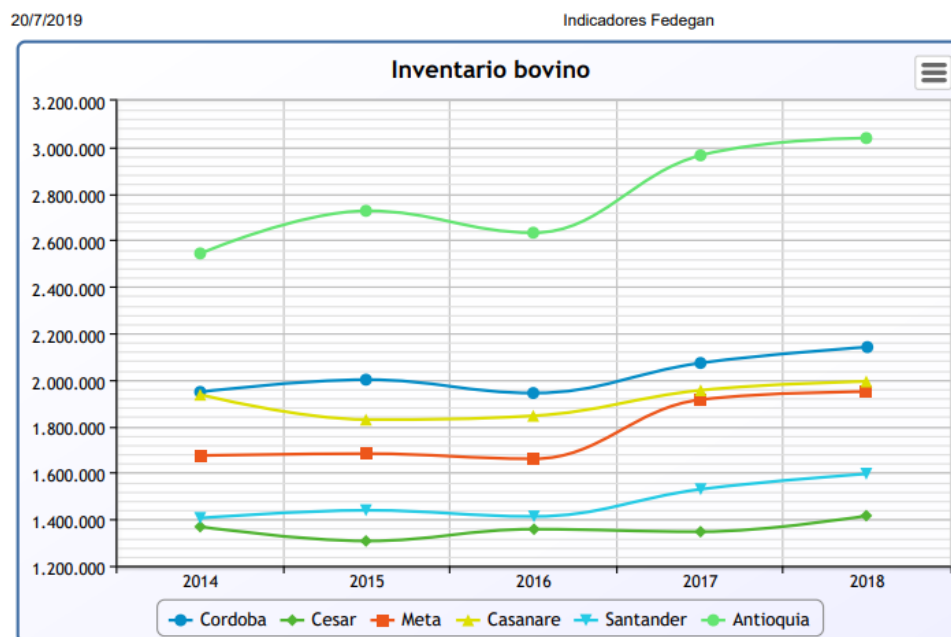
2.3.1 Otros datos del sector bovino

Figura 22. Precio del ganado en pie, en pesos colombianos



Fuente: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios>

Figura 23. Inventario bovino por Departamentos



Fuente: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>

3. DISEÑO PRELIMINAR

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El prototipo de máquina de enfardado debe cumplir con los siguientes requerimientos de diseño, determinados al inicio del proyecto:

- Peso máximo del fardo: 20Kg.
- Fardo de dimensiones Largo x Ancho x Alto: 60x40x30cm.
- Ventana de alimentación cuadrada de 30x40cm.
- Sistema de compactación manual.
- Sistema de compactación neumática.
- Fácil transporte (portable).
- Funcionamiento interno visible.

3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

3.2.1 Planteamiento de alternativas: Para satisfacer los requerimientos de diseño se plantearon tres alternativas posibles para desarrollar la máquina. Este fue el boceto inicial de donde se desarrolló todo en proyecto en sí y donde se dedicó el tiempo suficiente para escoger las mejores opciones entre todo lo que se pudo encontrar, y a partir de ahí se hicieron todos los cambios y correcciones necesarias para llegar al diseño final. Estos se sacaron de referentes disponibles en el mercado y mundo agrícola, los cuales fueron:

Para más información sobre las características de las alternativas diríjase a ANEXO H, INFORMACIÓN SOBRE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

Figura 24. Alternativa n°1, enfardadora mainero 5700



Fuente: <https://www.mainero.com/es/henificación/enfardadoras/enfardadora-5700/>

Figura 25. Alternativa n°2, enfardadora manual-metálica rodada



Fuente: <http://www.hund.cl/wp-content/uploads/2015/03/Enfardadora-Manual-Met--lica-Rodado.pdf>

Figura 26. Alternativa n°3, enfardadora manual (vertical)



Fuente: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1847>

3.2.2 Evaluación y selección de alternativas: para determinar, entre las tres alternativas, cual fue la mejor, se utilizó el método de matriz de función calidad (QFD), dando como resultado:

Tabla 1. Matriz de selección

		Alternativas					
		Enfardadora Mainero 5700		Enfardadora manual metálica rodada.		Enfardadora manual (vertical)	
Criterio	%	Nota	Ponderado	Nota	Ponderado	Nota	Ponderado
Proeso de enfardado didactico	26	1	0.26	5	1.3	5	1.3
Accionamiento manual y neumático	26	3	0.78	3	0.78	3	0.78
Fácil transporte (portable)	16	1	0.16	5	0.8	3	0.48
Bajos costos de construcción	26	1	0.26	5	1.3	5	1.3
Documentación de apoyo (Manual de usuario, guía didáctica)	6	5	0.3	3	0.18	3	0.18
	TOTAL		1.76		4.36		4.04

Que la alternativa n°2, enfardadora manual-metálica rodada, fue la ganadora respecto a los parámetros de evaluación que se determinaron. Para mayor información sobre el proceso QFD diríjase a ANEXO D, PROCESO MATRIZ QFD, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

3.3 DISEÑO CONCEPTUAL

A partir de la alternativa ganadora se desarrolló un boceto de cómo se esperaba que fuera la maquina al final del proyecto y se definieron los subsistemas con sus respectivos componentes, de manera general, para que cumpla todos los requerimientos de diseño. Estos fueron:

- Subsistema estructural.

- Subsistema de compactación.

Como resultado se concibió un prototipo que posee el subsistema de compactación intercambiable:

Figura 27. Diseño conceptual (subsistema de compactación manual)

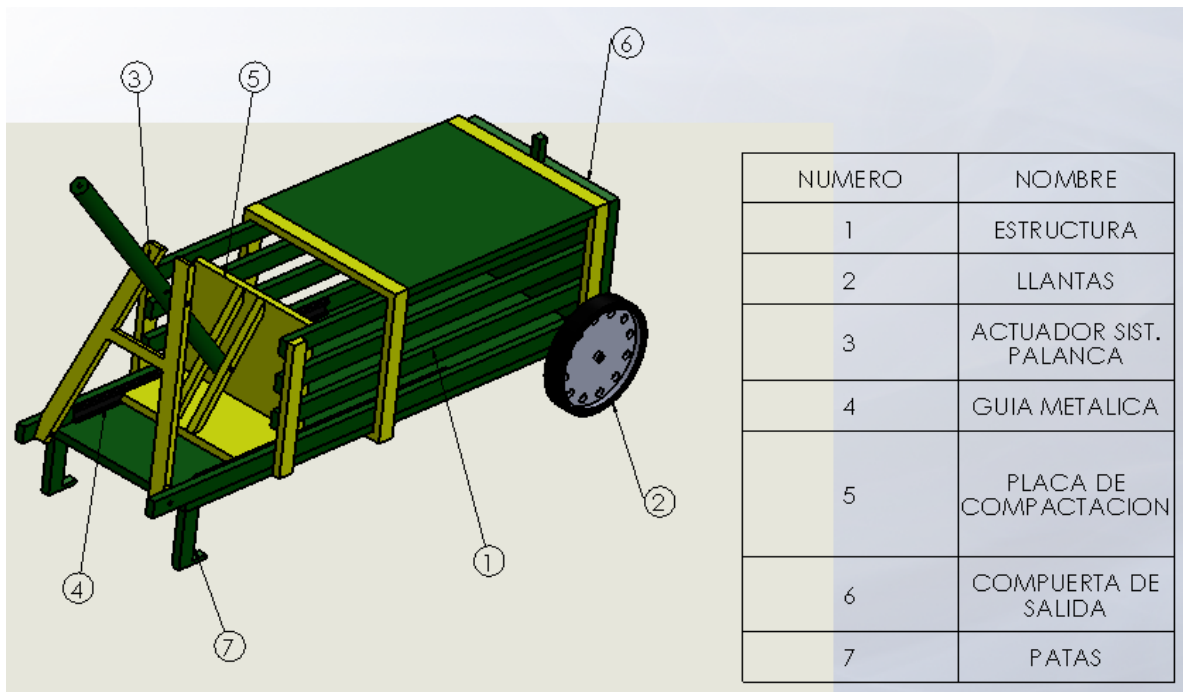


Figura 28. Diagrama cinemático del sistema de palanca

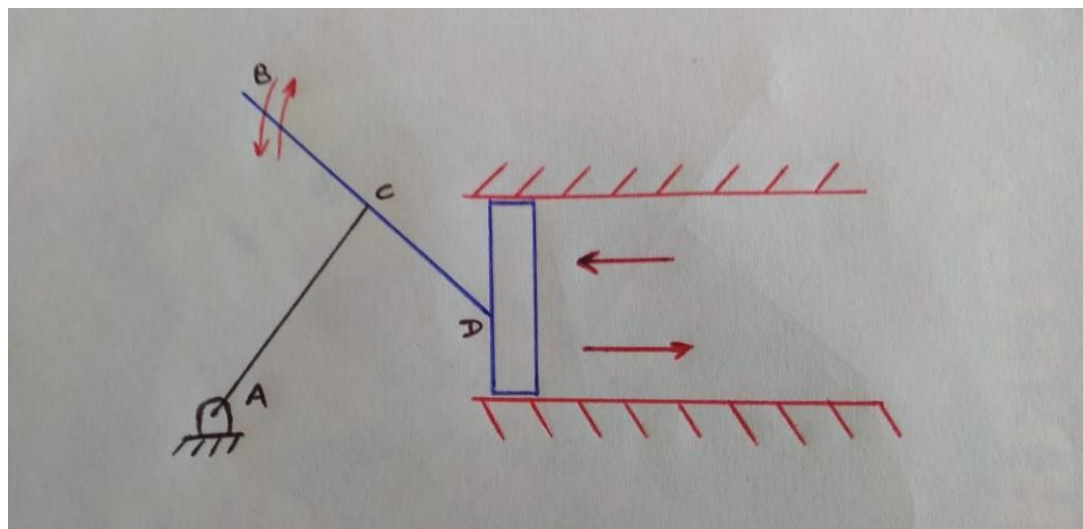


Figura 29. Diseño conceptual (subsistema de compactación neumático)

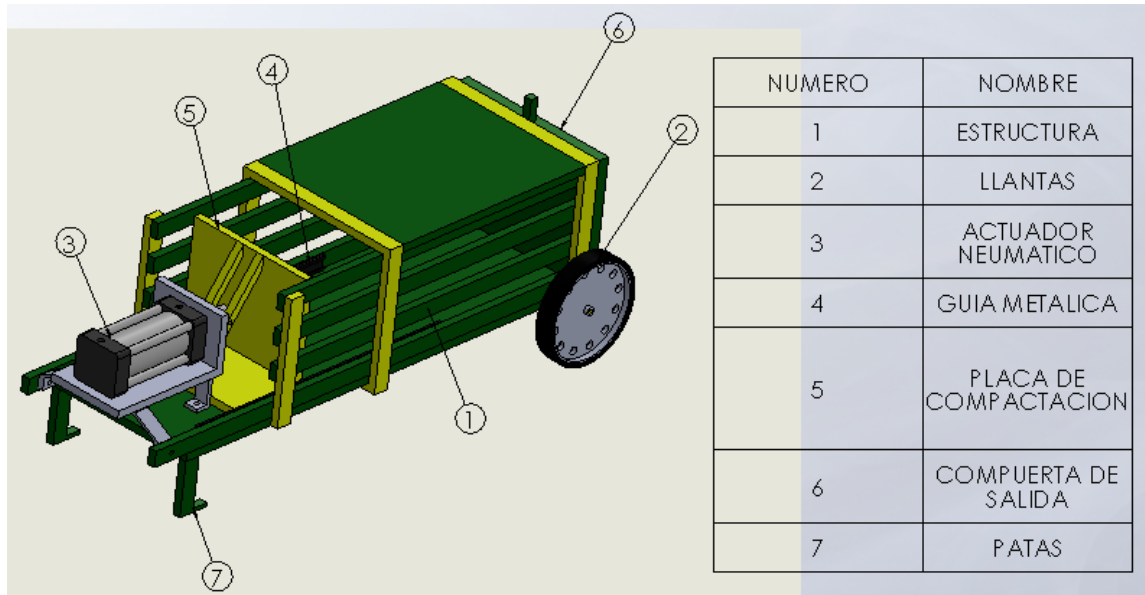
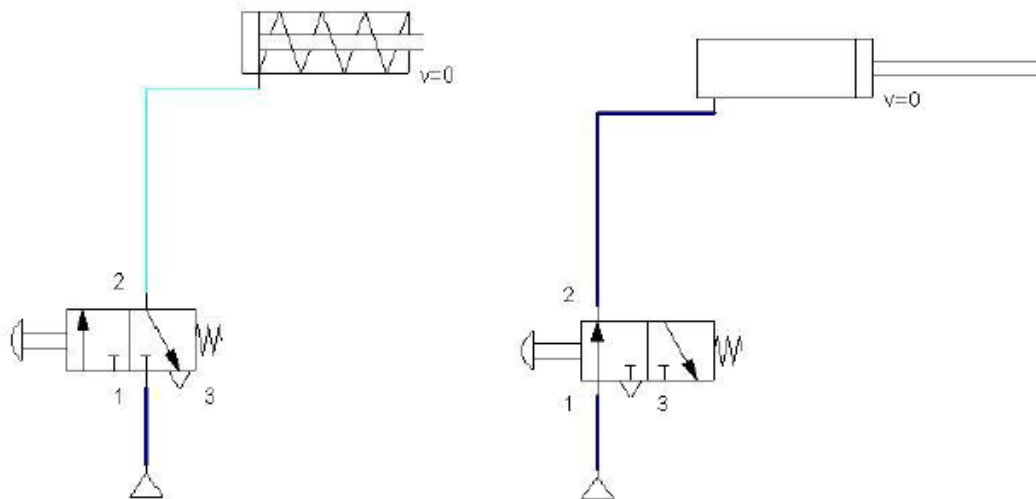


Figura 30. Diagrama cinemático del sistema neumático. Cilindro simple efecto con válvulas 3/2.



Fuente:

http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Cilindros_Neum%C3%A1ticos

En este prototipo el subsistema de potencia es la persona que ejerce la fuerza, en el primer caso, y un compresor de 60 a 100 psi que se encuentra en la granja de la UIS en Piedecuesta, Santander, para el segundo caso.

4. DISEÑO EN DETALLE

Para un mejor desarrollo del proyecto se decidió dividir el diseño por cada uno de sus subsistemas principales, siendo estos el subsistema estructural y el subsistema de compactación. El subsistema de potencia para este proyecto no se necesita diseñar porque son los operarios de la maquina o un compresor, que para este caso ya se tiene en la granja Guatiguara, los que le suministran la energía al sistema.

4.1 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

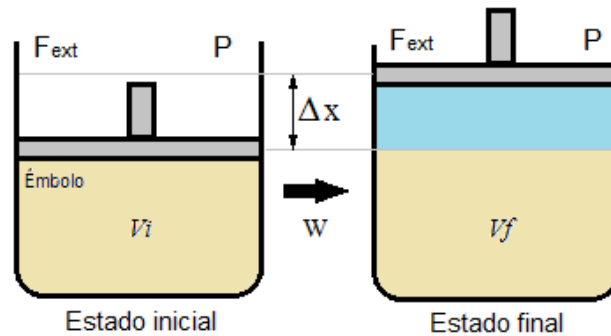
El subsistema estructural es la parte de la máquina que va a recibir las reacciones a las cargas impuestas al pasto y el peso de todo el conjunto (máquina y fardo), y al mismo tiempo va a albergar a los demás subsistemas principales.

Para el diseño de este subsistema primero se tuvo que calcular las fuerzas de entrada que recibiría la máquina, para después a través del software Solidworks hacer todo el cálculo estructural (tensiones de Von Mises, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad) y así determinar que el material seleccionado, que se utilizaría en la construcción, cumplía o no con las condiciones de cargas.

4.1.1 Calculo de la fuerza de entrada: inicialmente se pensó que la fuerza de entrada que recibiría la estructura sería la fuerza que ejercería el pasto cuando estuviera compactado en el volumen objetivo (60x40x30cm) y esta sería igual para todos los lados del prisma rectangular.

Para cálculo de este planteamiento se utilizó como base los sistemas de cilindro pistón que se estudian en termodinámica y el principio de estática:

Figura 31. Sistema cilindro pistón



Fuente: <http://www.quimitube.com/videos/termodinamica-ejercicio-1-variacion-de-energia-interna-de-un-gas-dentro-de-un-cilindro-con-un-piston-de-5kn>

Ecuación 1. Sumatorias de fuerzas igual a cero.

$$\sum F = 0$$

En el cual el pistón no cambiara de posición a menos que la presión en alguno de los lados cambie, y como tiene áreas iguales solo cambiara cuando las fuerzas, a cada lado del embolo, sean diferentes, por lo cual se recreó el sistema en escala real. Esto se hizo a través de un cajón de madera con las mismas dimensiones del fardo, pero dejando un lado hueco por donde se realizaría el experimento.

Fotografía 1. Cajón de madera



El idea basica del experimento fue poner pesos encima del pasto (que ya se encuentra compactado), separados entre si por una tapa liviana, y determinar el peso en el cual sucede el movimiento inminente, es decir, el peso en el cual el pasto fue capaz de moverlo hacia arriba.

Fotografía 2. Tapa de triplex



Fotografía 3. Cajón lleno



El llenado del cajon se hizo hasta que se alcanzo un peso neto de 12Kg de pasto y los pesos utilizados fue arena en bolsas plasticas.

Fotografía 4. Elementos del experimento



Finalmente la prueba se hizo 7 veces con la utilización de arena 7 veces distintas para garantizar la repetitividad estadística, y se determinó que el peso en el cual sucede el movimiento inminente es de 4,35Kg, del cual 3,75Kg son de la arena y 0,6Kg del peso de la tapa de triplex.

Fotografía 5. Pesos utilizados



Fotografía 6. Experimento parte 1



Fotografía 7. Experimento parte 2



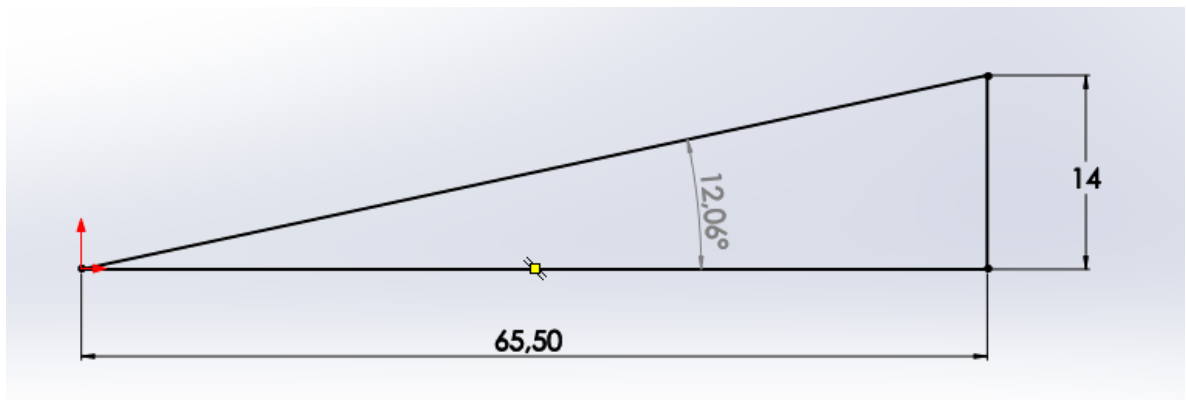
Fotografía 8. Medición de los pesos utilizados



Pero después de otro análisis al comportamiento de la maquina se notó que esta fuerza calculada anteriormente no sería la crítica sobre la estructura debido a que existe otra que genera mucho más esfuerzo. Esta sería la fuerza que aplica el pistón neumático a 100psi de presión del compresor (presión máxima que genera el compresor de la granja) cuando está compactando el pasto y la cámara está completamente llena. Para este caso también se consideró que la fuerza se aplica igual para todas las caras del prisma rectangular.

Como se podrá ver más adelante con más detalle el pistón tiene un soporte pivotante por lo cual la fuerza que entra a la placa de compactación no va a ser la total del actuador sino la componente en la dirección X de la fuerza

Figura 32. Diagrama de posición del cilindro neumática



Ecuación 2. Fuerza del cilindro neumático

$$F_{total} = P_{com} * Area$$

$$F_{total} = 689476 \text{ Pa} * \frac{(0,0508)^2 * \pi}{4}$$

$$F_{total} = 1397,45 \text{ N}$$

$$F_{x-piston} = F_{total} * \cos 6$$

$$F_{x-piston} = 1397,45 * \cos 12,06^{\circ}$$

$$F_{x-piston} = 1366,607 \text{ N}$$

Como se puede notar la fuerza que ejerce el pistón es mucho más alta que la calculada inicialmente con el experimento por lo cual es mucha más crítica al momento del diseño.

$$F_{exp} = 4,35 * 9,8$$

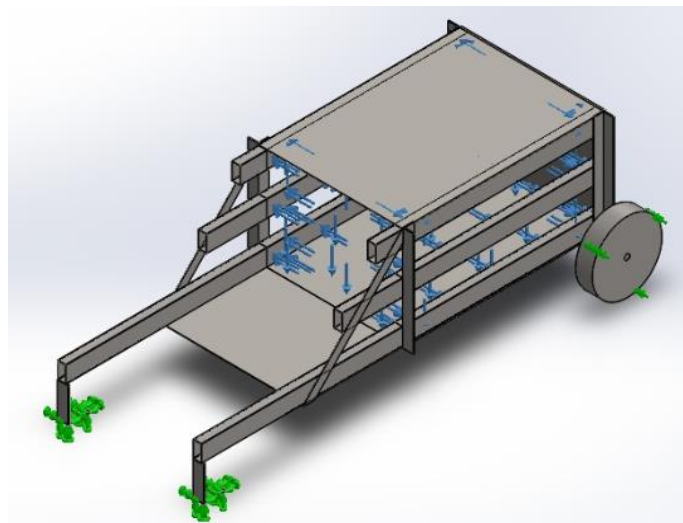
$$F_{exp} = 42,63 \text{ N}$$

$$F_{x-piston} > F_{exp}$$

Y esta fue la fuerza tomada para desarrollar el cálculo estructural de los elementos.

4.1.2 Calculo computacional primer subsistema: a través del software solidworks se hicieron los cálculos necesarios para determinar si el material seleccionado cumplía para utilizarse en la construcción. Como se especificó en el numeral 4.1.1 la fuerza de entrada al sistema fue de 1366,607 N y fue aplicada distribuida en todas las caras de la cámara interna de la máquina, siendo esta su distribución:

Figura 33. Distribución de la fuerza de entrada a la máquina



El material que se definió para los perfiles cuadrados fue acero AISI 1020 calibre 16 y para los ángulos y las laminas (el techo, el piso y la compuerta de extracción) fue acero ASTM A36 calibre 14, debido a su facilidad de obtención comercial.

Tabla 2. Propiedades del material de los perfiles cuadrados

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	7.7e+10	N/m ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m-K)
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m-K)
Calor específico	420	J/(kg-K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Tabla 3. Propiedades del material de los ángulos y las laminas

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	7.93e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m-K)
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m-K)
Calor específico		J/(kg-K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

A partir de esto y las restricciones de desplazamiento de la maquina se resolvió el sistema dando como resultados, lo siguiente.

Figura 34. Tensiones de Von Mises estructural

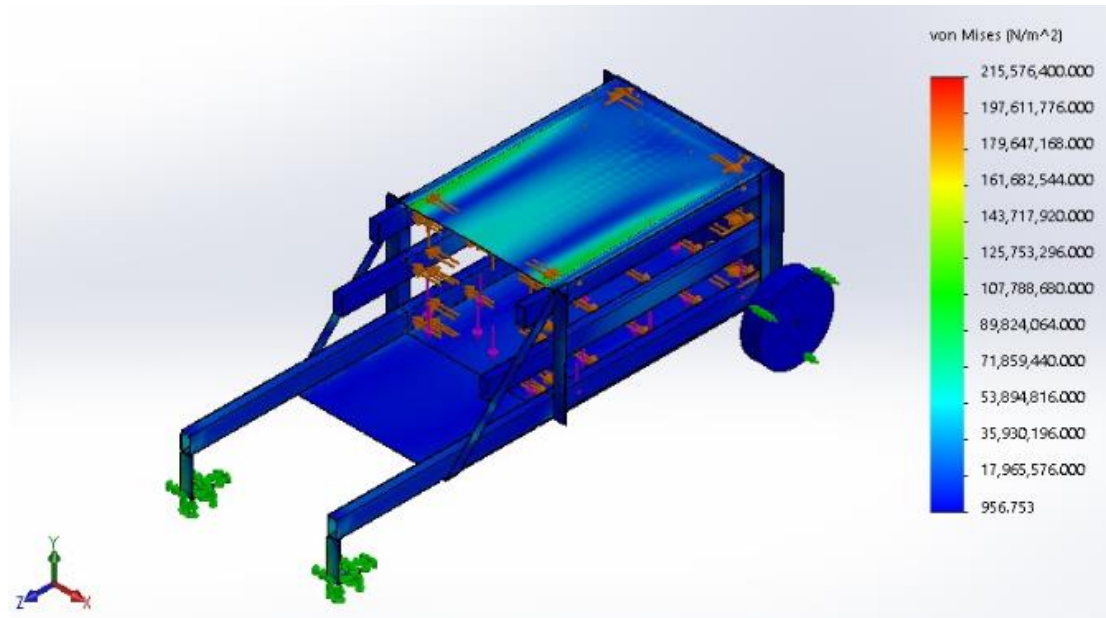
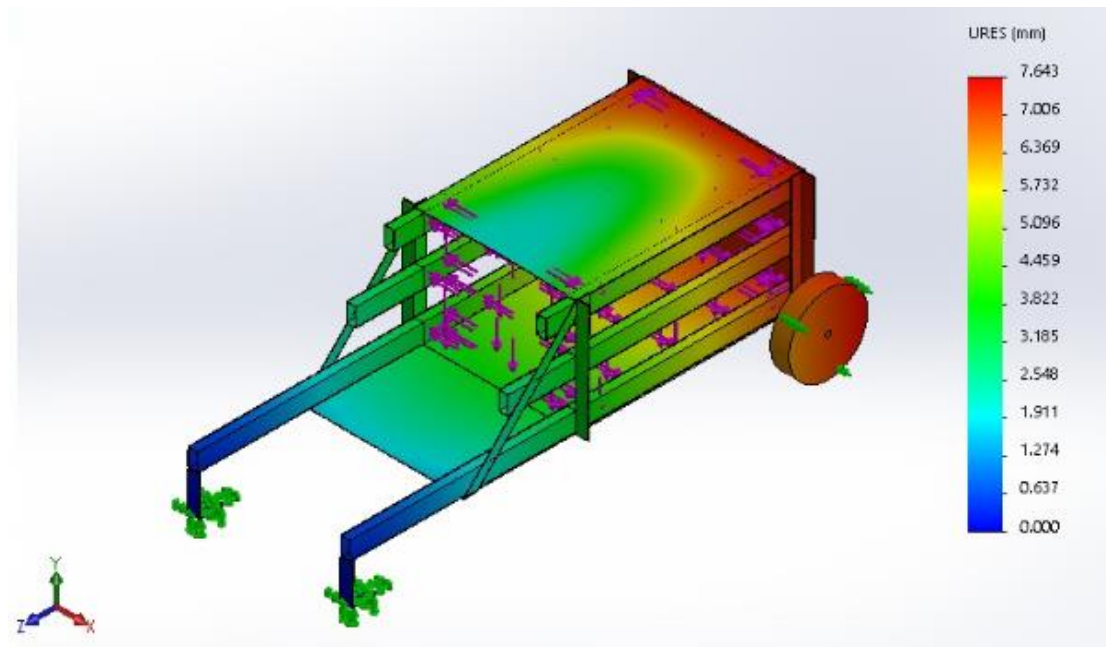


Figura 35. Desplazamientos estructural



Como se observa en el análisis, tenemos un desplazamiento hasta de 8 mm en la zona más crítica (compuerta de extracción), esto es debido a que asumimos que el pasto se comporta como un medio continuo e incompresible para simplificación

del análisis por lo tanto en la situación real los desplazamientos serán menores a los calculados.

Figura 36. Deformaciones unitarias estructura

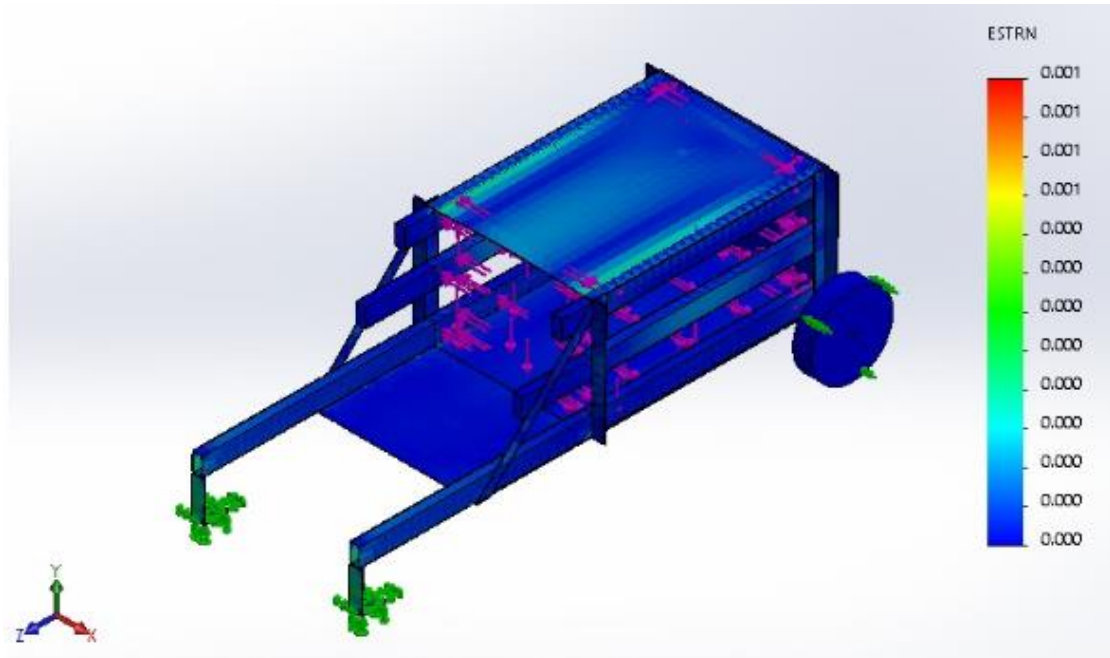
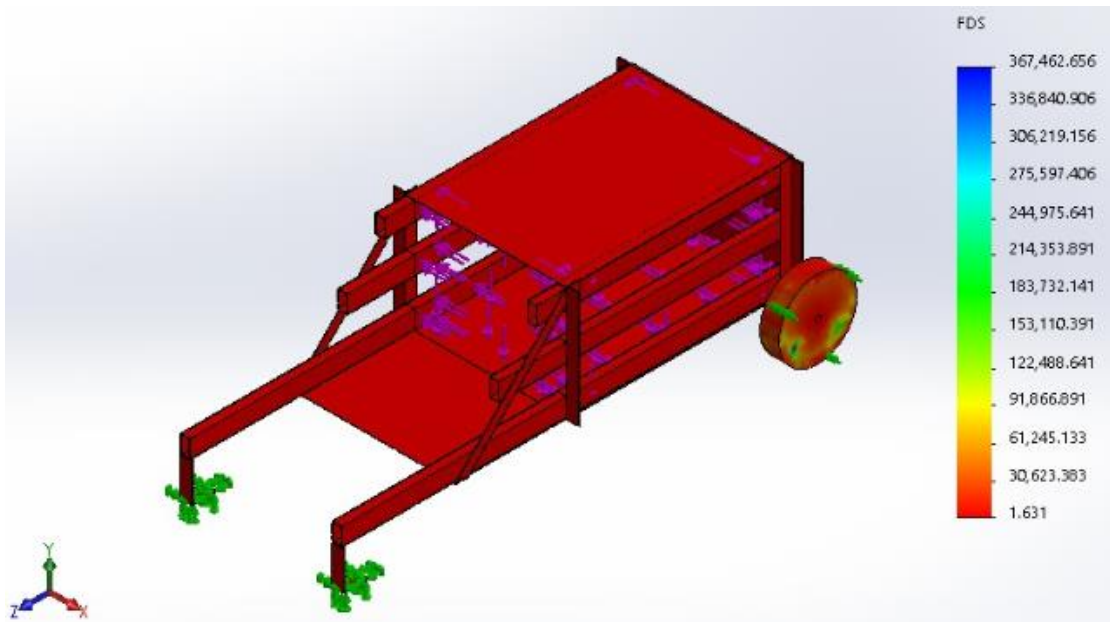


Figura 37. Factor de seguridad estructura



Como se puede observar en la figura 37, el factor de seguridad mínimo calculado para la estructura fue de 1,631, lo cual es aceptable teniendo en cuenta que los análisis se hicieron con las cargas más críticas tanto de peso del fardo como fuerza máxima de compactación y el mismo comportamiento del pasto descrito anteriormente.

Para terminar el análisis del subsistema estructural se calcularon las reacciones y deformaciones en los ejes de las ruedas de la máquina, para determinar un diámetro aceptable y según el material seleccionado para su funcionamiento. Primero se calculó las reacciones que afectan al eje debido al peso de la máquina y, como escenario crítico, el fardo máximo objetivo (20 Kg). Para ello el cálculo del peso de la maquina se hizo en solidworks, después se calculó el centroide de la maquina (aproximación) donde se asumió actúa el peso del equipo, luego se usaron las ecuaciones básicas de estática para hallar las reacciones en cada eje. Finalmente se introdujo ese valor en el software para determinar las tensiones, deformaciones y factor de seguridad al que se someterá cada uno y determinar si es aceptable o no.

Figura 38. Diagrama de centroides en la maquina

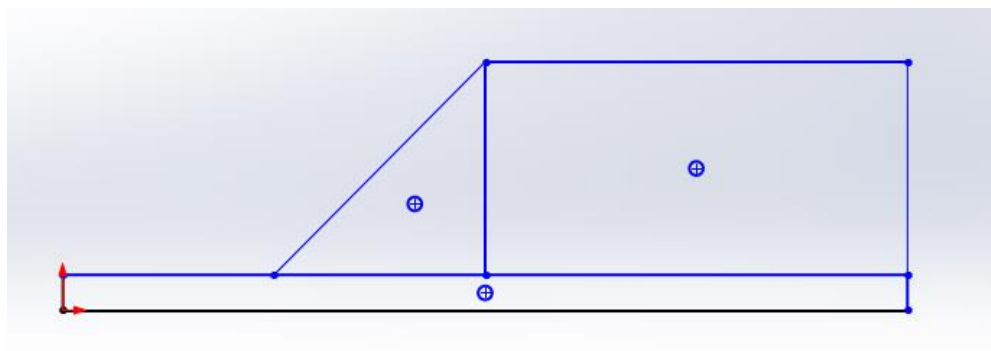


Figura 39. Centroide final de la maquina

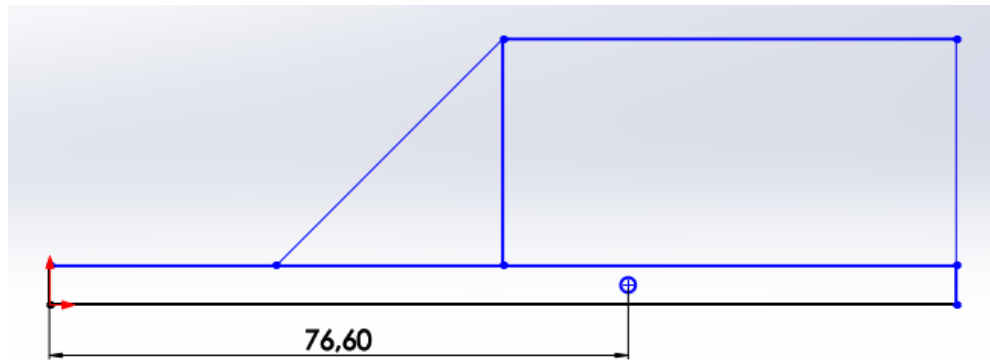
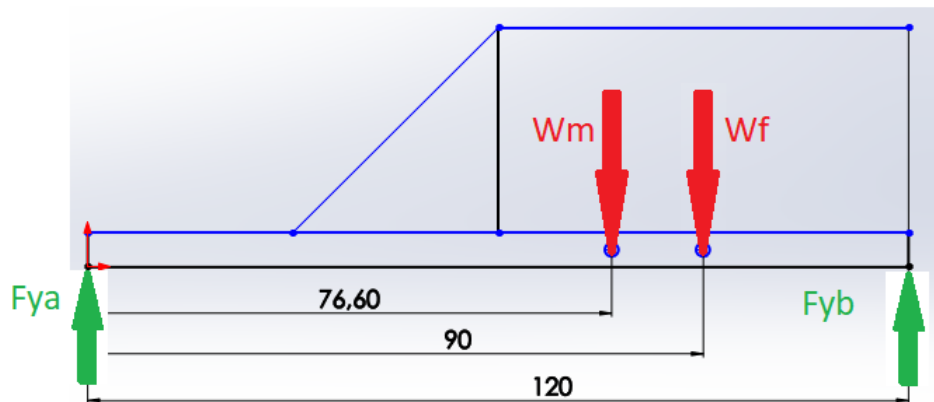


Figura 40. Diagrama de fuerzas en Y en 2-D



Ecuacion 3. Sumatoria de momentos igual a cero

$$\sum M_a = 0$$

$$F_{yb} * d_b = W_m * d_m + W_f * d_f$$

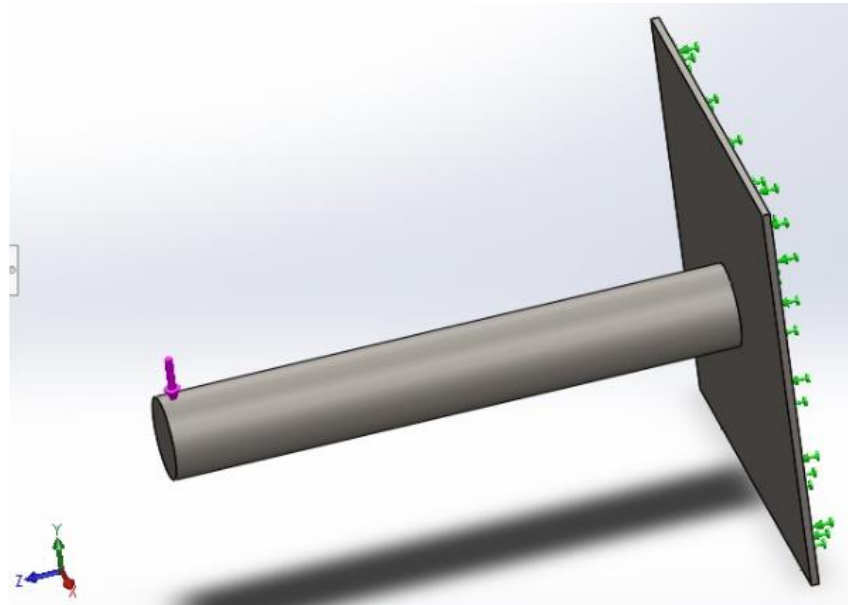
$$F_{yb} * 120 = 443,94 * 76,6 + 196 * 90$$

$$F_{yb} = 414,92 \text{ N}$$

$$F_{yb} = R_{rueda} * 2$$

$$R_{rueda} = 207,46 \text{ N}$$

Figura 41. Eje de la rueda sometido a flexión



El material seleccionado para los ejes de la rueda fue acero AISI 1045 debido a su buena ductilidad y resistencia a los impactos, además de su fácil obtención comercial.

Tabla 4. Propiedades del material de los ejes de las ruedas

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2.05e+11$	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	$8e+10$	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	530000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	$1.15e-05$	/K
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	530000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	$1.15e-05$	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 42. Tensiones de Von Mises eje de la rueda

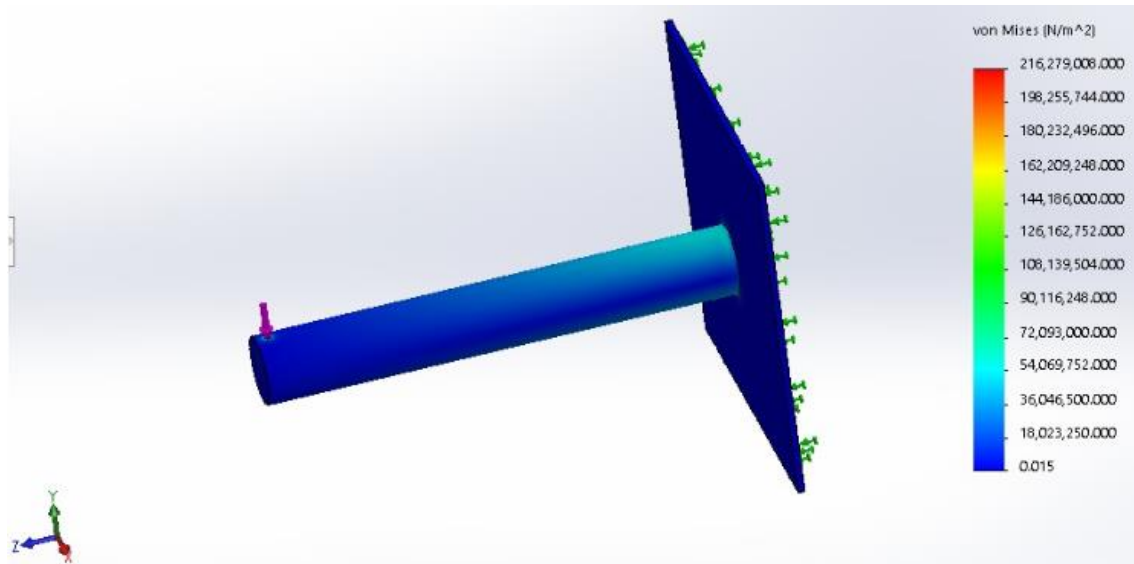


Figura 43. Desplazamientos eje de la rueda

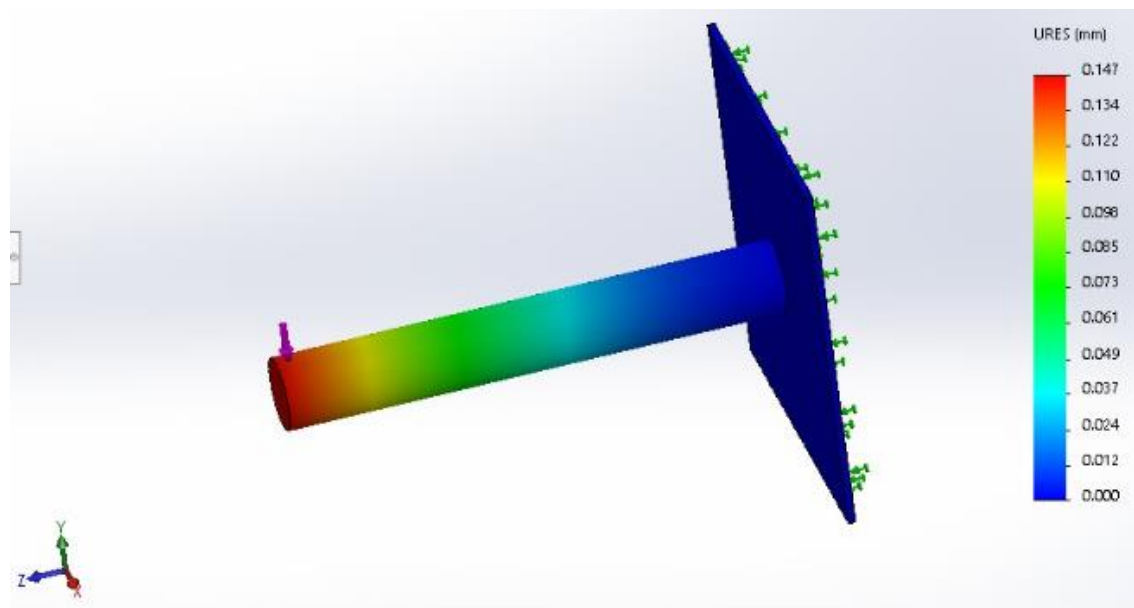


Figura 44. Deformaciones unitarias eje de la rueda

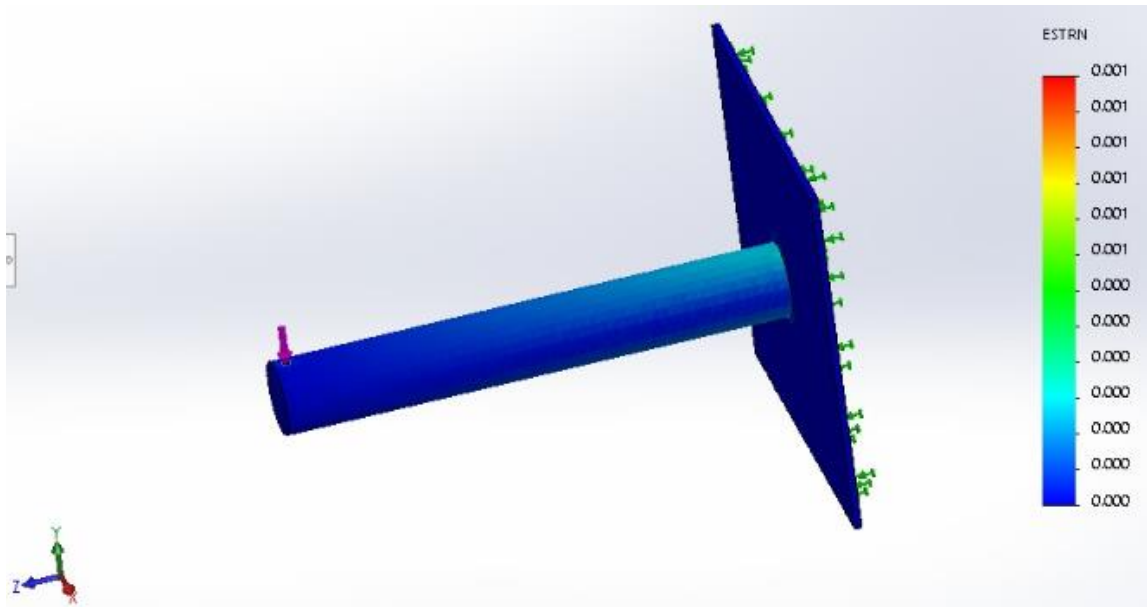
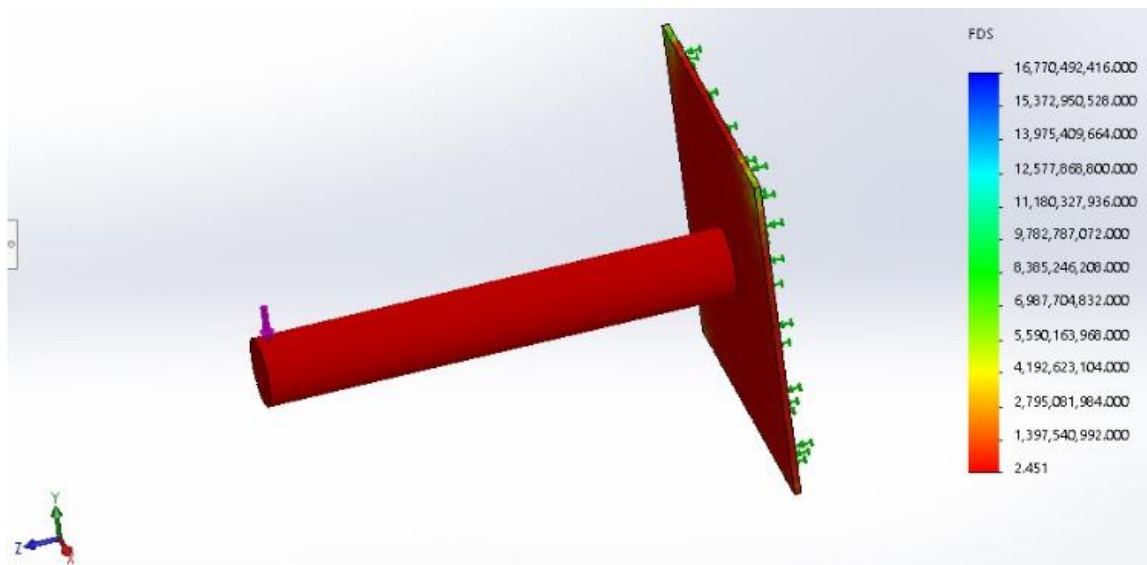


Figura 45. Factor de seguridad eje de la rueda



Como se puede ver el eje de la rueda tiene valores buenos respecto a la resistencia del material por lo cual se espera su desempeño sea sobresaliente y

se determinó que su diámetro sería 5/8". Ya con este valor de diámetro se selecciono una llanta que resistiera las condiciones de carga de la máquina y además las condiciones irregulares del terreno por donde se va a transportar.

Para más información sobre las características de las ruedas diríjase a ANEXO G, FICHA DE LA RUEDA, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

4.2 SUBSISTEMA DE COMPACTACIÓN

El subsistema de compactacion es la parte de la maquina que recibira toda la potencia, provenientes de las fuentes de energia, para hacer el trabajo de compactacion del pasto contra el subsistema estructural, por lo cual debe ser capaz de resistir las cargas maximas que pueden dar aquellas fuentes.

Para este proyecto en especifico se desarrollaron dos subsistemas de compactacion diferentes. El primero es por accionamiento de palanca con un sistema de manivela-biela-corredera por lo cual es un sistema manual, accionado por el operario de la maquina. El segundo es por accionamiento neumatico a traves de un cilindro actuador de doble accion que esta conectado a una valvula 5/2 de pedal para la direccion del flujo de aire. El cilindro esta montado sobre un soporte pivotante para facilidad de instalación y el aire comprimido es producido por un compresor con capacidad max de 100psi.

Figura 46. Montaje sistema manivela-biela-corredera solidworks

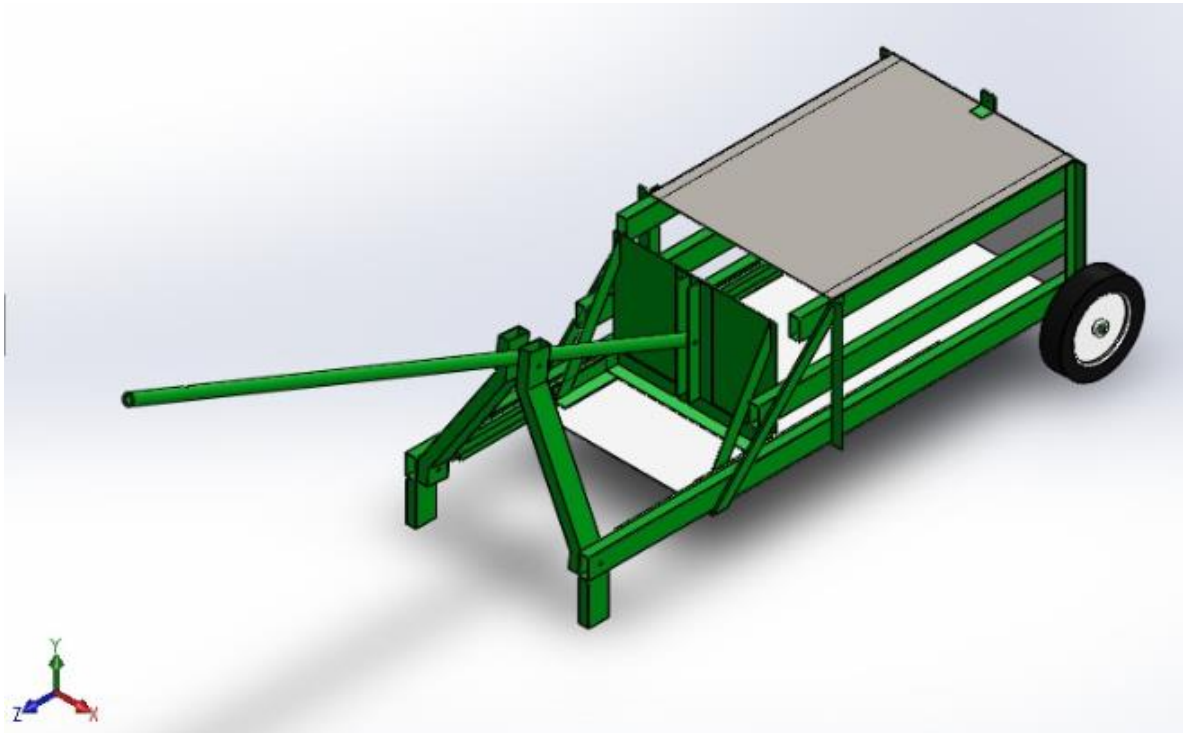
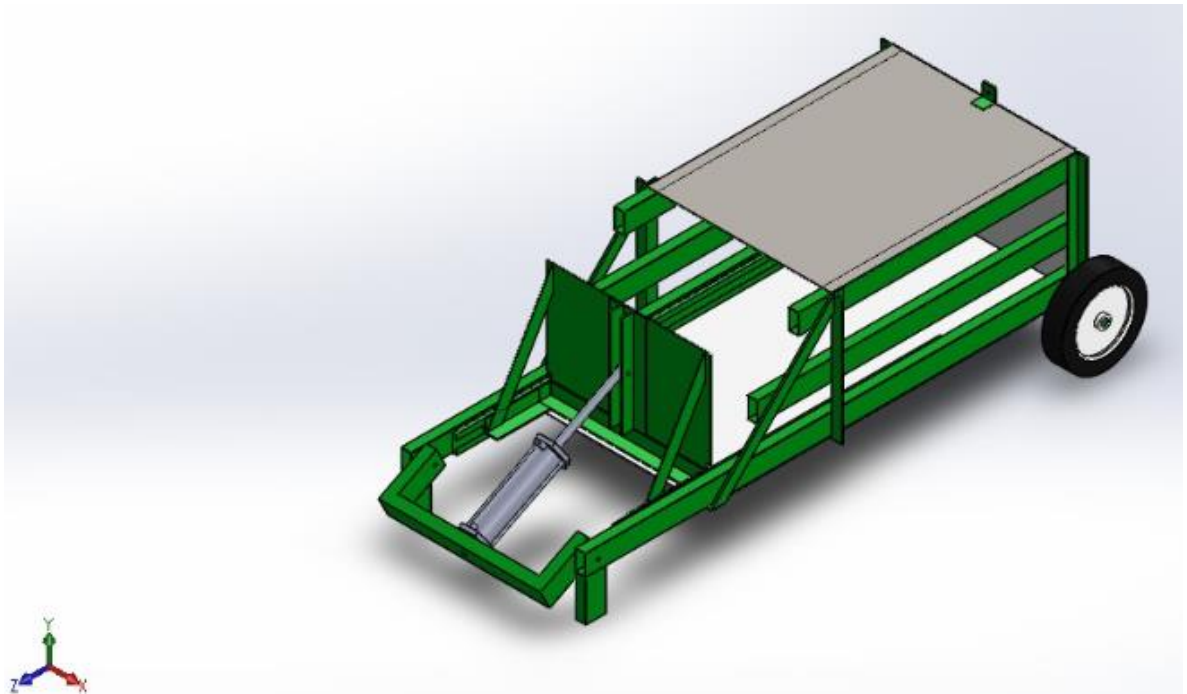


Figura 47. Montaje sistema neumático solidworks



En esta parte en específico del diseño del equipo se consideraron las partes mas criticas del funcionamiento que fueron: la palanca (biela en la primera alternativa), la placa de compactacion (que es la pieza que comparten los 2 montajes) y el soporte pivotante (debido a que recibe toda la fuerza del cilindro en sentido contrario), e se hicieron todos los analisis en el programa CAD.

4.2.1 Diseño del subsistema de compactación montaje n°1 (palanca): primero se determinaron las longitudes de cada una de las manivelas y de la biela para que la corredera entrara cierta distancia dentro de la camara de compactacion. Para esto se recurrio a la solucion geometrica para cuando la palanca estuviera completamente en posicion horizontal y las manivelas estuvieran a 45° , para simplificacion del problema.

Figura 48. Diagrama del sistema manivela-biela-corredera teorico

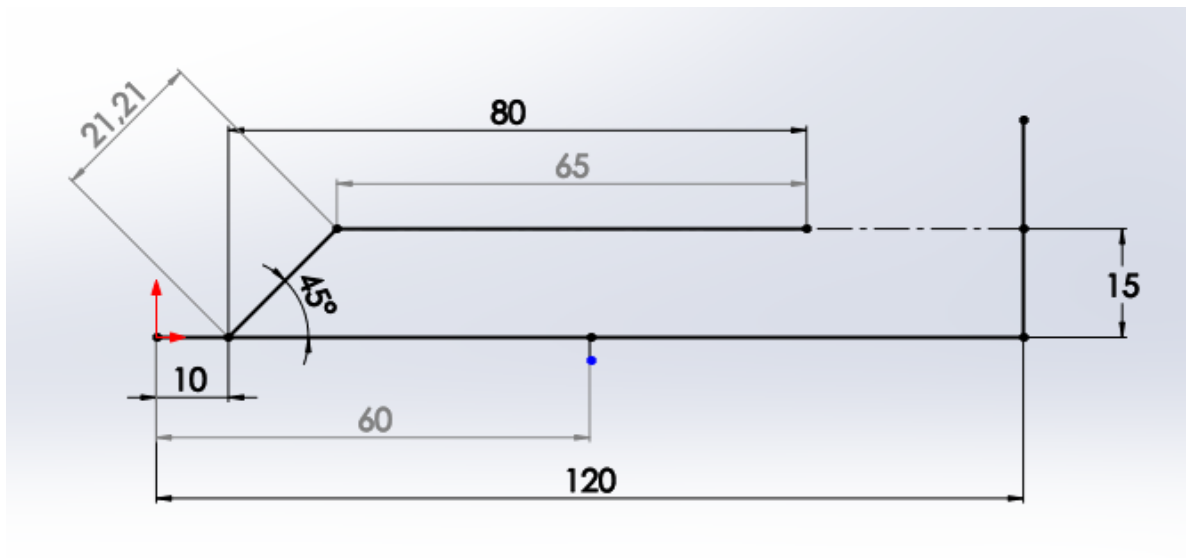
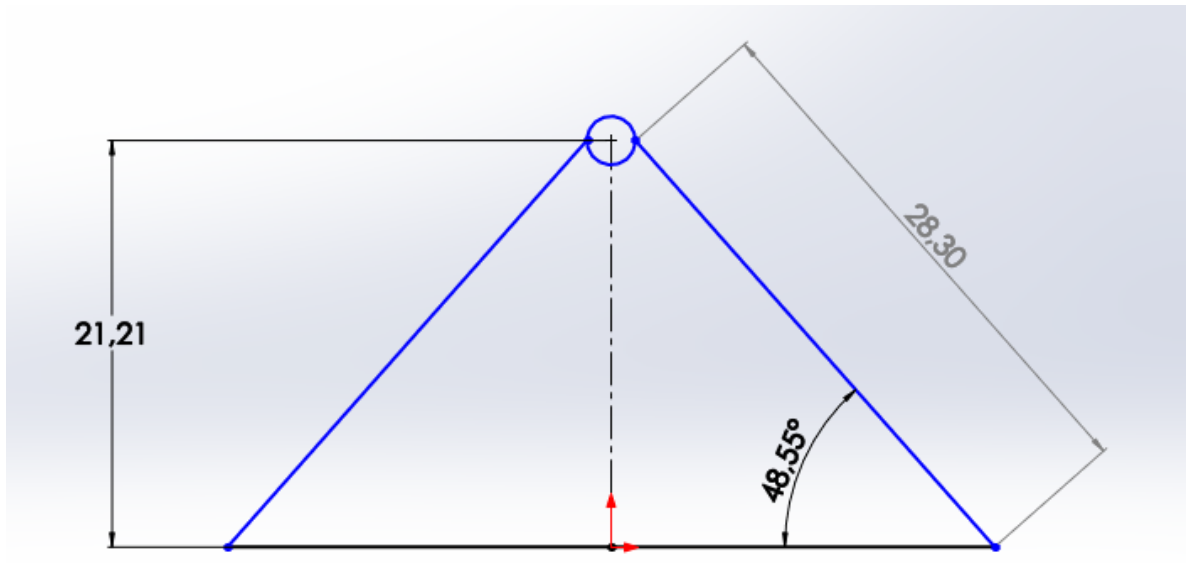


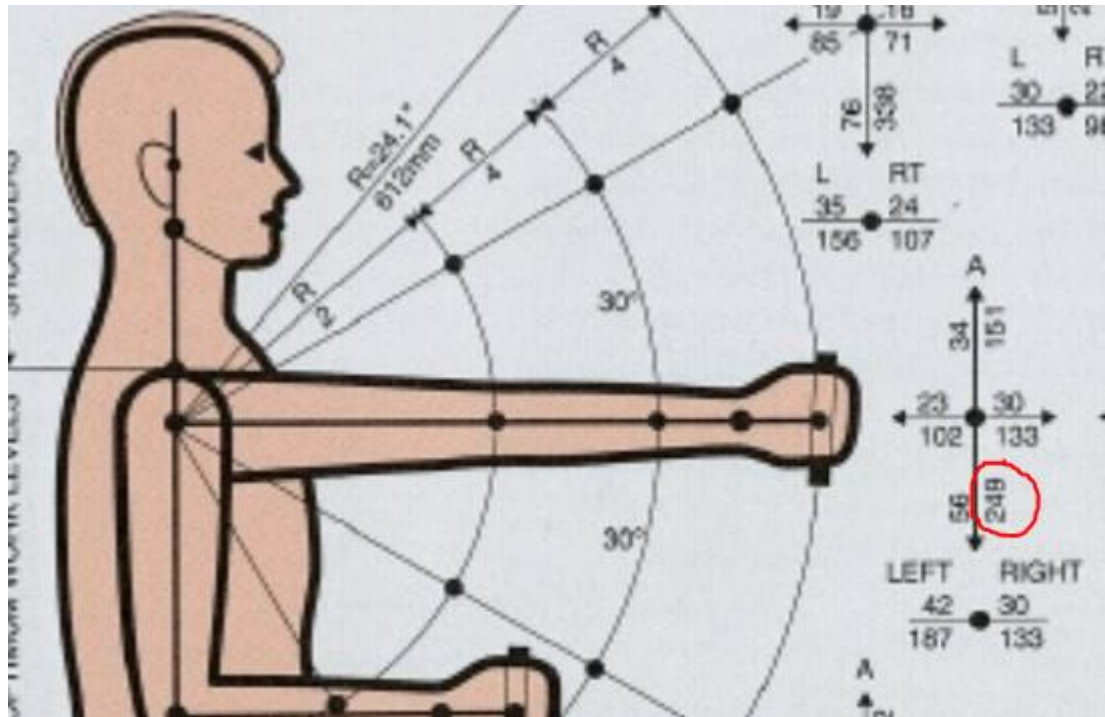
Figura 49. Determinación teórica de la longitud de las manivelas



Despues se estandarizaron los valores nominales de longitud de la biela y las manivelas a 150 cm y 30 cm respectivamente.

Despues se procedio a realizar el analisis en Solidworks donde se determino que el punto critico de operación seria cuando el pasto estuviera totalmente compactado y haya ocupado la totalidad del volumen objetivo, por lo que la placa de compactacion quedaria estatica al igual que la palanca. Como fuerza de entrada a la palanca se consulto en un libro de ergonomia cuanta fuerza es capaz de hacer un hombre promedio con sus brazos a cierta distancia del tronco del cuerpo y se tomo esta como referencia.

Figura 50. Fuerza promedio ejercida por un hombre en newton



El material seleccionado para la palanca fue acero AISI 1045 calibre 6.

Tabla 5. Propiedades del material de los ejes de las ruedas

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2.05×10^{11}	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	8×10^{10}	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	530000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.15×10^{-5}	/K
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	530000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.15×10^{-5}	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Estos fueron los resultados ofrecidos por el programa.

Figura 51. Tensiones de Von Mises palanca

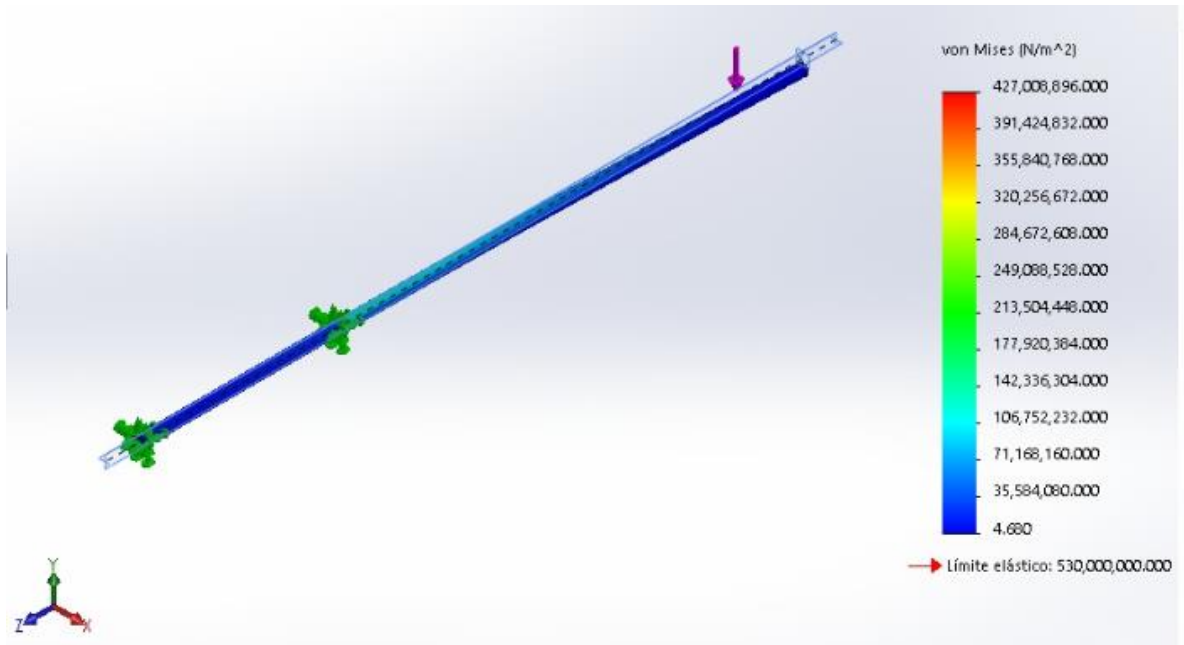
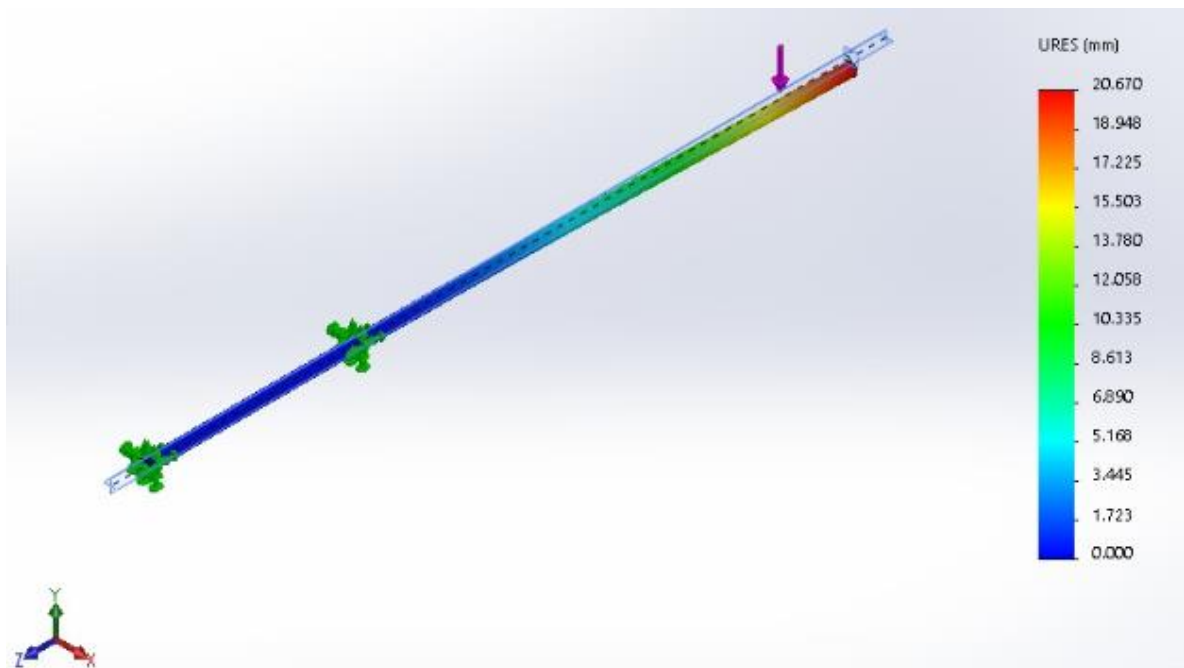


Figura 52. Desplazamientos palanca



Como se puede observar los desplazamientos en la parte posterior de la palanca son muy grandes, esto es debido a la distancia que hay entre el punto de aplicación de la fuerza con el apoyo siguiente pero las tensiones de Von Mises nos confirman no hay ningun problema de que el material ceda debido a que no se alcanza el limite elastico.

Figura 53. Deformaciones unitarias palanca

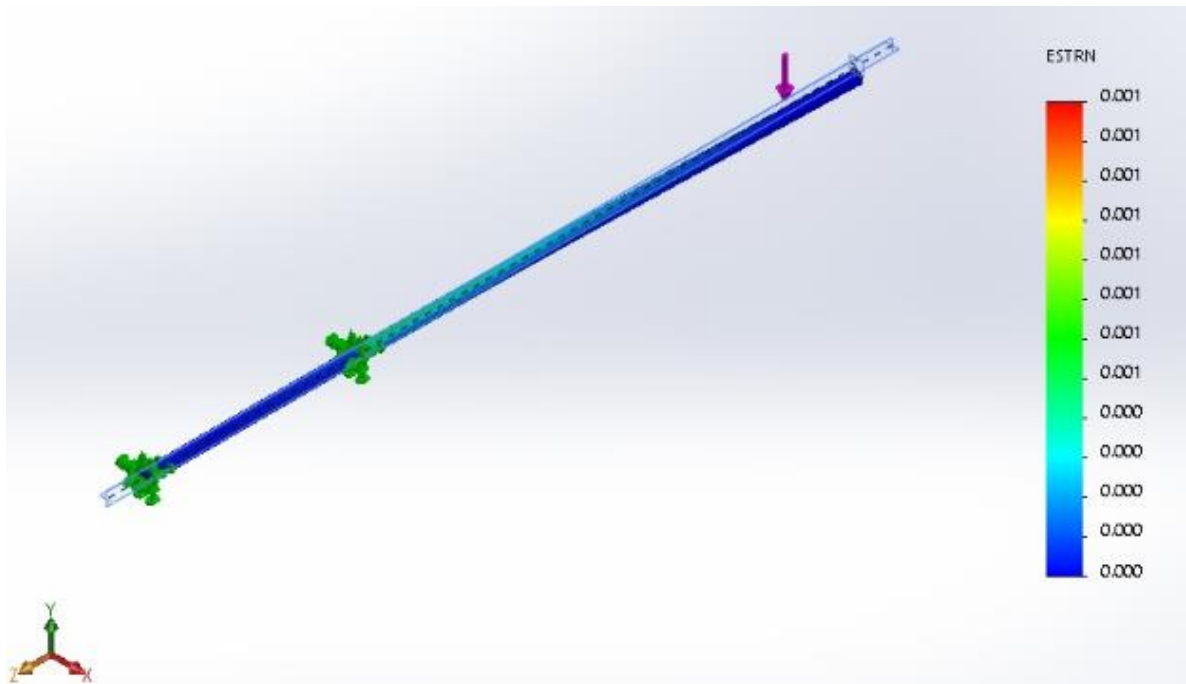
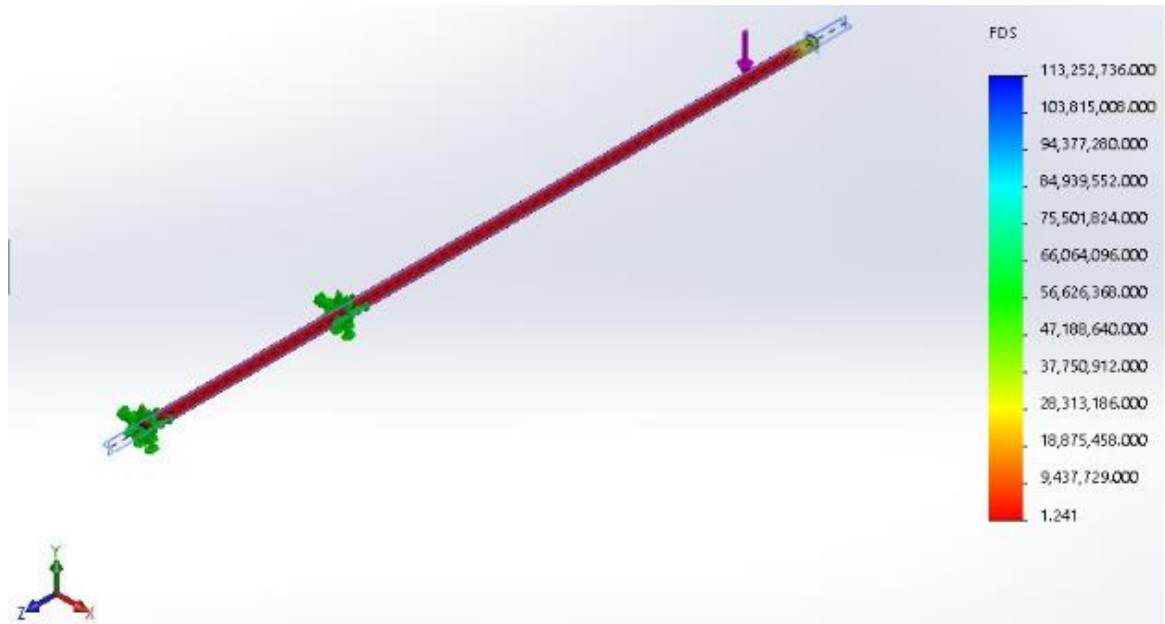


Figura 54. Factor de seguridad palanca



Finalmente el factor de seguridad muestra que la palanca va aguantar las cargas recibidas durante la operación de la maquina. Las manivelas no poseen un comportamiento critico por lo tanto se decidio que fueran de hacer AISI 1020.

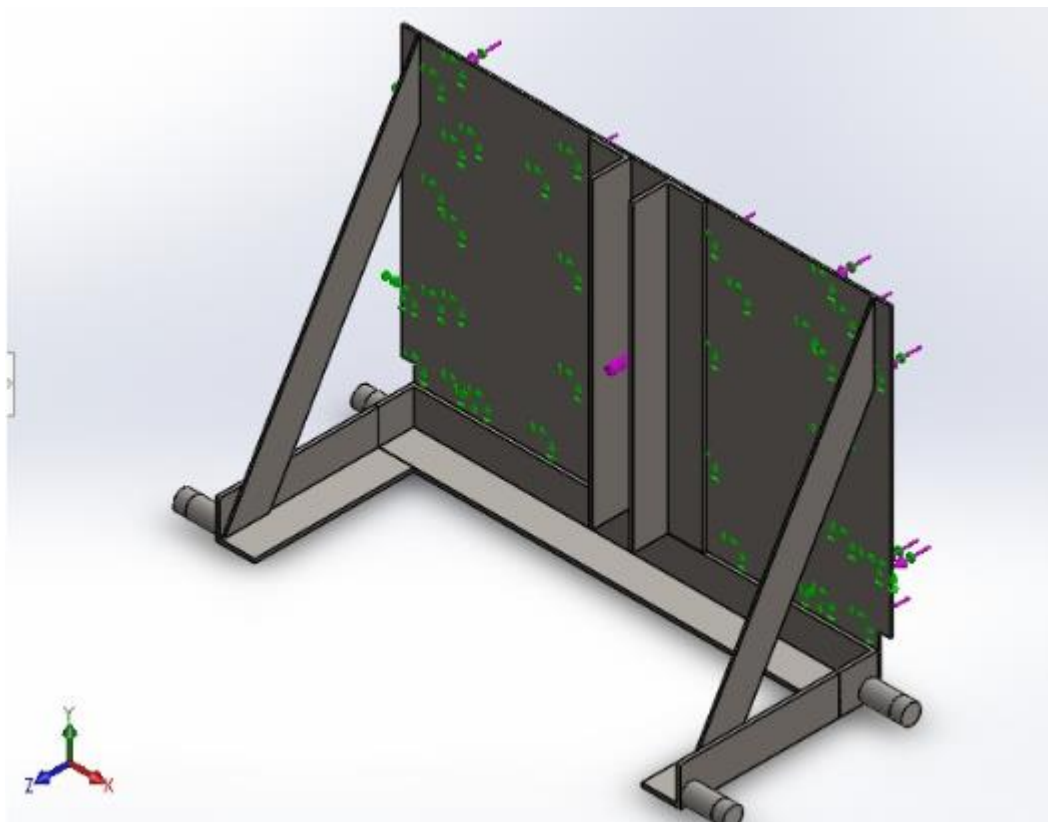
Tabla 6. Propiedades del material de las manivelas

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	7.7e+10	N/m ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m-K)
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m-K)
Calor específico	420	J/(kg-K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

4.2.2 Diseño de la placa de compactación: esta es la unica pieza del subsistema de compactación que comparten los dos tipos de montaje y es la encargada de darle la forma final, junto con la camara interna de la maquina, al fardo que se va a producir.

Para su diseño se considero el escenario critico en el cual recibiria mas carga. Este es especificamente cuando el cilindro neumatico esta en funcionamiento con la presion maxima que genera el compresor (100 psi) y el pasto ya este totalmente compactado en el volumen objetivo. Por lo tanto se volvio a utilizar la fuerza total que genera el cilindro (1397,45 N) y se tomo como dato de entrada para el analisis en solidworks. Debido a que era solo una lamina se decidio agregarle soporte estructural por la parte posterior para evitar cualquier deformacion excesiva.

Figura 55. Distribución de la fuerza de entrada placa de compactación



El material seleccionado para la placa de compactacion fue un acero ASTM A36 calibre 14, como el de las otras laminas ya mencionas anteriormente.

Tabla 7. Propiedades del material de los ángulos y las laminas

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	7.93e+10	N/m ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Límite de tracción	400000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	250000000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)
Calor específico		J/(kg·K)
Codente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 56. Tensiones de Von Mises placa de compactación

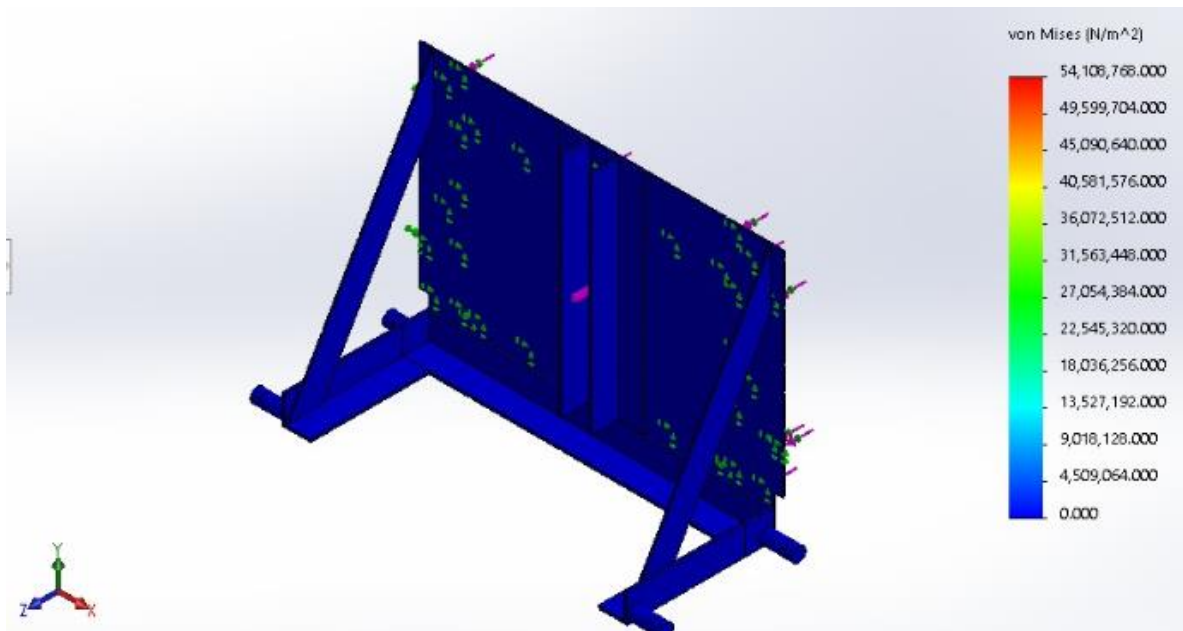


Figura 57. Desplazamientos placa de compactación

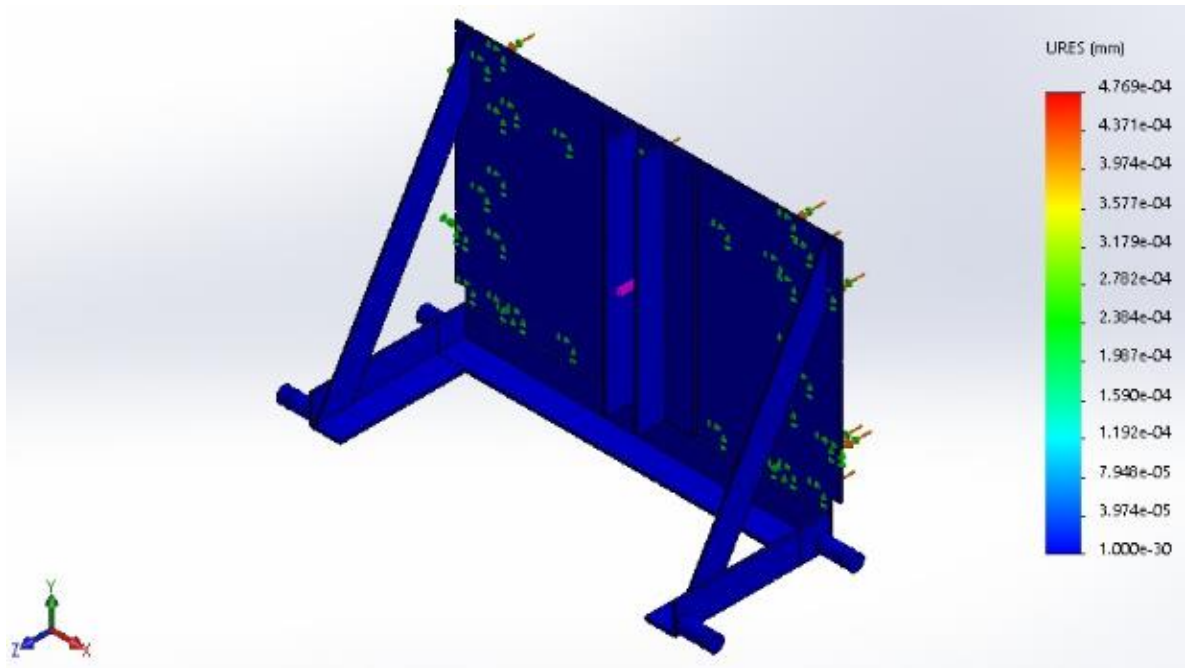


Figura 58. Deformaciones unitarias placa de compactación

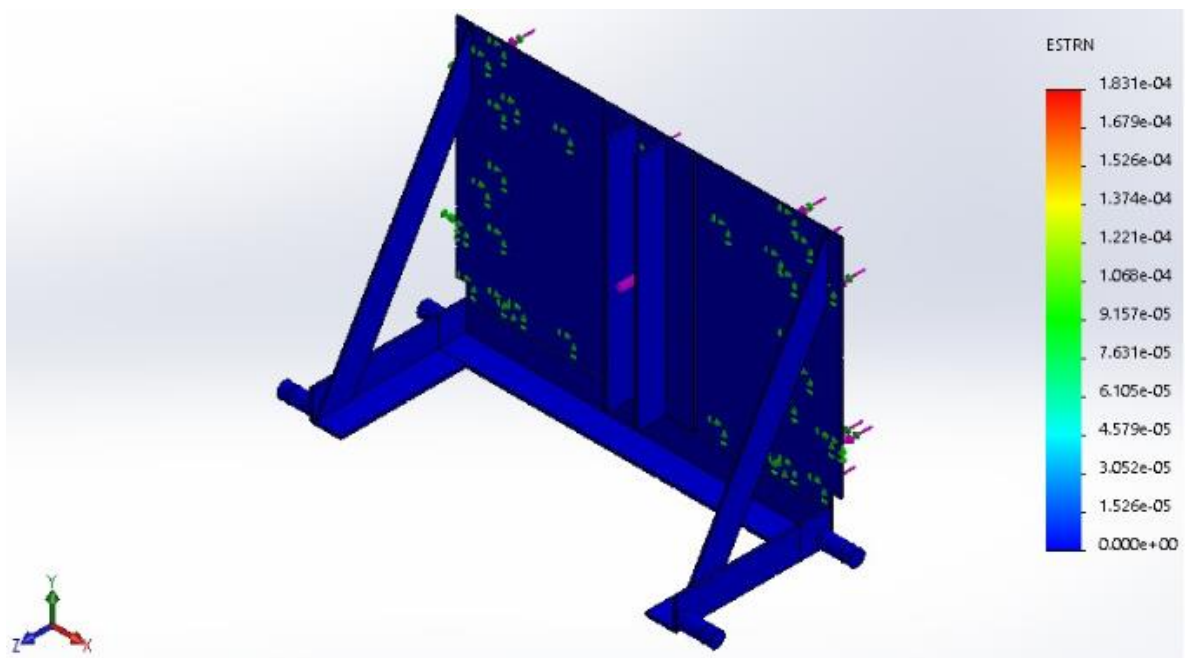
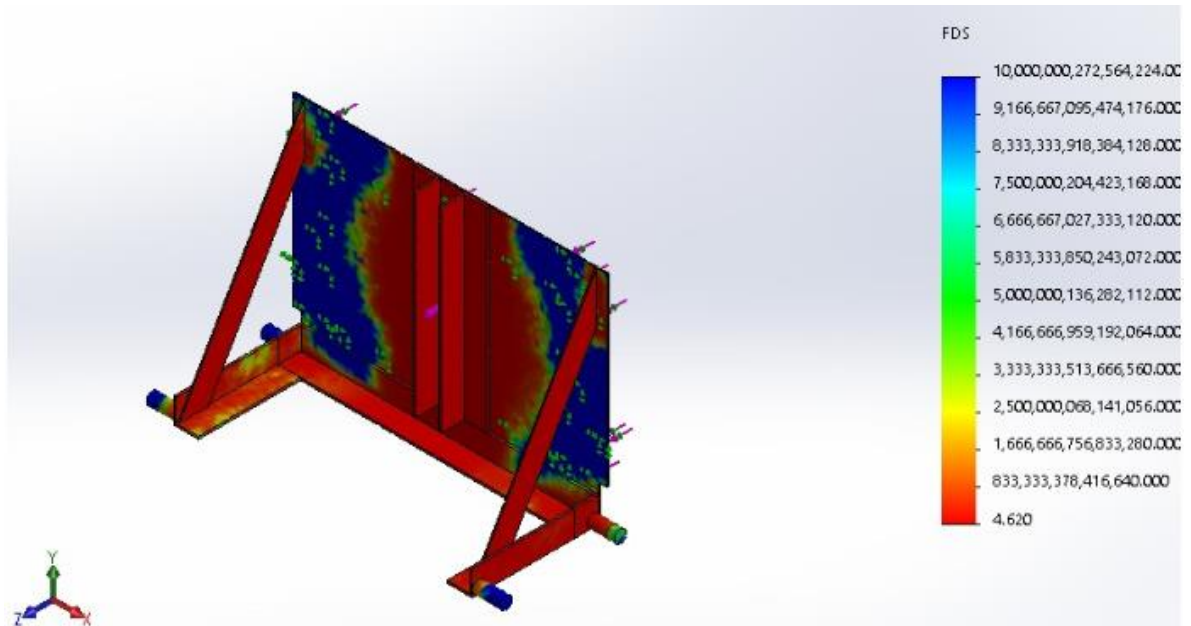


Figura 59. Factor de seguridad placa de compactación



La simulacion de la placa muestra que su desempeño en operación va a ser excelente debido a que su factor de seguridad esta por encima de 4.5 y sus desplazamientos son insignificantes, por lo tanto es casi improbable que sufra algun tipo de daño.

4.2.3 Diseño del subsistema de compactación montaje n°2 (neumático):

debido al proceso de la maquina y conexto operacional se definio que el sistema neumatico sea sencillo en su montaje y equipos. Estaria conformado por un cilindro actuador, un valvula de pedal 5/2 y un compresor portatil, y todo estaria unido con sus respectivas mangueras y racores.

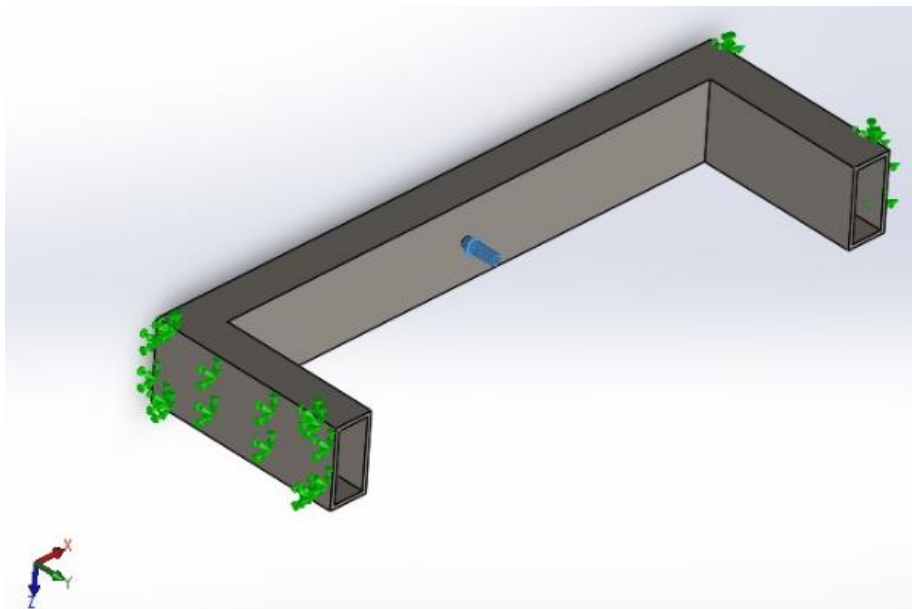
Como requerimientos basicos del cilindro se definio un area trasnversal de piston de 2" y una carrera minima de 20 cm con posibilidad de extension, pero que al final estarian sujetas a disponibilidad del mercado, y con soporte pivotante en el actuador, debido que facilita mucho mas el montaje e instalacion del circuito.

Se definio valvula de pedal debido a la facilidad de operación que ofrece este elemento, ya que le da mucho mas ergonomia al proceso y evita posibles lesiones por posturas indebidas. Tambien se definio que tuviera restauracion por resorte para asi garantizar que el cilindro siempre estuviera contraido cuando no se esta operando la maquina y asi evitar posibles lesiones fisicas. Las mangueras y racores estarian sujetas a las entradas del cilindro y la valvula, y al caudal de aire que se definiera pero como es un simple proceso de compactacion se decidio que el caudal no seria relevante a la hora de seleccionar los conectores.

Para más información sobre la válvula de pedal diríjase a ANEXO E, FICHA DE LA VÁLVULA, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

Finalmente se realizo el analisis y calculo computacional al soporte pivotante del cilindro, debido a que este elemento recibiria toda la carga que genera el cilindro pero en direccion contraria a la operación.

Figura 60. Distribución de la fuerza de entrada soporte pivotante



El material seleccionado para los perfiles cuadrados fue acero AISI 1020 calibre 12, debido a la gran magnitud de fuerza que soportara.

Tabla 8. Propiedades del material del soporte pivotante

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2e+11	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	7.7e+10	N/m ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m·K)
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción	420507000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	351571000	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	1.5e-05	/K
Conductividad térmica	47	W/(m·K)
Calor específico	420	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 61. Tensiones de Von Mises soporte pivotante

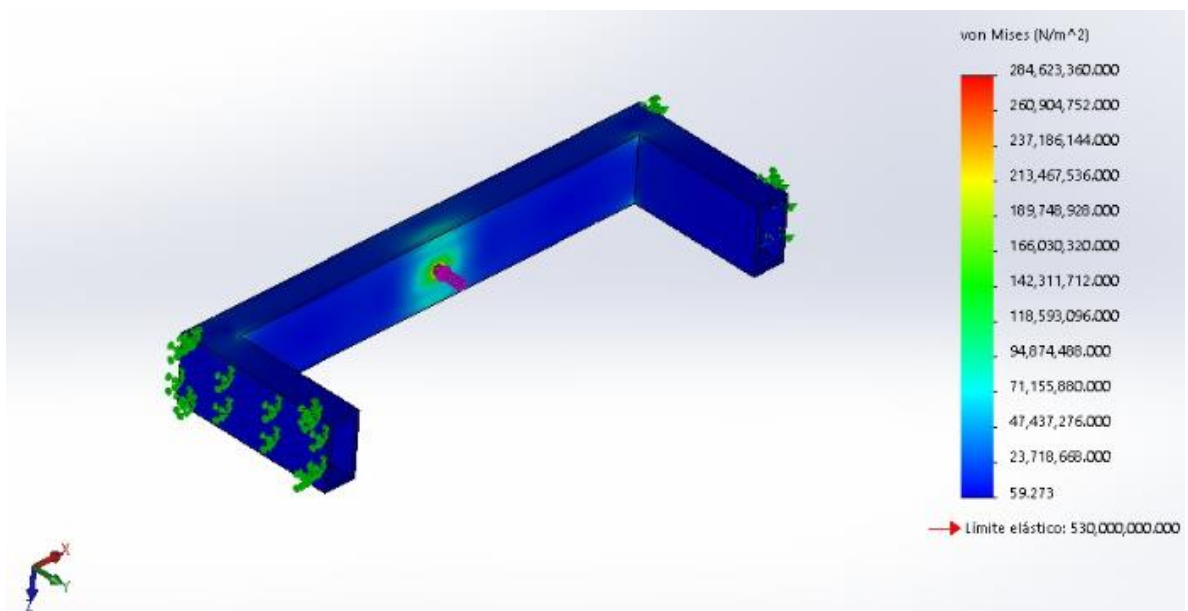


Figura 62. Desplazamientos soporte pivotante

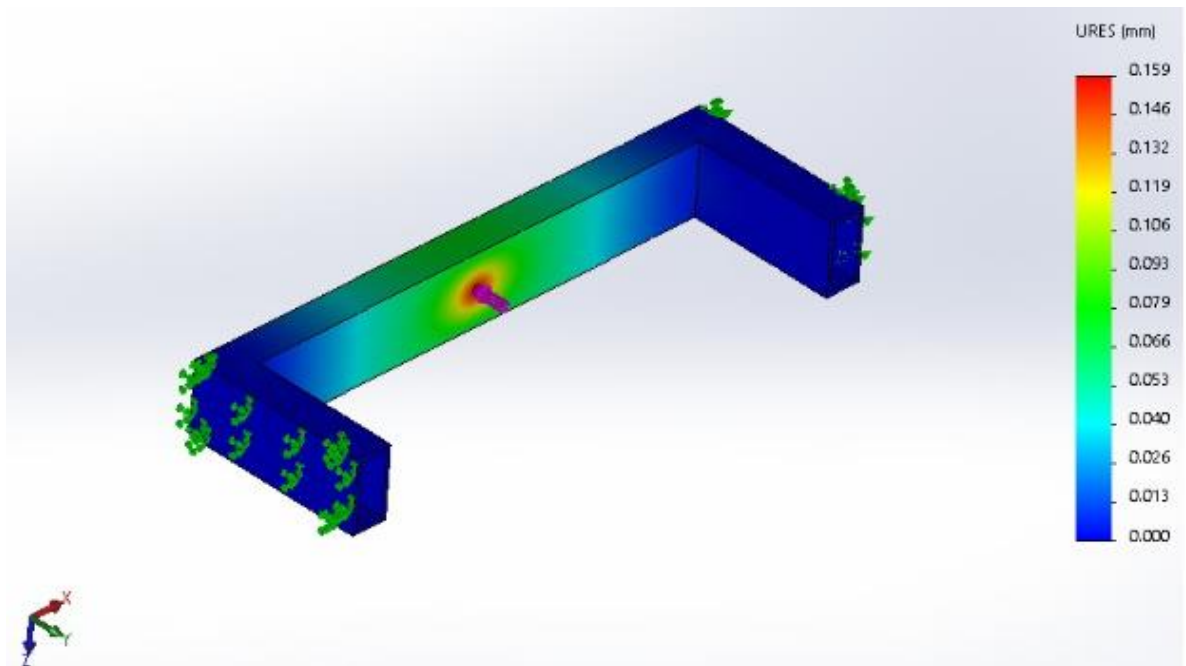


Figura 63. Deformaciones unitarias soporte pivotante

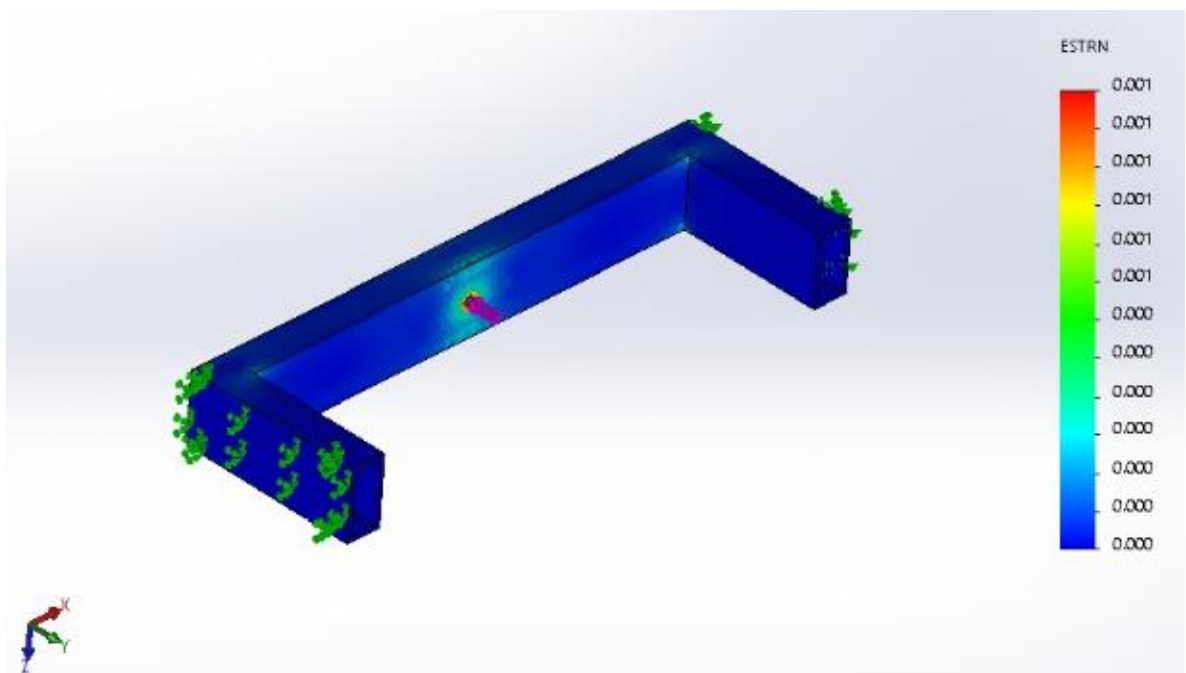
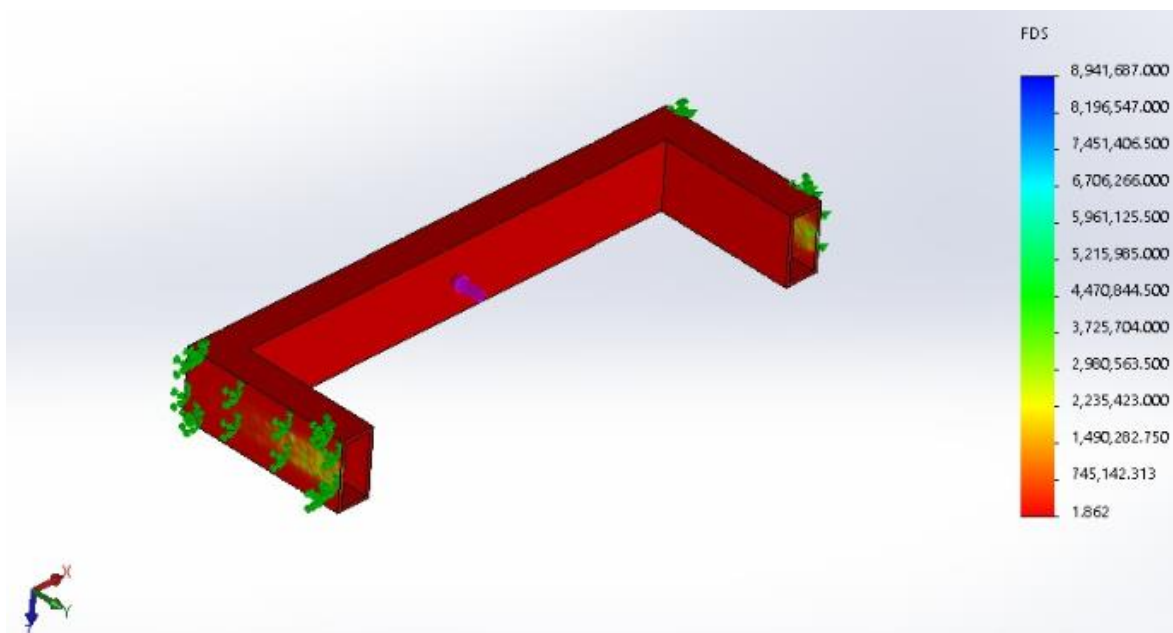


Figura 64. Factor de seguridad soporte pivotante



A pesar de la gran cantidad de fuerza que recibe el soporte, según los resultados, es capaz de aguantar sin problemas las cargas de operación y ofrecer un margen de seguridad aceptable ante cualquier posible falla.

5. CONSTRUCCIÓN

A continuación, se presenta una serie de fotografías las cuales permiten evidenciar el proceso de construcción de la maquina enfardadora de pasto, además de elementos y equipos utilizados para la culminación de este proyecto. El ensamble de la maquina se llevó a cabo con soldadura TIG.

Fotografía 9. Materiales para la construcción (Tubo cuadrado 2x1 calibre 16)



Fotografía 10. Materiales para la construcción (Angulo 1/8 x 1-1/4)



Fotografía 11. Armado inicial de la estructura principal (vista lateral)



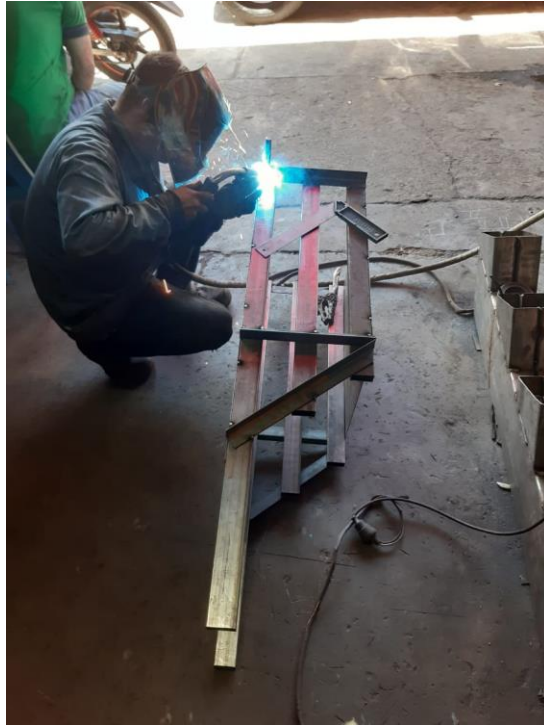
Fotografía 12. Armado inicial de la estructura principal (vista posterior)



Fotografía 13. Armado completo de la estructura principal (medición)



Fotografía 14. Armado completo de la estructura principal (soldando)



Fotografía 15. Montaje de las patas y ejes de las ruedas



Fotografía 16. Montaje de la compuerta de extracción con sus respectivas bisagras y seguro



Fotografía 17. Montaje de las ruedas



Fotografía 18. Armado final de la placa de compactación



Fotografía 19. Rodamientos usados para la placa de compactación



Fotografía 20. Montaje de la placa de compactación



Fotografía 21. Pulido final a la estructura



Fotografía 22. Tubo redondo 1" calibre 6 usado como Palanca



Fotografía 23. Manivelas



Fotografía 24. Montaje de sistema de palanca



Fotografía 25. Cilindro neumático



Fotografía 26. Válvula 5/2 de pedal



Fotografía 27. Montaje de sistema de neumático



6. PRUEBAS Y PINTURA

6.1 PINTURA DE LA ENFARDADORA

Se presenta el proceso de pintura de la enfardadora de pasto, mostrando el proceso parte por parte y luego el ensamble final.

Fotografía 28. Proceso de despiece y limpieza de la máquina



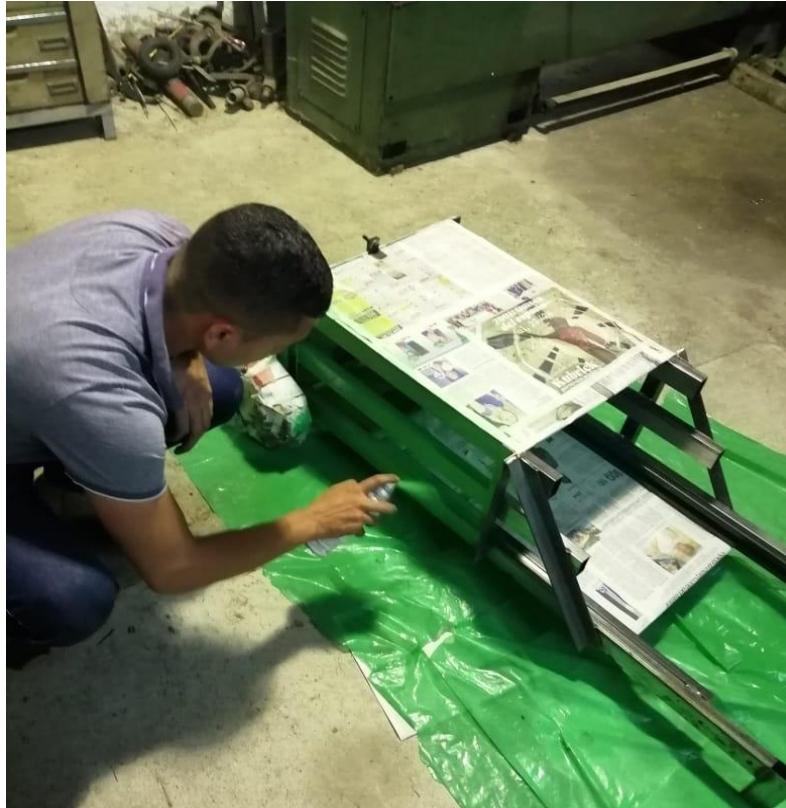
Fotografía 29. Proceso pintura de placa de compactación



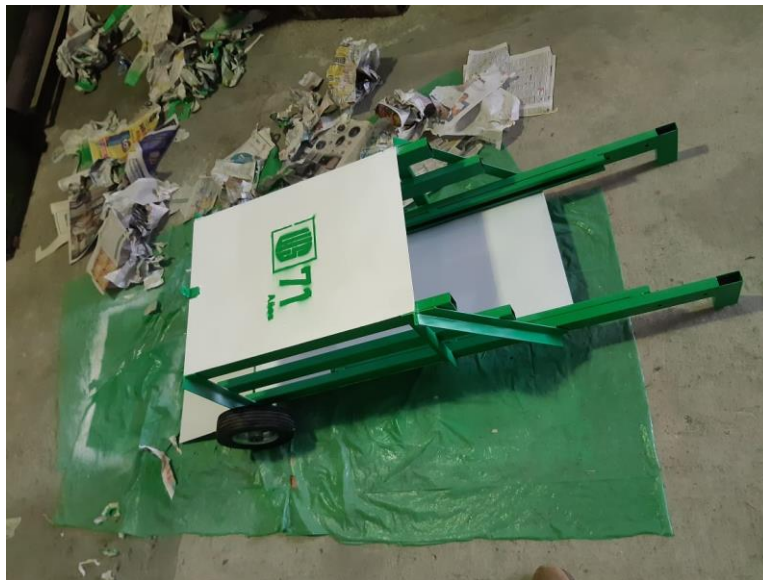
Fotografía 30. Placa de compactación pintada



Fotografía 31. Proceso pintura de la estructura



Fotografía 32. Estructura pintada



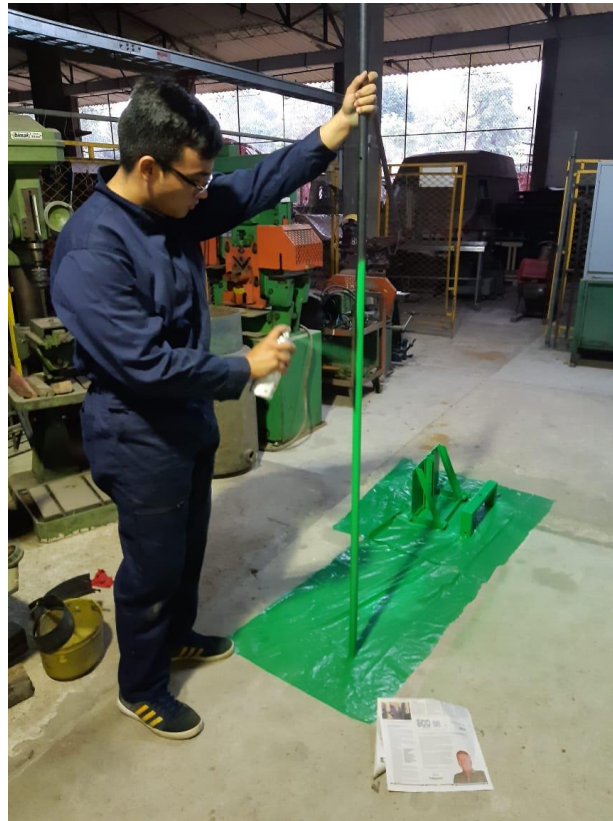
Fotografía 33. Manivelas pintadas



Fotografía 34. Apoyo de cilindro neumático pintado



Fotografía 35. Palanca



Fotografía 36. Enfardadora pintada y ensamblada con sistema de palanca



Fotografía 37. Enfardadora pintada y ensamblada con sistema neumático



6.2 PRUEBAS

Se presentan a continuación las pruebas realizadas a la enfardadora de pasto para validar su correcto funcionamiento, primeramente, se muestran las pruebas realizadas con el sistema de palanca y posteriormente las pruebas con el sistema neumático, incluyendo el proceso de alimentación de pasto, compactación, amarrado, extracción y pesado del fardo.

6.2.1 Prueba con sistema de palanca

Fotografía 38. Montaje de sistema de palanca



Fotografía 39. Alimentación de pasto



Fotografía 40. Compactación del pasto



Fotografía 41. Amarrado del fardo



Fotografía 42. Extracción del fardo



Fotografía 43. Pesado del fardo en la báscula



6.2.2 Prueba con sistema neumático

Fotografía 44. Montaje de sistema de neumático



Fotografía 45. Alimentación de pasto



Fotografía 46. Compactación del pasto



Fotografía 47. Amarrado del fardo



Fotografía 48. Extracción del fardo



Fotografía 49. Pesado del fardo en la báscula



Fotografía 50. Autores del proyecto



7. MANUAL DE OPERACIONES

Se presenta un manual de operaciones de la maquina el cual permite tener una guía autorizada de cómo se realizan los procedimientos y mantenimiento a tener en cuenta, además de tener ciertas normas de seguridad a la hora de poner está en funcionamiento, en pro de cuidar la integridad y salud de los operarios involucrados en el proceso.

Esto con el fin de mantener la eficiencia de la maquina y proceso de enfardado además de una larga vida útil de esta.

Por ergonomía del trabajo y comodidad del lector se muestran fragmentos importantes del manual, si se desea ver completo se pueden encontrar en anexos.

Figura 65. Funcionamiento por accionamiento de palanca

2. FUNCIONAMIENTO.

2.1. Accionamiento por sistema de palanca.

- Instalar el sistema de palanca con todos sus componentes, atornillar las manivelas a la base, atornillar la palanca a las manivelas y a la placa de compactación.
- Verificar que la compuerta de salida este correctamente cerrada
- Abrir la ventana de alimentación, aplicando fuerza hacia arriba a la palanca y esperar a que se realice la alimentación de pasto.
- Realizar la alimentación de pasto.
- Después de que la persona que está alimentando la máquina de pasto esta retirada de la ventana de alimentación y fuera de peligro, aplique fuerza hacia abajo a la palanca para empezar la compactación.
- Seguir repitiendo estas acciones en el orden estipulado hasta cumplir con las especificaciones del fardo que se desea obtener.
- Por último, realizar el amarrado del fardo y extracción del mismo.

Figura 66. Funcionamiento por accionamiento neumático

2.2. Accionamiento por sistema neumático.

- Instalar el sistema neumático con todos sus componentes, iniciando por atornillar el apoyo del cilindro a la base de la máquina y a la placa de compactación.
- Acoplar las mangueras al compresor, válvula y cilindro
- Poner el cilindro en estado inicial (recogido), dejando así una ventana de alimentación para suministrar el pasto
- Verificar que la compuerta de salida este correctamente cerrada
- Realizar la alimentación de pasto.
- Después de que la persona que está alimentando la máquina de pasto esta retirada de la ventana de alimentación y fuera de peligro, accione la válvula con el pie para permitir el suministro de aire al cilindro pistón y empezar la compactación.
- Volver a accionar la válvula para recoger el cilindro permitir nuevamente la alimentación de pasto.

Para el manual de operaciones completa dirigirse ANEXO C, MANUAL DE OPERACIONES, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

8. GUÍA DIDÁCTICA

Para completar el proceso de aprendizaje que se quiere dar con este proyecto, se decidió realizar una guía didáctica como complemento a la práctica como tal de la máquina. El objetivo principal de ella es que los estudiantes puedan evidenciar las diferencias significativas en los procesos de enfardado que va a realizar el equipo y el proceso actualmente utilizado en la granja de la UIS, la cual podrá ser utilizada por el profesor a cargo de la asignatura como documento de apoyo o, si él lo desea, como trabajo calificable para la materia.

8.1 REALIZACIÓN

La realización de la guía se basó en las guías de laboratorio UIS que están presente en diferentes asignaturas de la universidad. Como partes fundamentales de una guía didáctica se encontraron lo siguiente:

- Introducción.
- Objetivos.
- Marco teórico.
- Equipo utilizado.
- Procedimiento.
- Análisis de resultados y conclusiones.
- Bibliografía.

Que garantizan que el estudiante pueda hacer adecuadamente el procedimiento y consiga entender el objetivo de la práctica permitiendo que el proceso de aprendizaje sea el correcto.

Figura 67. Objetivos de la guía didáctica

OBJETIVO GENERAL

Comprender el proceso de enfardado de pasto utilizando las diferentes formas disponibles en la práctica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un fardo utilizando la canasta plástica.
- Hacer un fardo utilizando la maquina con el sistema de palanca.
- Hacer un fardo utilizando la maquina con el sistema neumático.
- Comparar los diferentes métodos de enfardado de pasto.

Figura 68. Procedimiento de la guía didáctica parte 1

PROCEDIMIENTO

Después de cortar, secar y apilar el pasto, el procedimiento, a realizar, se dividirá en las 3 formas disponibles para realizar la práctica:

1. Canasta plástica
 - a. Cortar suficiente cuerda de fique para amarrar el fardo.
 - b. Ubicar las cuerdas de fique en el fondo de la canasta formando una cruz dejando sus extremos por fuera.
 - c. Introducir el pasto seco hacia el fondo de la canasta
 - d. Compactar el pasto con los pies o con un tizón.
 - e. Repetir el paso c y d hasta llenar la canasta.
 - f. Amarrar el pasto con los extremos de la cuerda.
 - g. Sacar el fardo de la canasta.

Figura 69. Procedimiento de la guía didáctica parte 2

Antes de utilizar la máquina, realice el montaje que necesita y verifique que la compuerta de extracción está cerrada.

2. Máquina con el sistema de palanca:
 - a. Amarrar la cuerda al extremo anillado de la varilla.
 - b. Introducir la varilla por el extremo posterior de la máquina entre las ranuras hasta el otro lado.
 - c. Dejar suficiente cuerda para el fardo.
 - d. Retraer la placa de compactación halando la palanca hacia arriba.
 - e. Introducir el pasto seco en la venta de alimentación de la máquina.
 - f. Introducir el pasto en la cámara de la máquina empujando la palanca hacia abajo.
 - g. Repetir el paso d, e y f hasta conseguir la compactación y dimensiones objetivo.
 - h. Amarrar la cuerda al extremo anillado de la varilla.

Figura 70. Procedimiento de la guía didáctica parte 3

- i. Introducir la varilla por el extremo frontal de la máquina entre las ranuras rodeando el pasto con la cuerda.
 - j. Hacer un nudo resistente entre los extremos de la cuerda.
 - k. Soltar la cuerda del extremo anillado de la varilla.
 - l. Abrir la compuerta de extracción.
 - m. Accionar la palanca hasta sacar gran parte del fardo.
 - n. Extraer el fardo de la máquina con las manos.
3. Máquina con el sistema neumático:
 - a. Encender el compresor.
 - b. Amarrar la cuerda al extremo anillado de la varilla.
 - c. Introducir la varilla por el extremo posterior de la máquina entre las ranuras hasta el otro lado.
 - d. Dejar suficiente cuerda para el fardo.
 - e. Introducir el pasto seco en la venta de alimentación de la máquina.
 - f. Introducir el pasto en la cámara de la máquina accionando la válvula de pedal.
 - g. Repetir el paso d y e hasta conseguir la compactación y dimensiones objetivo.
 - h. Amarrar la cuerda al extremo anillado de la varilla.
 - i. Introducir la varilla por el extremo frontal de la máquina entre las ranuras rodeando el pasto con la cuerda.
 - j. Hacer un nudo resistente entre los extremos de la cuerda.
 - k. Soltar la cuerda del extremo anillado de la varilla.
 - l. Abrir la compuerta de extracción.
 - m. Extraer el fardo de la máquina con las manos.

Para ver la guía didáctica completa diríjase a ANEXO B, GUÍA DIDÁCTICA, adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

9.ANALISIS DE COSTOS

Tabla 9. Costos totales de la maquina parte 1

descripcion general de costos				
ITEM		Cant.	Valor unitario	Valor total
1	Materiales			
	Lamina 2MM 1.20x2.40m H.R	1	\$ 10.000	\$ 10.000
	Lamina calibre 14 60x40cm ASTM A36	1	\$ 30.000	\$ 30.000
	Lamina calibre 16 150x40cm acero 1020	1	\$ 45.000	\$ 45.000
	Tubo cuadrado 2x1" calibre 18 x6m acero 1020	1	\$ 28.000	\$ 28.000
	Angulo 1-1/4x1/9"x6m acero 1020	1	\$ 31.000	\$ 31.000
	Platina 1/2x1/8"X2m H.R	1	\$ 2.500	\$ 2.500
	Tubo Ø 1"x2m acero H.R	1	\$ 10.000	\$ 10.000
	Barra 5/16"x80cm acero 1020	1	\$ 2.000	\$ 2.000
	Barra 5/8"x25cm acero 1045	1	\$ 3.000	\$ 3.000
	Tornillo 5/16x2-1/2"	2	\$ 3.000	\$ 6.000
	Tornillo 7/16x4"	1	\$ 4.200	\$ 4.200
	Tornillo 5/16x1/2"	2	\$ 2.000	\$ 4.000
	Tornillo 5/16x2"	2	\$ 2.500	\$ 5.000
	Rodamientos B203 2RS-5/3	4	\$ 5.000	\$ 20.000
	Rueda 250-4 antipinchazo	2	\$ 33.000	\$ 66.000
	SP 1/4 tablero MDP b	1	\$ 59.000	\$ 59.000
	Canto 19mmx1m blanco	1	\$ 4.500	\$ 4.500
	Lamina de triplex 50x40cm	1	\$ 9.000	\$ 9.000
	Barra de balso 6mmx1m	1	\$ 1.000	\$ 1.000
	Bisagra PTA hacer in	4	\$ 1.950	\$ 7.800
			Subtotal	\$ 348.000

Tabla 10. Costos totales de la maquina parte 2

2	Componentes neumaticos			
	Cilindro neumatico BURGO SAS	1	\$ 75.000	\$ 75.000
	Valvula pedal 1/4 NPT 5/2	1	\$ 200.000	\$ 200.000
	Manguera poliur 1m	2	\$ 2.800	\$ 5.600
	Racor plastico recto 1/4x1/8"	2	\$ 4.100	\$ 8.200
	Racor plastico recto 1/4x1/4"	3	\$ 4.300	\$ 12.900
			Subtotal	\$ 301.700
3	Otros elementos			
	Aerosol ultracover 2 color verde	5	\$ 23.900	\$ 119.500
	Aerosol anticorrosivo color blanco	2	\$ 27.900	\$ 55.800
	Cinta de enmascarar 18mmx18m	1	\$ 6.900	\$ 6.900
	Bisturí	1	\$ 2.500	\$ 2.500
	Cuerda de fique 75m	1	\$ 8.000	\$ 8.000
	Cuerda sintetica 750m	1	\$ 12.000	\$ 12.000
			Subtotal	\$ 204.700

Tabla 11. Costos totales de la maquina parte 3

4	Fabricación			
	Mano de obra taller AN-RAGA	1	\$ 205.000	\$ 205.000
	Dobleza calibre 14 1 a 3m	1	\$ 5.000	\$ 5.000
	Servicio de perforación	1	\$ 400	\$ 400
	Enchape de canto liv	1	\$ 4.000	\$ 4.000
	corte recto en lamin	1	\$ 1.000	\$ 1.000
			Subtotal	\$ 215.400
5	Otras gastos			
	Transporte			\$ 230.000
	Parqueadero			\$ 20.000
			Subtotal	\$ 250.000
			Total	\$ 1.319.800

10. CONCLUSIONES

Después de todo este proceso de diseño se logró la construcción de una máquina enfardadora de pasto que es capaz de hacer un fardo de dimensiones de 60cmx40xcmx30cm (largo, alto y ancho) con ventana de alimentación de 30cmx40cm y un peso máximo de fardo de 20 kg, cumpliendo además con las especificaciones y deseos de los usuarios que fueron:

- Liviana (45,3 kg).
- De fácil transporte manual (disposición de carretilla) y se pueda utilizar en cualquier tipo de terreno (llantas anti pinchazo).
- Versátil (configuración neumática para cuando se cuenta con un compresor y configuración manual para el resto de los casos).
- Económica (precio de fabricación \$1319000 pesos).

Se ha complementado y mejorado el proceso de aprendizaje de los estudiantes de producción agropecuaria del IPRED gracias a la demostración de buenas y mejores prácticas que ofrece la máquina, en comparación con el método rudimentario, mostrándoles que existen métodos más eficientes y económicos que pueden usar e implementar, con la adición del manual de operaciones y la guía didáctica que complementa aún más el proceso de aprendizaje, esperando que en un futuro próximo se evidencie la mejoría de su calidad de vida y de sus familias.

Se logró afianzar de mejor manera como se conecta la ingeniería mecánica con los problemas de la vida real, a través de un proceso en el cual se tuvieron que combinar los conocimientos aprendidos en la academia con procesos de manufactura y construcción, y de la misma manera combinar esfuerzos tanto académicos con laborales para alcanzar un objetivo específico, contando con la

experiencia tanto de los profesores de la universidad como de los operarios del taller industrial para solucionar de la mejor manera las dificultades que se fueron presentando durante todo el proceso.

Se dio un paso más hacia el fortalecimiento de la relación entre la universidad y el sector rural colombiano gracias a lo desarrollado en este proyecto de grado, debido a que se hace cargo de problemáticas actuales de este sector y les da solución permitiendo un desarrollo tanto económico como social en la comunidad. Evidenciando que el alcance de la academia no está ligado solamente al componente teórico, sino que dependerá de las aspiraciones que los estudiantes, como individuos de una sociedad, quieran lograr, generando un beneficio más allá de lo monetario sin importar para que sector o grupo del país vaya dirigido con el entendimiento claro de que para alcanzar una sociedad más equitativa se debe tener en cuenta a todos.

BIBLIOGRAFÍA

ANZOLA VÁSQUEZ, Héctor José y DURÁN MURIEL, Héctor Mauricio. El secreto para obtener un buen heno. [Base de datos en línea]. Enero-febrero 2015. Revista: Carta FEDEGAN, 5782020 (Recuperado en 20 de julio 2019). Disponible en <https://www.fedegan.org.co/carta-fedegan-146-el-secreto-para-obtener-un-buen-heno>

Aprendemos tecnología. [En línea] (Recuperado el 10 de octubre de 2018) Disponible en: <https://aprendemostecnologia.org/2013/01/11/la-palanca/>

CASTAÑO. Laura.” Cómo hacer un Manual de Operación para máquinas”. [En línea]. (Recuperado en 23 de julio de 2019). Disponible en: <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/hacer-manual-operacion-maquinas>

CONtextoganadero. Conozca las diferentes formas de empacar el heno. [En línea]. Colombia, diciembre 07 de 2016. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-las-diferentes-formas-de-empacar-el-heno>

CONtextoganadero. Conozca los tipos de enfardadoras que se comercializan en el país. [En línea]. Colombia, enero 26 de 2017. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-los-tipos-de-enfardadoras-que-se-comercializan-en-el-pais>

FEDEGAN. Inventario bovino. [En línea]. Colombia. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>

FEDEGAN. Precio promedio de ganado gordo en pie Colombia (\$ x kilo) – precio referencial. [En línea]. Colombia. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios>

Grupo Bancolombia. Del campo al mundo: El sector agropecuario en Colombia. [En línea]. Colombia, noviembre 29 de 2018. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios-pymes/actualizate/sostenibilidad/sector-agropecuario-en-colombia>

INFRA SOLDADURAS INDUSTRIALES. “Manual de operación soldadura de arco corriente alterna”. [En línea]. (Recuperado en 23 de julio de 2019). Disponible en: <http://www.ses-soldadoras.com/manuales/200311253909.pdf>

Itacap. [En línea] (Recuperado el 05 de octubre de 2018) Disponible en: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=1847>

Mainero. [En línea] (Recuperado el 05 de octubre de 2018) Disponible en: <https://www.mainero.com/es/henificación/enfardadoras /enfardadora-5700/>.

Metalúrgica Hund limitada. [En línea] (Recuperado el 05 de octubre de 2018) Disponible en: <http://www.hund.cl/wp-content/uploads/2015/03/Enfardadora-Manual-Met--lica-Rodado.pdf>

Pastos de Colombia. [Anónimo] [En línea]. (Recuperado en 20 julio 2019.) Disponible en: <http://pastosdenuestracolombia.blogspot.com/>

PERKINS ENGINES COMPANY LIMITED. “Manual de operación y mantenimiento”. [En línea]. (Recuperado en 23 de julio de 2019). Disponible en: <http://www.emesa-perk.com.mx/manuales/h.pdf>

QUIMITUBE. “Trabajo de expansión y compresión de un gas”. [En línea]. (Recuperado en 30 de julio de 2019). Disponible en: <http://www.quimitube.com/videos/termodinamica-ejercicio-1-variacion-de-energia-interna-de-un-gas-dentro-de-un-cilindro-con-un-piston-de-5kn>

TILLEY, Alvin R. measure of man a woman. New York: Human Factors in Design, 2001. P.97

Wikifab. [En línea] (Recuperado el 10 de octubre de 2018) Disponible en: http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Cilindros_Neum%C3%A1ticos.

ZOHOTECNIA Y VETERINARIA. [En línea] (Recuperado el 10 de octubre de 2018) Disponible en: <https://zoovetesmipasion.com/nutricion-animal/heno-alternativa-alimenticia-del-ganado/>