UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"MÁQUINA DESHIERBADORA DE REMOCIÓN PROFUNDA PARA AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Producción industrial y tecnológica sostenible

AUTOR:

José Isacc Terán Rosales

DIRECTOR:

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Terán Rosales José Isacc

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Máquina deshierbadora de remoción profunda para agricultura de subsistencia
AUTOR (ES):	Terán Rosales José Isacc
FECHA: DD/MM/AAAA	02/09/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR /ASESOR:	MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre PhD. David Alberto Ojeda Peña

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de septiembre de 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JOSE ISACC TERAN ROSALES

Nombre: José Isacc Terán Rosales

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 02 de septiembre de 2026

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE

(f)……

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

C.C.: 1003188669

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "Máquina deshierbadora de remoción profunda para agricultura de subsistencia" elaborado por José Isacc Terán Rosales, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FERNANDO VINICIO VALENCIA AGUIRRE

(f)……

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre
C.C.: 1003188669

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DAVID ALBERTO OJEDA PENA

(f)……

PhD. David Alberto Ojeda Peña
C.C.: 1757898489

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi familia, por el apoyo, la confianza y la motivación que me han brindado durante cada etapa de mi formación profesional. Su respaldo ha sido fundamental para continuar adelante y superar las dificultades que se presentaron durante el desarrollo de este proyecto.

A mis padres, por sus consejos y por enseñarme a mantener la constancia y el esfuerzo para alcanzar mis objetivos. También dedico este logro a todas las personas que estuvieron presentes durante este proceso y que, de una u otra manera, contribuyeron a que pudiera culminar mi carrera universitaria.

Finalmente, dedico este proyecto a mí mismo, por la perseverancia y el compromiso puestos durante todo el proceso de diseño, construcción y validación de la máquina deshierbadora.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme terminar esta etapa de mi formación profesional y por darme la fortaleza necesaria para afrontar las dificultades que surgieron durante el desarrollo del proyecto.

A mi familia, por el apoyo constante, la paciencia y la confianza que depositaron en mí. Su acompañamiento fue importante para mantener la motivación y continuar trabajando hasta alcanzar los objetivos planteados.

A mi tutor y asesor de trabajo de integración curricular por la orientación y las observaciones proporcionadas durante las diferentes etapas de este trabajo. A los docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, quienes mediante sus conocimientos y experiencias aportaron a mi formación académica y profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que estuvieron presentes durante mi formación universitaria y que colaboraron en el proceso de fabricación, ensamblaje y pruebas de la máquina deshierbadora para la culminación de este proyecto.

RESUMEN

La presencia de maleza en los cultivos afecta y reduce la producción, provocando pérdidas en la siembra y quitándole a la siembra la posibilidad de absorber los nutrientes del suelo para su desarrollo. Debido a que en Ecuador la agricultura es una de las fuentes principales de producción y de economía, se desarrolló una máquina deshierbadora para cultivos de autoabastecimiento. Dicha maleza requiere ser removida desde la raíz para que su crecimiento tarde más tiempo, lo que disminuye la carga de trabajo del agricultor que realiza las tareas de deshierbe con herramientas manuales tradicionales. De esta manera se investigó sobre las características del suelo, las herramientas agrícolas usadas para quitar malas hierbas y la búsqueda del mecanismo más eficiente que remueva la maleza de los cultivos. Se llevó a cabo un Quality Function Deployment (QFD) para establecer la mejor alternativa que cumpla con los requerimientos técnicos que necesita el usuario. Se ejecutó el diseño empleando una herramienta Computer-Aided Design (CAD), del deshierbador con las especificaciones requeridas. Para validar el funcionamiento de la máquina, se ejecutó el análisis de elementos finitos de cada elemento que conforma la máquina deshierbadora, obteniendo parámetros satisfactorios de la deformación total, el esfuerzo y el factor de seguridad. Se realizó el proceso de construcción de los componentes y el ensamble de la máquina. Finalmente, se efectuaron las pruebas del funcionamiento de la deshierbadora manual en un terreno de suelo franco con malas hierbas, teniendo como parámetros la profundidad en la que la maleza es removida y el tiempo que dura esta actividad.

Palabras clave: Deshierbadora, mecanismo, maleza, agricultura, malas hierbas.

ABSTRACT

The presence of weeds in crops affects and reduces production, causing crop losses and preventing the crops from absorbing nutrients from the soil for their growth. Because agriculture is one of the main sources of production and economic activity in Ecuador, a weeding machine was developed for subsistence crops. These weeds must be removed from the root to slow their growth, thereby reducing the workload of farmers who perform weeding tasks with traditional hand tools. Consequently, research was conducted on soil characteristics, the agricultural tools used for weed removal, and the search for the most efficient mechanism to remove weeds from crops. A Quality Function Deployment (QFD) was conducted to identify the best alternative that meets the user's technical requirements. The weeder was designed using a Computer-Aided Design (CAD) tool, incorporating the required specifications. To validate the machine's performance, a finite element analysis was performed on each component of the weeder, yielding satisfactory results for total deformation, stress, and the safety factor. The components were manufactured and the machine was assembled. Finally, operational tests of the manual weeder were conducted on loamy soil infested with weeds, using the depth at which the weeds are removed and the time required for this activity as parameters.

Keywords: Weeding machine, mechanism, undergrowth, agriculture, weeds.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR... iii

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR iv

DEDICATORIA v

AGRADECIMIENTO vi

RESUMEN vii

ABSTRACT viii

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

ÍNDICE DE TABLAS xvi

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del problema 2

1.2. Objetivos 4

1.2.1. Objetivo general 4

1.2.2. Objetivos específicos 4

1.3. Justificación 4

1.4. Alcance 6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 7

2.1. Antecedentes 7

2.2. Fundamentos teóricos 10

2.2.1. El suelo 10

2.2.2. Parámetros de las cuchillas para la rueda de deshierbe 13

2.2.3. Parámetros de los arados de cincel 15

2.2.4. Métodos manuales para quitar maleza....16
2.2.5. Maquinaria agrícola para quitar maleza....18
2.2.6. Ergonomía para usar la máquina....21
2.2.7. Fuerza ejercida por el ser humano para usar la máquina....21
2.2.8. Análisis de elementos finitos....27
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS....28
3.1. Modelo de la investigación....28
3.2. Enfoques y tipos de investigación....30
3.3. Diseño de la Investigación....30
3.3.1. Fase 1: Estudio teórico....31
3.3.2. Fase 2: Diseño....31
3.3.3. Fase 3: Construcción....32
3.3.4. Fase 4: Prueba y evaluación....32
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN....33
4.1. Especificaciones del sistema a diseñar....33
4.1.1. Análisis QFD (Quality Function Deployment)....33
4.1.2. Análisis de la competencia....35
4.1.3. Casa de la calidad....36
4.1.4. Análisis funcional y modular....37
4.1.5. Matriz morfológica....38

4.2. Selección de la mejor opción 39
4.3. Solución seleccionada 41
4.4. Especificaciones de la solución seleccionada 42
4.4.1. Diseño estático y geométrico 42
4.4.2. Análisis de transmisión de potencia 44
4.4.3. Análisis de la resistencia al corte del suelo 45
4.4.4. Diseño de eje 46
4.4.5. Diseño de discos 50
4.4.6. Diseño de cuchillas 53
4.4.7. Diseño de púas 57
4.4.8. Selección de las chumaceras 60
4.4.9. Diseño de chasis 61
4.5. Análisis de elementos finitos 64
4.5.1. Análisis de la estructura 65
4.5.2. Análisis de la rueda deshierbadora 68
4.5.3. Análisis de las púas 70
4.6. Análisis de costos 71
4.7. Pruebas del funcionamiento de la máquina deshierbadora 73
4.7.1. Pruebas en suelo arenoso 74
4.7.2. Pruebas en suelo limoso 77

4.7.3. Pruebas en suelo arcilloso.....79

CONCLUSIONES 83

RECOMENDACIONES 84

BIBLIOGRAFÍA.....85

ANEXOS.....89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Instalación de las cuchillas.(a) fijación de cuchilla y (b) ángulo de instalación de cuchilla [18]. 14

Figura 2.2 Simulación de la velocidad de las partículas del suelo cuando α=0 [17]. 15

Figura 2.3 Ángulos de ataque del brazo a nivel de la superficie del suelo. (a) ángulo de ataque de 65°, (b) ángulo de ataque de 69° y (c) ángulo de ataque de 73° [19].....16

Figura 2.4 Escarda manual para eliminar malas hierbas [20]. 17

Figura 2.5 Guadaña manual [20].....18

Figura 2.6 Motocultor [21].....19

Figura 2.7 Tractor agrícola de alta potencia [21]. 19

Figura 2.8 Máquina de deshierbe mecánica de 1 fila [22]. 19

Figura 2.9 Esquema de cálculo de la norma EN 1005-3 [23]. 26

Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología.....29

Figura 4.1 Resultados de la encuesta. 34

Figura 4.2 Pioneer Rotovator [27]. 35

Figura 4.3 Escardadora de dedos Terrateck [28].....35

Figura 4.4 Casa de la calidad. 36

Figura 4.5 Nivel 0 del análisis funcional y modular. 37

Figura 4.6 Nivel 1 del análisis funcional y modular. 37

Figura 4.7 Nivel 2 del análisis funcional y modular. 38

Figura 4.8 Componentes de la máquina deshierbadora. 42

Figura 4.9 Esquema de la máquina deshierbadora. 42

Figura 4.10 Diagrama de cuerpo libre de la máquina deshierbadora. 43

Figura 4.11 Diagrama de análisis de transmisión de potencia. 44

Figura 4.12 Diagrama de cuerpo libre de la rueda principal. 44

Figura 4.13 Diagrama de reacciones en los soportes del eje. 46

Figura 4.14 Diagrama de fuerza cortante del eje. 46

Figura 4.15 Diagrama de momento flector del eje. 47

Figura 4.16 Especificaciones de las chumaceras seleccionadas. (a) vista frontal, (b) vista de sección de una unidad cerrada y (c) vista de sección de una unidad abierta [19]. 60

Figura 4.17 Fuerzas y sujeciones en la estructura a nivel máximo. 65

Figura 4.18 Esfuerzo máximo de la estructura a nivel máximo. 66

Figura 4.19 Análisis de convergencia de la estructura a nivel máximo. 66

Figura 4.20 Fuerzas y sujeciones en la estructura a nivel mínimo. 67

Figura 4.21 Esfuerzo máximo de la estructura a nivel mínimo. 67

Figura 4.22 Análisis de convergencia de la estructura a nivel mínimo. 68

Figura 4.23 Fuerzas y apoyos en la rueda deshierbadora. 68

Figura 4.24 Esfuerzo máximo en la rueda deshierbadora. 69

Figura 4.25 Análisis de convergencia de la rueda deshierbadora. 69

Figura 4.26 Fuerzas y sujeciones en las púas. 70

Figura 4.27 Esfuerzo máximo en las púas. 71

Figura 4.28 Análisis de convergencia de las púas. 71

Figura 4.29 Maleza en suelo arenoso. 74

Figura 4.30 Primera pasada de la máquina en suelo arenoso. 75

Figura 4.31 Profundidad de las púas en suelo limoso. 77

Figura 4.32 Profundidad de las cuchillas en suelo limoso. 77

Figura 4.33 Maleza en suelo arcilloso. 79

Figura 4.34 Primera pasada de la máquina en suelo arcilloso. 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tabla comparativa de los tipos de suelo [16]. 11

Tabla 2.2 Resistencia específica de los suelos [17].....12

Tabla 2.3 Resistencia de rueda de deshierbe con diferentes ángulos de cuchillas [18]. ...13

Tabla 2.4 Velocidad del movimiento de las partículas del suelo en el deshierbe [18].....14

Tabla 2.5 Comparativa de la maquinaria agrícola. 20

Tabla 2.6 Determinación de la fuerza de empuje [23]. 22

Tabla 2.7 Multiplicador de velocidad [23]. 23

Tabla 2.8 Multiplicador de frecuencia [23]. 24

Tabla 2.9 Multiplicador de duración [23]. 24

Tabla 2.10 Multiplicador de riesgo [23]. 25

Tabla 4.1 Matriz morfológica.....39

Tabla 4.2 Evaluación del peso específico por cada criterio 40

Tabla 4.3 Evaluación del peso específico para el criterio de durabilidad 40

Tabla 4.4 Evaluación del peso específico para el criterio de mantenimiento 40

Tabla 4.5 Evaluación del peso específico para el criterio de costo 40

Tabla 4.6 Evaluación del peso específico para el criterio de capacidad 41

Tabla 4.7 Evaluación del peso específico para el criterio de peso 41

Tabla 4.8 Resultados generales de cada criterio.....41

Tabla 4.9 Propiedades del acero AISI 1020 [29]. 47

Tabla 4.10 Propiedades del acero AISI 1045 [30]. 50

Tabla 4.11 Especificaciones y dimensiones de las chumaceras seleccionadas [19]. 60

Tabla 4.12 Costos de materia prima. 72

Tabla 4.13 Costos de mano de obra. 72

Tabla 4.14 Costos de elementos normalizados. 73

Tabla 4.15 Costo total. 73

Tabla 4.16 Porcentaje de deshierbe en la primera pasada en suelo arenoso. 75

Tabla 4.17 Porcentaje de deshierbe en la segunda pasada en suelo arenoso.....76

Tabla 4.18 Profundidad de cuchillas y púas en el suelo arenoso. 76

Tabla 4.19 Porcentaje de deshierbe en el suelo limoso. 78

Tabla 4.20 Profundidad de cuchillas y púas en suelo limoso.....78

Tabla 4.21 Porcentaje de deshierbe en la primera pasada en suelo arcilloso. 80

Tabla 4.22 Porcentaje de deshierbe en la segunda pasada en suelo arcilloso. 80

Tabla 4.23 Porcentaje de deshierbe en la tercera pasada en suelo arcilloso.....81

Tabla 4.24 Profundidad de cuchillas y púas en suelo arcilloso.....81

Tabla 4.25 Resumen comparativo de los suelos.....82

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La agricultura desde sus inicios ha sido un pilar de la transformación social de los países y juega un rol importante en el desarrollo de la economía principalmente en los países subdesarrollados y en vías de desarrollo debido a que estos dependen de su producción agropecuaria para proporcionar alimentos a su población [1]. Como consecuencia las familias consumen su propia producción agrícola, venden sus excedentes a fin de conseguir algo de efectivo para satisfacer alguna otra necesidad básica, es decir, existe un bajo poder adquisitivo del consumidor y su canasta alimenticia está alrededor de una dieta en tubérculos, cereales, raíces, productos de bajo valor monetario y nutricional [2].

Las malezas son plantas no deseadas que crecen en áreas transformadas por la actividad humana, su presencia afecta los cultivos al disminuir el rendimiento, dificultar los trabajos de cosecha y reducir el valor del producto final. Además, elevan los costos operativos de la actividad agrícola. Estas afectaciones impactan gravemente la producción, generando caídas en las cosechas que varían entre el 30 % y más del 60 % [3].

Las malas hierbas tienen una notable ventaja competitiva en relación a los cultivos debido a sus mecanismos evolutivos. Predominan en el campo porque germinan de manera escalonada y en grandes cantidades, lo que les permite emerger antes o al mismo tiempo que las plantas cultivadas. Por lo general, la maleza se distingue por su rápido crecimiento y eficacia vegetativa; esta característica es aún más evidente en las especies perennes, las cuales utilizan la energía almacenada en sus estructuras vegetativas para crecer más rápidamente y así superar fácilmente en tamaño a las plántulas del cultivo [4].

1.1. Planteamiento del problema

La agricultura es uno de los motores económicos más importantes de Ecuador gracias a la enorme fertilidad de sus tierras. Sin embargo, a pesar de tener suelos ricos y climas ideales, el país todavía no aprovecha al máximo este potencial para acelerar su crecimiento financiero. [5].

Para ayudar al desarrollo agrícola se ha elegido construir una máquina que quite la maleza en los cultivos, dicha maleza requiere ser removida desde la raíz para que su crecimiento tarde más tiempo ya que al quitar la maleza de manera superficial el tiempo de crecimiento es corto, lo cual causa costos más elevados en la producción agrícola. En el presente trabajo se desarrollará una máquina deshierbadora para ayudar a los agricultores en las labores de deshierbe, reduciendo los tiempos y costos de producción agrícola [5].

El principal problema de los agricultores ha sido la maleza en los cultivos. Esto provoca pérdidas en la siembra y limita la capacidad de los cultivos para absorber nutrientes del suelo. Durante muchos años, los agricultores han usado herramientas comunes para eliminar la maleza. También han utilizado productos químicos para controlar y eliminar la maleza en los cultivos. Sin embargo, esto ha causado enfermedades en los sembríos y ha afectado el medio ambiente [6].

Es necesario desarrollar un método para eliminar la maleza, ya que Ecuador es un país agrícola gracias a sus diferentes climas y suelos, pero los procesos de cultivo no están modernizados. En la actualidad, ha aumentado el número de estudios sobre innovación y modernización en la agricultura. Estos buscan reducir el impacto del uso de químicos para controlar la maleza, la modernización de la agricultura está aplicando el control mecánico para monitorear y manejar la maleza, esto ayuda a proteger los cultivos y mejorar su desarrollo [6].

Las acciones para manejar las malezas en la agricultura deben enfocarse en mantener su población a niveles que no dañen significativamente el rendimiento y la calidad de los cultivos. Se pueden llevar a cabo varias medidas preventivas al mismo tiempo, como reducir el banco de semillas de malezas, practicar la rotación de cultivos, elegir cultivos y variedades específicas, usar cultivos intercalados y aplicar una fertilización adecuada. El control mecánico es una opción viable cuando las medidas preventivas no logran controlar las malezas. Actividades como la escarda, el desbroce y el deshierbe manual son útiles en estos casos [7].

La simulación de elementos finitos permite comprobar si un producto se romperá, desgastará o funcionará como se espera. El análisis de elementos finitos es una técnica computacional que pronostica cómo un producto reaccionará frente a fuerzas, vibraciones, calor, flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real. Descompone un objeto en muchos elementos finitos, como pequeños cubos. Las ecuaciones matemáticas permiten predecir el comportamiento de cada elemento. Después, la computadora suma todos los comportamientos individuales para evaluar el comportamiento del objeto. [8].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una máquina deshierbadora para cultivos de autoabastecimiento.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los principales parámetros para el desarrollo de una máquina deshierbadora.
- Diseñar los elementos mecánicos que constituyen la máquina deshierbadora.
- Construir la máquina diseñada.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

1.3. Justificación

Esta propuesta tecnológica se elabora con la finalidad de ayudar a mejorar la producción agrícola, desarrollando una máquina que remueva la maleza en los cultivos, optimizando el mantenimiento del terreno y la incorporación de la tecnología en las actividades agrícolas, lo que permite reducir costos y tiempo. Con el desarrollo de este proyecto se materializa el diseño final de la máquina deshierbadora, lo que ayuda a la tecnificación de la agricultura y disminuye la carga de trabajo del agricultor que realizaba las tareas de deshierbe con herramientas manuales tradicionales.

En el desarrollo de este proyecto, se consideran varios enfoques que buscan el mecanismo más eficaz para remover la maleza de los cultivos de forma profunda. La información que se obtenga permitirá encontrar soluciones o alternativas que ayudará a diseñar y construir una máquina que remueva la maleza de los cultivos de manera profunda y facilite el trabajo de los agricultores de una manera eficiente.

Para la elaboración de este proyecto, se considera la presencia excesiva de maleza en los cultivos. Se desarrolla un mecanismo para remover maleza, lo que genera beneficios económicos, al reducir el tiempo y costos de la producción agrícola. Para ejecutar este proyecto, se comienza con la recopilación de la información necesaria para el diseño y construcción de la máquina, además, tener en consideración los requerimientos del usuario. La información obtenida permitirá explorar soluciones o alternativas que nos ayuden a crear una máquina que elimine la maleza de los cultivos. Se implementa el análisis QFD (Quality Function Deployment) para identificar el modelo más viable que cumpla con los requisitos técnicos. Se desarrollará un diseño conceptual inicial, seguido de varias etapas de diseño básico, y posteriormente se realiza el diseño en el software SolidWorks para llevar a cabo los análisis cinemáticos y dinámicos necesarios para el modelo.

La ejecución de este proyecto demuestra que es posible construir una máquina deshierbadora funcional utilizando materiales de fácil adquisición y un diseño mecánico sencillo. Esta alternativa puede ser de utilidad para agricultores que realizan labores de deshierbe de forma manual y que requieren una herramienta que disminuya el esfuerzo físico durante el trabajo.

En resumen, este proyecto busca mejorar la producción agrícola mediante el desarrollo de una máquina que remueva la maleza de manera eficiente y profunda, reduciendo costos, tiempos y el uso de químicos que afectan negativamente el medio ambiente, la salud de los cultivos y de las personas. Utilizando un enfoque experimental, que busca el mecanismo más eficaz para esta labor, optimizando las prácticas agrícolas y promoviendo la sostenibilidad y beneficiando a los agricultores, al facilitar su trabajo, como al entorno natural, reforzando el compromiso con el bienestar social y ambiental.

1.4. Alcance

El proyecto tiene como finalidad diseñar, construir y validar el funcionamiento de una máquina deshierbadora que servirá para la remoción profunda de la maleza que crece de manera silvestre en los cultivos agrícolas, esta máquina mejora la calidad del suelo para mejorar las plantas, la idea es evitar el uso de herramientas manuales tradicionales y dejar que la máquina lo haga rápidamente realizando cortes repetitivos para remover las hierbas malas. La máquina deshierbadora está enfocada para quitar la maleza a lo largo de los surcos en los cultivos sembrados y no se usará para remover la maleza de los espacios dejados entre plantas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el marco teórico de este proyecto y se analiza los antecedentes vinculados al diseño de maquinaria agrícola y a las soluciones tecnológicas implementadas en el ámbito agrícola al control de malezas.

2.1. Antecedentes

Daniela Segovia (2021), realiza el diseño de un deshierbador manual que posee tres sistemas de deshierbe, como mecanismo principal usa una rueda con 16 cuchillas, el segundo mecanismo es 4 discos de arado y el tercer mecanismo son 5 aspas de corte en el que estos tres elementos están conectados a través de una cadena cruzada que realiza la transmisión de movimiento, los tres elementos están en contacto con el terreno para realizar un trabajo eficiente y de excelente calidad tomando en cuenta la fuerza que aplica el operario para ejecutar el deshierbe. Para la validación de la máquina deshierbadora se usa el software ANSYS para comprobar la deformación total, el esfuerzo al cual está sometido cada elemento, la deformación unitaria y el coeficiente de seguridad, realiza un análisis de convergencia de los resultados obtenidos de deformación y esfuerzo, también realiza el mallado mediante “Sizing” para que se refine y sea más uniforme el mallado, para de esta manera conseguir resultados satisfactorios [9].

En el artículo de Tang et al. (2021), presentan un análisis del mecanismo y la optimización del rendimiento del deshierbe por enterramiento con un desmalezador autopropulsado, demuestra que la altura y la fuerza que actúa sobre las malezas fueron los principales factores que alteraron la efectividad del enterramiento. El principal mecanismo es una rueda de deshierbe de dientes de rastrillo en el que diseña y se combina con la potencia adecuada. Para verificar la racionalidad del dispositivo diseñado, se seleccionan

como factores experimentales la velocidad de avance de la máquina, la velocidad de rotación de las ruedas de deshierbe y la profundidad de deshierbe, y como índice experimental la tasa de deshierbe entre hileras [10].

Zhang et al. (2022), en un artículo presentan la optimización y validación de los parámetros de las cuchillas para la rueda de deshierbe. En este estudio, se analizaron los componentes clave del deshierbe mecánico en un arrozal. Los resultados mostraron que cuando el ángulo de instalación de la cuchilla fue de 0°, la resistencia al corte de la cuchilla fue menor; Cuando el ángulo de instalación de la hoja era de 20 °, la hoja tenía la mayor capacidad de eliminación de suciedad. Por lo tanto, el rango del ángulo de instalación de la cuchilla de la rueda de deshierbe debe ser de 0 a 20°. El ángulo de instalación de la cuchilla de la rueda de deshierbe se tomó como factor de prueba, y la resistencia de la rueda de deshierbe y la velocidad de las partículas del suelo se tomaron como índices de prueba [11].

Wang et al. (2024), realizaron el diseño de una rueda de deshierbe combinada entre hileras de arrozal y se ejecutaron experimentos sobre las propiedades mecánicas del corte de malezas para obtener parámetros geométricos de malezas de arroz. Se encontró que el rango para el espacio de corte de la cuchilla fija dinámica está entre 0.6 mm y 1.4 mm y el ángulo de corte está entre 5° y 15°, lo que resulta en la fuerza de corte máxima más baja para las malezas. Utilizando el software de simulación dinámica LS-DYNA R12.0.0, se estableció un modelo de interacción fluido-estructura (FSI) del sistema rueda de deshierbe-agua-suelo. Se obtiene la combinación óptima de parámetros estructurales para el dispositivo: un espacio de corte de cuchilla fijo dinámico de 1.4 mm, un ángulo de corte de 10.95° y un ángulo de instalación de cuchilla dinámico de −3.44°. Los experimentos de campo demostraron que el dispositivo logró una tasa promedio de deshierbe del 89.7% y

una tasa promedio de daño a las plántulas del 1.9%, lo que indica un rendimiento excelente [12].

Qi et al. (2017), en su artículo de diseño y experimento de la máquina de cultivo de deshierbe de tipo hilera ancha, combina las características del suelo y de los componentes de desmalezado existentes, diseña y optimiza una rueda de deshierbe tipo cuchilla en espiral mediante cinemática y análisis de simulación dinámica explícita de la rueda de desmalezado que interactúa con el suelo y las malezas. A medida que aumenta la velocidad de avance de la máquina, la fuerza de desmalezado primero aumenta y luego disminuye. Debido a que la rueda de deshierbe es accionada para girar, la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de avance de la máquina. Cuando la velocidad de avance es lenta, la capacidad de los dientes de la hoja en espiral para voltear el suelo es débil y la velocidad de deshierbe es baja, las funciones de corte y arado realizan operaciones de cultivo y deshierbe. [13].

Zeng, Martin, Chen y Ma (2021), en el artículo de rendimiento de desmalezado de una grada de púas flexibles, se midieron las fuerzas de corte del suelo (de tiro y verticales), los desplazamientos del suelo (hacia adelante y lateralmente), la profundidad de trabajo del suelo, la eficacia del control de malezas, la densidad de malezas y el daño al cultivo. Los resultados mostraron que el ajuste de carga de resorte tuvo un efecto más dominante en la profundidad de trabajo y las fuerzas de corte del suelo que la velocidad. La desmalezadora de púas tuvo una eficacia de control de malezas del 44.9 % y el 51.6 % en 2019 y 2020, respectivamente, en la configuración de carga baja, que aumentó al 59.2 % y el 65.3 % en 2019 y 2020, respectivamente, a medida que la carga del resorte aumentó a media. La configuración de carga alta resultó en una eficacia máxima del 73.9 % en 2019 y del 78.1 % en 2020 [14].

2.2. Fundamentos teóricos

En esta sección se presenta los fundamentos conceptuales y científicos que respaldan el desarrollo del proyecto justificando las decisiones técnicas adoptadas durante el proyecto.

2.2.1. El suelo

El suelo es la capa de tierra donde crecen las raíces y de donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas. Éste está formado por minerales de la Roca Madre mezclados con materiales orgánicos (restos de lo que alguna vez tuvo vida), agua, aire y organismos vivos. Se forma a partir de la roca original o madre que hay en una determinada zona que por efecto del clima del lugar (temperatura, lluvias, helada, viento, radiación solar) esta roca se fragmenta y se desintegra en partículas minerales más pequeñas [15].

2.2.1.1. Tipos de suelo

Los suelos arenosos, son más sueltos y son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas. Los suelos limosos, tienen gránulos de tamaño intermedio, son fértiles, fáciles de trabajar, forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos. Los suelos arcillosos, tienen una consistencia densa y pesada que retiene el agua por mucho tiempo; aunque son sumamente ricos en nutrientes, se vuelven difíciles de labrar cuando no tienen humedad. [16].

Tabla 2.1 *Tabla comparativa de los tipos de suelo [16].*

Conceptos	Arcilloso	Limoso	Arenoso
Infiltración de agua	Baja	Baja	Alta
Aireación	Baja	Baja	Alta
Retención de agua	Alta	Media	Baja
Erosión	Alta	Alta	Media - Baja
Retención de nutrientes	Alta	Media - Baja	Baja
Mineralización de la materia orgánica	Baja	Baja	Alta
Facilidad para formar buena estructura	Alta	Baja	Media - Baja

2.2.1.2. Propiedades del suelo

Propiedades físicas.

Para el análisis del suelo se consideraron varias propiedades como la textura, que depende de la cantidad de arena, limo y arcilla presentes en el terreno, esta característica afecta la resistencia que ofrece el suelo. También se analizó la estructura del suelo, ya que la forma en que sus partículas se agrupan puede facilitar o dificultar las labores de remoción de maleza. Además, la densidad es un factor importante porque un suelo más compacto requiere un mayor esfuerzo para ser trabajado. La temperatura del suelo interviene en el desarrollo de la vegetación y puede variar según las condiciones climáticas y la altitud del lugar. Finalmente, el color permite identificar ciertas características del terreno, especialmente aquellas relacionadas con la humedad [16].

Propiedades químicas.

Las propiedades químicas del suelo son importantes debido a su influencia en el crecimiento y distribución de la vegetación. La disponibilidad de nutrientes, la capacidad de retención de elementos minerales y el nivel de acidez o alcalinidad del terreno son factores que condicionan el desarrollo de las malezas presentes en el cultivo [16].

Propiedades biológicas.

Las propiedades biológicas del suelo están asociada a la presencia de microorganismos, hongos y fauna que interactúan de forma constante con el entorno. Estos organismos participan en procesos que influyen en la disponibilidad de nutrientes [16].

2.2.1.3. Resistencia especifica de los suelos

Según ASABE (2021), la resistencia depende del tipo de suelo y la velocidad de trabajo que viene expresada en km/h, los valores medios de la resistencia específica para distintos suelos son:

Tabla 2.2 *Resistencia específica de los suelos [17].*

Tipo de suelo	$\boldsymbol{\mu = [N / cm^2]}$
Arcillo-limoso	$\mu = 7 + 0.049\, x\, V^2$
Franco-arcilloso	$\mu = 6 + 0.049\, x\, V^2$
Franco-arcilloso-limoso	$\mu = 4.8 + 0.024\, x\, V^2$
Franco	$\mu = 3 + 0.020\, x\, V^2$
Limoso-arenoso	$\mu = 3 + 0.032\, x\, V^2$
Franco-arenoso	$\mu = 2.8 + 0.013\, x\, V^2$
Arenoso	$\mu = 2 + 0.013\, x\, V^2$

2.2.2. Parámetros de las cuchillas para la rueda de deshierbe

La forma, ángulo y disposición de las cuchillas permiten que la rueda pueda trabajar tanto en terrenos planos como irregulares, las cuchillas deben estar diseñadas para cortar o desenterrar la maleza de manera efectiva. El diseño de la rueda de deshierbe con un ángulo adecuado de las cuchillas maximiza la efectividad del corte, minimizando la resistencia y asegurando una mayor vida útil.

El estudio analizó cómo la inclinación de las cuchillas influye en el funcionamiento de la rueda utilizada para remover malezas entre las hileras de arroz. Los resultados permitieron identificar configuraciones que mejoran la eficiencia del proceso de deshierbe en la resistencia de corte y la capacidad de deslizamiento del suelo. Cada cuchilla se instala en la rueda en un ángulo fijo, como se muestra en la Figura 2.1 [18].

En este estudio se determinó el mejor ángulo de instalación de la cuchilla de la rueda desmalezadora, en el que se diseñaron cinco modelos de ruedas desmalezadoras con α=0°, 5°, 10°, 15°, 20°, y su funcionamiento fue simulado y analizado mediante el software de modelado de elementos discretos EDEM [18].

Tabla 2.3 *Resistencia de rueda de deshierbe con diferentes ángulos de cuchillas [18].*

Ángulos de instalación de cuchillas	**Intervalo de resistencia medida**	**Promedio de la resistencia medida**
0°	40 a 130 N	61 N
5°	10 a 150 N	68 N
10°	20 a 150 N	73 N
15°	40 a 150 N	82 N
20°	40 a 160 N	91 N

La Tabla 2.3 muestra la resistencia integral analizada de las ruedas de deshierbe con diferentes ángulos de instalación de las cuchillas estos resultados mostraron que cuando el ángulo de instalación de la cuchilla era de 0°, la resistencia de corte de la cuchilla era la más pequeña; cuando el ángulo de instalación de la cuchilla era de 20°, la cuchilla tenía la mayor capacidad de remoción de tierra [18].

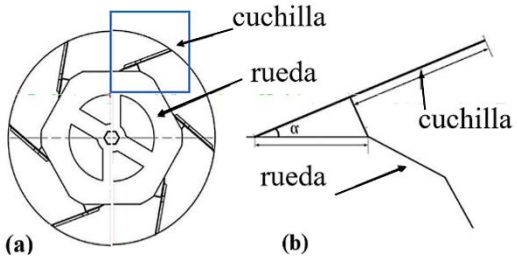


Figura 2.1 *Instalación de las cuchillas. (a) fijación de cuchilla y (b) ángulo de instalación de cuchilla [18].*

Con el aumento del ángulo, aumenta la resistencia de la rueda de deshierbe la relación entre la velocidad de las partículas del suelo y el ángulo de instalación de la cuchilla de la rueda de deshierbe. Durante la operación de deshierbe, la perturbación de la rueda de deshierbe en el suelo se puede expresar mediante la velocidad del movimiento de las partículas del suelo [18].

Tabla 2.4 *Velocidad del movimiento de las partículas del suelo en el deshierbe [18].*

Ángulos de cuchillas	Velocidad máxima de las partículas del suelo	Velocidad promedio de las partículas del suelo
0°	3.51 m/s	1.81 m/s
5°	3.02 m/s	1.35 m/s
10°	2.7 m/s	1.24 m/s
15°	2.33 m/s	0.9 m/s
20°	2.01 m/s	0.67 m/s

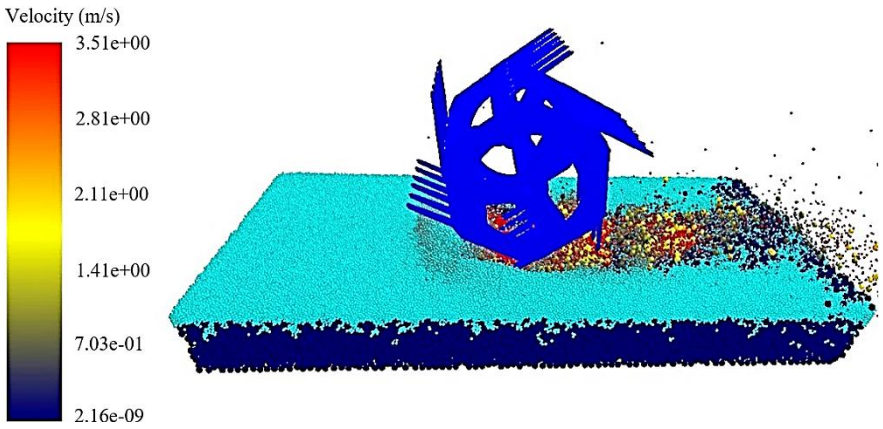


Figura 2.2 *Simulación de la velocidad de las partículas del suelo cuando α=0 [17].*

Los resultados del estudio mostraron que cuando el ángulo de instalación de la cuchilla fue de 0°, la resistencia al corte de la cuchilla fue menor; Cuando el ángulo de instalación de la hoja era de 20°, la hoja tenía la mayor capacidad de eliminación. Por lo tanto, el rango del ángulo de instalación de la cuchilla de la rueda de deshierbe debe ser de 0° a 20° [18].

2.2.3. Parámetros de los arados de cincel

El laboreo de cinceles se lo identifica como labranza vertical fundamentalmente porque produce estallamiento del suelo, con elementos operativos y soportes verticales. El diseño debe ser correcto para no limitar la vibración y es posible que la flexibilidad del arco realice la protección [19].

Los brazos es el soporte de las rejas, siendo importante la rigidez o flexibilidad, ángulo de incidencia y radios de curvatura. El ángulo de ataque del brazo medio a nivel de la superficie del suelo es de aproximadamente (65°) para los modelos de un solo radio de curvatura y algo mayor para los de dos radios (70°) y para los de tres radios (75°). Los brazos de poco radio se atoran con mayor facilidad, pero se construyen así para que ofrezcan mayor resistencia a la fatiga del material [19].

Según [19], los brazos rígidos combinan dos tramos rectilíneos que terminan en un diente robusto fuertemente fijado al brazo, poseen un excelente desempeño en terrenos pesados y compactados, trabaja con ángulos de ataque de entre 20° a 45°.

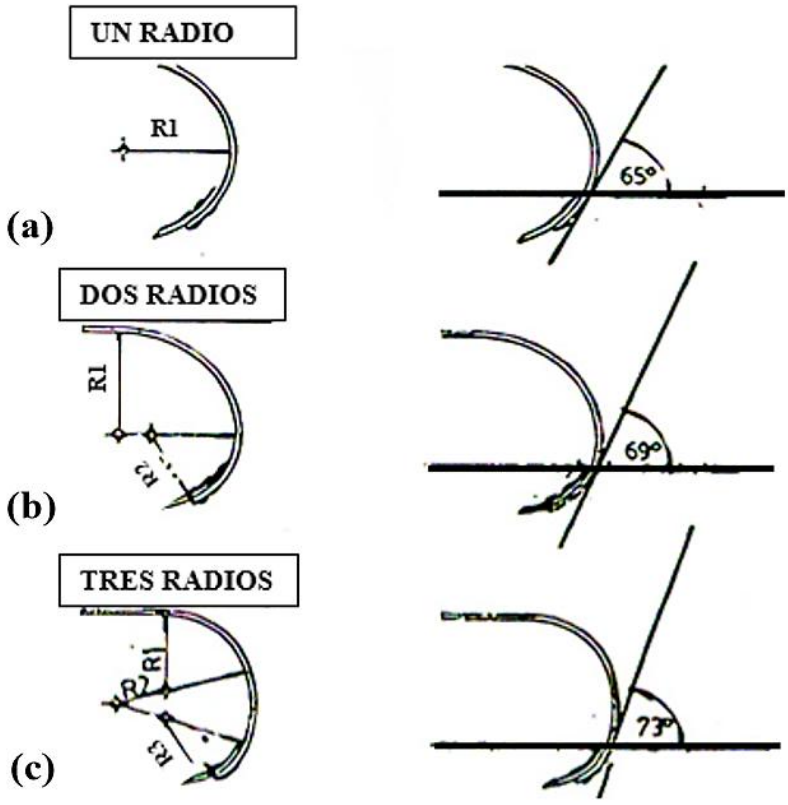


Figura 2.3 *Ángulos de ataque del brazo a nivel de la superficie del suelo. (a) ángulo de ataque de 65°, (b) ángulo de ataque de 69° y (c) ángulo de ataque de 73° [19].*

2.2.4. Métodos manuales para quitar maleza

Los métodos manuales para el control de maleza son prácticas tradicionales utilizadas en la agricultura para garantizar un manejo efectivo y sostenible de los cultivos, estas técnicas usan herramientas sencillas en la remoción directa de la maleza mediante el esfuerzo humano.

2.2.4.1. Escarda manual

Entre los implementos más empleados se encuentran azadas, azadones y otros utensilios de uso manual que permiten intervenir en áreas específicas del terreno. Aunque actualmente existen alternativas mecanizadas para esta labor, este método continúa utilizándose en explotaciones agrícolas de pequeña escala y en zonas donde el acceso a maquinaria especializada es limitado. Su aplicación es frecuente en sistemas de producción con recursos reducidos, donde las actividades agrícolas dependen principalmente de la mano de obra. [20].



Figura 2.4 *Escarda manual para eliminar malas hierbas [20].*

2.2.4.2. Segar

Esta técnica de corte se utiliza para disminuir la presencia de malezas mediante la remoción de su parte superior, impidiendo su crecimiento continuo y reduciendo su capacidad de reproducción. Su aplicación permite controlar especies que compiten con el cultivo por los recursos disponibles en el suelo. Generalmente, este procedimiento se emplea cuando las malezas han alcanzado un estado avanzado de desarrollo o cuando las condiciones del cultivo no permiten realizar labores de remoción directa sobre el terreno sin afectar las plantas de interés. [20].



Figura 2.5 *Guadaña manual [20].*

2.2.5. Maquinaria agrícola para quitar maleza

Los equipos agrícolas representan un recurso fundamental en el sector agrario, ya que contribuyen significativamente a mejorar la eficiencia y productividad en las labores del campo, los beneficios del uso de esta maquinaria son los siguientes:

- Produce rendimientos elevados.
- La rapidez del trabajo es grande.
- Las labores realizadas tienen gran perfección.
- Los costos unitarios son más reducidos que los efectuados a mano.

2.2.5.1.Motocultores

Los motocultores son máquinas agrícolas compactas diseñadas para realizar diversas labores en terrenos de pequeña y mediana extensión. Su operación se efectúa normalmente mediante un operador que guía el equipo desde la parte posterior, permitiendo ejecutar trabajos como preparación del suelo, control de malezas y mantenimiento de cultivos. Estos equipos incorporan un sistema de tracción y un motor que suministra la potencia necesaria para accionar distintos implementos agrícolas. Entre las actividades que pueden realizar se encuentran el arado, la remoción superficial del suelo y las labores de deshierbe [21].



Figura 2.6 *Motocultor [21].*

2.2.5.2.Tractores de potencia

Los tractores se emplean en numerosos trabajos agrícolas sobre todo en los que se necesita utilizar un peso bastante grande como cuando se nivelan terrenos para riego [21].



Figura 2.7 *Tractor agrícola de alta potencia [21].*

2.2.5.3.Máquina deshierbadora mecánica

La máquina de deshierbe mecánica se aplicada a malezas en el campo. Esta desbrozadora ha sido una herramienta necesaria para plantar. El tamaño es pequeño, el peso es ligero, es fácil de mover, económico y práctico [22].



Figura 2.8 *Máquina de deshierbe mecánica de 1 fila [22].*

Tabla 2.5 *Comparativa de la maquinaria agrícola.*

Características	Motocultor	Tractor de potencia	Deshierbadora manual
Fuente de energía	Motor de combustión o eléctrico.	Motor de combustión interna	Operación manual
Tamaño y peso	Compactos y ligeros	Grandes y pesados	Portátiles y muy ligeros
Costo	Medio, accesible para agricultores.	Alto, requiere mayor inversión inicial.	Bajo, ideal para agricultores pequeños.
Mantenimiento	Regular: cambio de aceite, filtros y combustible.	Elevado: reparaciones y repuestos costosos.	Mínimo: limpieza y revisión ocasional.
Capacidad de trabajo	Adecuados para terrenos pequeños y medianos.	Ideales para grandes extensiones de terreno.	Limitados a terrenos pequeños.
Impacto ambiental	Emisiones de gases moderadas, dependiendo del motor.	Altas emisiones de gases debido al consumo de combustibles fósiles.	Sin emisión de gases.
Dificultad de operación	Requiere alguna habilidad para manejar.	Requiere formación técnica para operar con seguridad.	No se necesita formación técnica.

La comparación realizada muestra que cada tipo de maquinaria presenta ventajas y limitaciones según las condiciones de uso. Mientras los equipos de mayor capacidad permiten trabajar superficies extensas en menor tiempo, también requieren una inversión económica más elevada y, en algunos casos, conocimientos técnicos para su operación.

2.2.6. Ergonomía para usar la máquina

En el diseño de herramientas agrícolas es importante considerar las características físicas del usuario, ya que estas influyen directamente en la comodidad durante el trabajo. Los criterios ergonómicos fueron considerados durante el proceso de diseño con el propósito de ajustar la máquina a las capacidades físicas del operador. Aspectos como la postura de trabajo, la altura de operación y la fuerza requerida para el desplazamiento del equipo influyen en el nivel de esfuerzo que debe realizar el usuario durante la jornada laboral.

La máquina está diseñada para ser cómoda y proporcionar un buen agarre en el mango, el peso de la máquina se distribuye de manera equilibrada para minimizar el esfuerzo y la fatiga [23].

2.2.7. Fuerza ejercida por el ser humano para usar la máquina

Conocer este valor permite determinar si la máquina puede ser utilizada de forma práctica en condiciones reales de operación. Además, la fuerza aplicada por el usuario se relaciona con el rendimiento de la máquina y con el esfuerzo necesario para desplazarla sobre el terreno. Por ello, este parámetro fue tomado en cuenta durante el proceso de diseño y selección de los componentes mecánicos. [23].

2.2.7.1.Norma EN 1005-3

La norma EN 1005-3 fue utilizada como referencia para evaluar si las fuerzas requeridas durante la operación de la máquina se encuentran dentro de valores aceptables para el usuario. Esta norma proporciona criterios que permiten relacionar el esfuerzo físico realizado por una persona con diferentes niveles de riesgo durante la ejecución de tareas manuales [23].

Procedimiento de cálculo: Paso A

Inicialmente se define el tipo de esfuerzo que realiza el operador durante el uso de la máquina y se identifica la población para la cual se efectúa la evaluación.

Con base en estos criterios se determinan los valores de fuerza de referencia necesarios para el análisis, incluyendo la Fuerza Isométrica Máxima (F_B) para la población de usuarios potenciales [23].

Tabla 2.6 *Determinación de la fuerza de empuje* [23].

Tipo de Acción			**Ámbito**	
Grupo	Acción		Profesional	Doméstico
Trabajo con el cuerpo completo de pie	Empujando		200 N	119 N
	Tirando		145 N	96 N

Según el tipo de acción se estableció que la fuerza máxima isométrica es de 200 N para actividades profesionales como se muestra en la Tabla 2.6.

Procedimiento de cálculo: Paso B

Después de establecer la Fuerza Isométrica Máxima (F_B), en el Paso B se incorporan condiciones reales de trabajo. En esta etapa se analiza cuánto tiempo se mantiene el esfuerzo, con qué frecuencia se repite la tarea y la rapidez con la que se ejecuta el

movimiento. Considerar estos aspectos permite estimar un valor de fuerza más representativo de la situación de uso, ya que el esfuerzo que una persona puede realizar de forma continua suele ser menor que su capacidad máxima instantánea [23].

Se calcula la Fuerza Isométrica Máxima Reducida usando la Ecuación 1.

$$F_{Br} = F_B * m_v * m_f * m_d \quad (1)$$

Donde los factores m_v, m_f y m_d, se los selecciona de las siguientes tablas que se muestran en las siguientes tablas.

Multiplicador de velocidad (m_v)

A medida que aumenta la rapidez del movimiento, la capacidad de aplicar fuerza tiende a reducirse, por lo que resulta necesario introducir un ajuste en los valores de referencia utilizados durante el análisis [23].

El valor de m_v se obtiene de la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 *Multiplicador de velocidad [23].*

Velocidad del movimiento	m_v
Inmovilidad o movimiento muy lento	1
Movimiento apreciable	0.8

Multiplicador de frecuencia (m_f)

Cuando una persona realiza el mismo movimiento de forma repetida durante un periodo prolongado, el esfuerzo requerido puede generar cansancio físico. Esta situación influye en la capacidad del operador para mantener el mismo nivel de fuerza a lo largo de la actividad. Debido a ello, durante la evaluación se toman en cuenta aspectos como el tiempo de trabajo y la cantidad de veces que se repite la acción [23].

El valor de m_v se obtiene de la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 *Multiplicador de frecuencia [23].*

	Duración de la acción (min)	
Frecuencia de la acción (min^{-1})	≤ 0.05	> 0.05
≤ 0.2	1.0	0.6
> 0.2 - 2	0.8	0.4
> 2 - 20	0.5	0.2
> 20	0.3	no aplicable

Multiplicador de duración (m_d)

La duración de la actividad se estimó a partir del tiempo total de trabajo relacionado con la tarea evaluada. Para ello se consideraron tanto las horas dedicadas a la acción principal como aquellas correspondientes a otras actividades con características de esfuerzo semejantes. Este criterio permite incorporar el efecto que tiene la exposición prolongada al trabajo físico dentro del análisis ergonómico realizado [23].

El valor de m_d se obtiene de la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 *Multiplicador de duración [23].*

Duración (h)	≤ 1	$> 1 - 2$	> 2 - 8
m_d	1.0	0.8	0.5

Reemplazando en la fórmula se obtiene:

$$F_{Br} = 200 * 0.8 * 0.5 * 1$$

$$F_{Br} = 80 \text{ N}$$

Procedimiento de cálculo: Paso C

Después de calcular la fuerza corregida, se realiza una evaluación de su nivel de exigencia física mediante los criterios establecidos en la norma. Esta etapa permite determinar si el esfuerzo requerido durante la operación de la máquina es aceptable o si podría representar una condición perjudicial durante la ejecución de la tarea [23].

Este valor se obtiene con la Ecuación 2.

$$F_R = m_r * F_{BR} \tag{2}$$

Donde m_r se obtiene de la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 *Multiplicador de riesgo [23].*

Zona de Riesgo	m_r
Recomendada	≤ 0.5
No recomendada	$> 0.5 - 0.7$
A evitar	> 0.7

$$F_R = 0.5 * 80$$

$$F_R = 40 \text{ N}$$

Considerando las recomendaciones ergonómicas de la norma EN 1005-3, el diseño de la máquina debe garantizar que la fuerza de accionamiento requerida por el operador no exceda los 40 N durante las condiciones normales de uso. En la Figura 2.9 se presenta el esquema general de cálculo de la norma EN 1005-3 que puede distinguirse en tres pasos.

El procedimiento de evaluación contempla tres fases consecutivas. Inicialmente se determina la capacidad máxima de generación de fuerza estática de los usuarios considerados en el estudio. A continuación, dicha capacidad se corrige mediante factores asociados a la duración de la actividad, la frecuencia de ejecución y la velocidad de

aplicación de la fuerza. Como resultado final, se obtiene una valoración del riesgo ergonómico de la tarea, la cual permite establecer si la acción se encuentra dentro de los límites aceptables, requiere restricciones o debe evitarse [23].

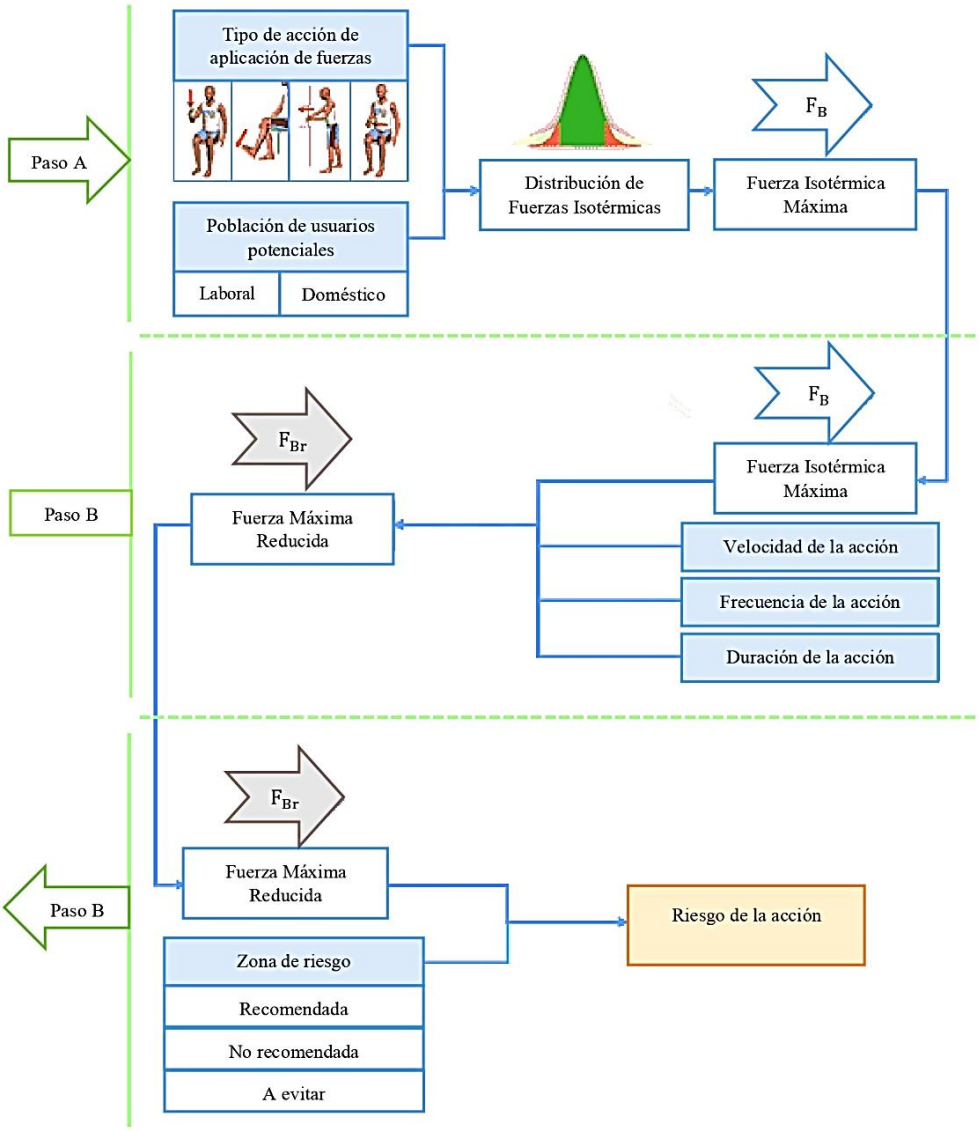


Figura 2.9 *Esquema de cálculo de la norma EN 1005-3 [23].*

Los criterios ergonómicos definidos por la norma EN 1005-3 establecen límites de fuerza que deben ser considerados durante el diseño de equipos de accionamiento manual. En este proyecto, dichos criterios sirvieron como referencia para dimensionar la máquina, procurando que la fuerza ejercida por el operador se mantenga dentro de valores aceptables.

2.2.8. Análisis de elementos finitos

El método de elementos finitos constituye una de las técnicas más utilizadas para el análisis y validación de diseños mecánicos. Su principio consiste en discretizar una estructura en múltiples elementos interconectados, permitiendo calcular de manera aproximada la respuesta del sistema ante diferentes solicitaciones. A través de programas especializados, es posible determinar la distribución de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos, reduciendo la necesidad de fabricar múltiples prototipos físicos. En el presente trabajo, esta metodología fue aplicada mediante SolidWorks Simulation para evaluar el comportamiento estructural de la máquina deshierbadora y verificar que los componentes diseñados cumplan con los requisitos de resistencia y seguridad establecidos [24].

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Modelo de la investigación

Se realiza una investigación sobre los diversos modelos de deshierbadoras disponibles en el mercado y se analizan los requisitos técnicos de los usuarios y los criterios establecidos por el ingeniero. Esto incluye la investigación sobre maquinaria similar para detallar las especificaciones técnicas del equipo. También, se realiza un estudio sobre los distintos tipos de suelos y sus características, con el propósito de estimar la fuerza requerida para la remoción de la maleza del suelo. Además, se investiga sobre los métodos y herramientas agrícolas usadas en la remoción de maleza.

Después de definir las especificaciones de la máquina deshierbadora, se debe efectuar una selección de alternativas y búsqueda del mecanismo más eficiente que remueva la maleza de los cultivos haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Dinámica y Mecanismos, Diseño de Elementos de Máquinas, Resistencia de Materiales y el uso del software SolidWorks, para realizar el modelamiento de los elementos de la máquina y la obtención de los planos.

Las alternativas de diseño generadas fueron comparadas mediante criterios técnicos previamente definidos, permitiendo identificar la solución más adecuada para el desarrollo del proyecto. A partir de esta selección, se elaboró el diseño y la documentación técnica correspondiente utilizando SolidWorks. Con la información obtenida se llevó a cabo la fabricación y ensamblaje de la máquina, así como la estimación de los costos involucrados. Finalmente, el prototipo fue sometido a pruebas experimentales para evaluar su comportamiento y validar su funcionamiento en condiciones reales de trabajo.

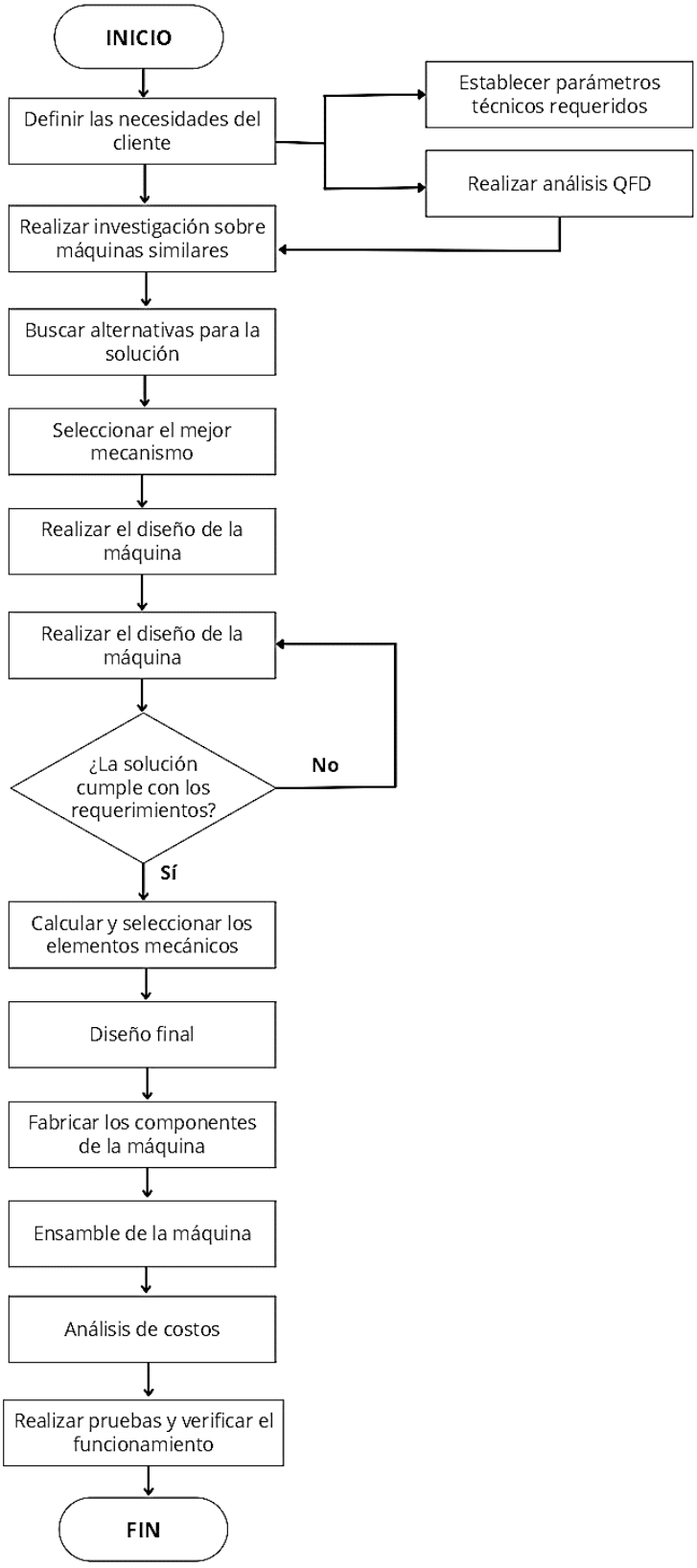


Figura 3.1 *Diagrama de flujo de la metodología.*

3.2. Enfoques y tipos de investigación

El enfoque del trabajo de integración curricular no es generar conocimiento básico o ampliar teorías generales, sino aplicar principios técnicos y científicos para desarrollar una solución que beneficie directamente a los agricultores. Esto se lo clasifica como una investigación aplicada en el área de la agricultura.

La investigación aplicada requiere de una metodología diferente a la investigación básica y pura, por cuanto a que la primera se funda en la identificación de problemas del contexto y, a partir de allí, propone soluciones con base en los conocimientos adquiridos en la investigación [25].

La investigación aplicada recurre a los conocimientos ya alcanzados en la investigación básica para encaminarlos al cumplimiento de objetivos específicos; por tanto, este tipo de investigación considera todo el conocimiento existente en un área concreta, que será aplicado en el intento de solucionar problemas específicos. Los resultados de la investigación aplicada se enfocan en la generación y validación de soluciones prácticas a partir del conocimiento científico y tecnológico disponible. Para ello, se desarrollan prototipos o modelos funcionales que permiten evaluar su desempeño y nivel de madurez tecnológica antes de su implementación; las aplicaciones obtenidas son susceptibles de protección a través de instrumentos de propiedad intelectual [26].

3.3. Diseño de la Investigación

En esta sección, se describen las estrategias empleadas para recopilar y analizar la información, así como las fases que permiten evaluar y optimizar el diseño de la máquina deshierbadora, estas actividades ayudan definiendo los procedimientos, enfoques y herramientas necesarias para alcanzar los objetivos planteados.

3.3.1. Fase 1: Estudio teórico

En esta fase se revisa la información necesaria acerca de investigaciones relacionadas con el diseño y construcción de máquinas agrícolas que quiten la maleza.

Actividad 1.1: Definición de parámetros; Se identificaron las condiciones de operación de la máquina, considerando principalmente el tipo de suelo en el que trabajará.

Actividad 2.1: Revisión bibliográfica; Se realizó una búsqueda y análisis de información relacionada con equipos agrícolas destinados al control de maleza, materiales utilizados en su fabricación, procesos constructivos y criterios de seguridad y ergonomía.

Actividad 3.1: Diseño experimental; Se establecieron los objetivos específicos del proyecto y las variables que influyen en el funcionamiento de la máquina.

Actividad 4.1: Presupuesto; Se verificó un valor económico requerido para la construcción del prototipo, considerando el costo de materiales, procesos de manufactura, elementos de unión y demás componentes necesarios para la fabricación de la máquina.

3.3.2. Fase 2: Diseño

En esta fase se ejecuta el diseño conceptual, diseño detallado, se establece las dimensiones de la máquina y sus mecanismos.

Actividad 2.1*:* Diseño conceptual; Se plantearon diferentes propuestas para la máquina mediante esquemas y representaciones preliminares.

Actividad 2.2: Diseño detallado; Con la alternativa más adecuada, se desarrolló la documentación técnica correspondiente, incluyendo los planos de fabricación y ensamblaje.

Actividad 2.3: Selección de materiales; La elección de los materiales se realizó a partir del análisis de las condiciones de trabajo y de los esfuerzos a los que estarían sometidos los componentes.

Actividad 2.4: Cálculos de resistencia; Realizar cálculos estructurales para asegurar que la máquina deshierbadora pueda soportar las cargas a las que estará sometido.

3.3.3. Fase 3: Construcción

En esta fase se ejecuta el proceso de adquisición de materiales, la fabricación y ensamblaje de la máquina en la que se debe tener en cuenta el tiempo de construcción y los costos.

Actividad 3.1: Adquisición de materiales; Se obtuvieron los materiales necesarios para la construcción de la máquina de acuerdo con las especificaciones técnicas.

Actividad 3.2: Fabricación; Se construyeron los distintos elementos de la máquina mediante los procesos de manufactura requeridos para cada componente.

Actividad 3.3: Ensamblaje; Se realizó la integración de las piezas fabricadas hasta obtener la máquina deshierbadora.

3.3.4. Fase 4: Prueba y evaluación

En esta fase se realiza pruebas de funcionamiento y medición de variables y se evalúa el rendimiento, eficiencia y durabilidad de la máquina.

Actividad 4.1: Pruebas de funcionamiento; Se efectuaron pruebas en diferentes tipos de suelo para verificar su funcionamiento y determinar su capacidad para remover maleza.

Actividad 4.2: Medición de variables; Se registraron parámetros relacionados con el desempeño de la máquina, como la profundidad alcanzada por las cuchillas y el porcentaje de maleza removida en los diferentes tipos de suelo evaluados.

Actividad 4.3: Análisis de resultados; Se identificaron las fortalezas y limitaciones de la máquina, permitiendo evaluar la viabilidad de la máquina como alternativa para las labores de deshierbe en cultivos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Especificaciones del sistema a diseñar

Para el desarrollo de la máquina deshierbadora fue necesario establecer una serie de requisitos técnicos que orienten el proceso de diseño, estos requisitos incluyen características estructurales, mecánicas y funcionales.

4.1.1. Análisis QFD (Quality Function Deployment)

El diseño de la máquina busca satisfacer una necesidad cumpliendo los requerimientos del usuario por lo que es necesario identificar las necesidades y expectativas del usuario. El diseñador puede interpretar los requerimientos del usuario en la etapa de diseño por lo que se debe priorizar la satisfacción de estas expectativas en función de su importancia. Focalizar todos los recursos, humanos y materiales, en la satisfacción de dichas expectativas y aspiraciones que tiene el usuario hacia el producto.

Voz del usuario

De acuerdo a las necesidades del usuario los requerimientos fueron los siguientes:

- Fácil de usar
- Bajo precio
- Ligera
- Alta resistencia
- Fácil montaje
- Fácil cuidado
- Buena capacidad de trabajo
- Sin generar ruido

Después de analizar las necesidades del usuario se realizó una encuesta con una escala de valores de 0 a 5, donde 0 es menos requerido y 5 es más requerido, se pudo obtener los parámetros que se debe tener en consideración para el diseño de la máquina, los cuales se observa en la Figura 4.1.

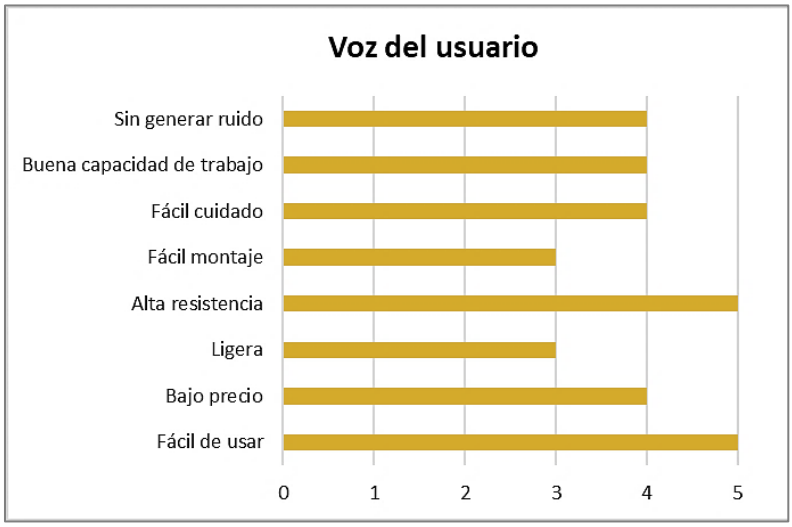


Figura 4.1 *Resultados de la encuesta.*

Voz del ingeniero

Los requerimientos que el usuario espera obtener del producto son traducidos a un lenguaje técnico del diseño a través de la voz del ingeniero.

- Ergonómico
- Costo
- Peso
- Materiales resistentes
- Ensamble
- Mantenimiento
- Capacidad de trabajo
- Silenciosa

4.1.2. Análisis de la competencia

Se realizó un análisis de mercado obteniendo las competencias que se observa en la Figura 4.2 y la Figura 4.3**.**

Competencia 1



Peso:	9 kg
Ancho de deshierbe:	940 mm
Precio:	$ 249
Altura ajustable hasta:	37’’
Cuchillas y dientes:	aceros tratados térmicamente
No usar en suelos:	rocosos o arcillosos

Figura 4.2 *Pioneer Rotovator [27].*

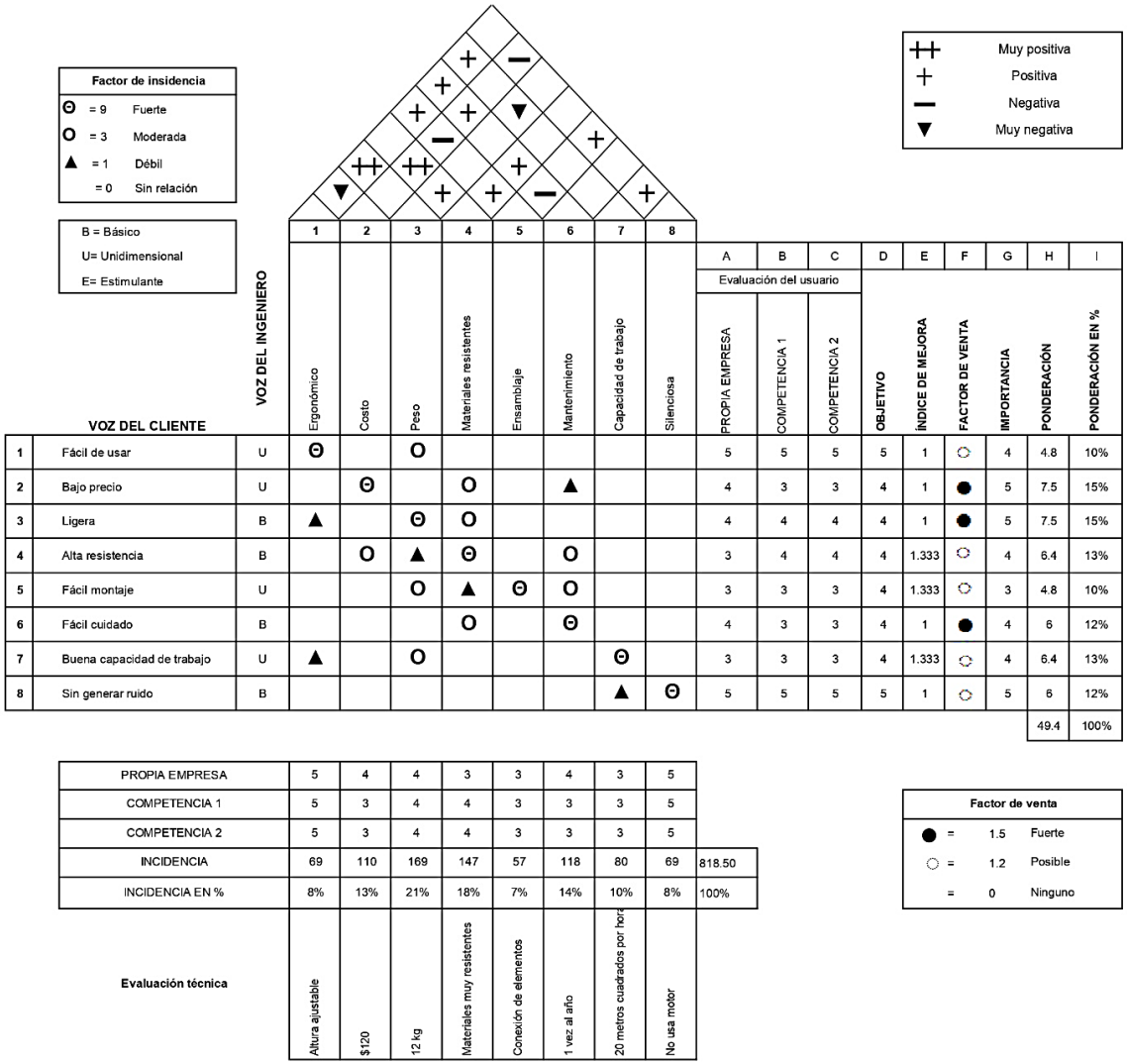
Competencia 2



Peso:	7.5 kg
Ancho de deshierbe:	250 mm
Precio:	$ 275
Altura ajustable hasta:	950 mm
Escardadora de dedos	discos de poliuretano
Usar en suelos:	tierra suave y arenosa

Figura 4.3 *Escardadora de dedos Terrateck [28].*

4.1.3. Casa de la calidad



Factor de insidencia	
Θ = 9	Fuerte
O = 3	Moderada
▲ = 1	Débil
= 0	Sin relación

B = Básico
U= Unidimensional
E= Estimulante

++ Muy positiva
\+ Positiva
− Negativa
▼ Muy negativa

	VOZ DEL CLIENTE	VOZ DEL INGENIERO	1 Ergonómico	2 Costo	3 Peso	4 Materiales resistentes	5 Ensamblaje	6 Mantenimiento	7 Capacidad de trabajo	8 Silenciosa	A Evaluación del usuario: PROPIA EMPRESA	B Evaluación del usuario: COMPETENCIA 1	C Evaluación del usuario: COMPETENCIA 2	D OBJETIVO	E ÍNDICE DE MEJORA	F FACTOR DE VENTA	G IMPORTANCIA	H PONDERACIÓN	I PONDERACIÓN EN %
1	Fácil de usar	U	Θ		O						5	5	5	5	1	◌	4	4.8	10%
2	Bajo precio	U		Θ		O		▲			4	3	3	4	1	●	5	7.5	15%
3	Ligera	B	▲		Θ	O					4	4	4	4	1	●	5	7.5	15%
4	Alta resistencia	B		O	▲	Θ		O			3	4	4	4	1.333	◌	4	6.4	13%
5	Fácil montaje	U			O	▲	Θ	O			3	3	3	4	1.333	◌	3	4.8	10%
6	Fácil cuidado	B				O		Θ			4	3	3	4	1	●	4	6	12%
7	Buena capacidad de trabajo	U	▲		O				Θ		3	3	3	4	1.333	◌	4	6.4	13%
8	Sin generar ruido	B							▲	Θ	5	5	5	5	1	◌	5	6	12%
																		49.4	100%

PROPIA EMPRESA	5	4	4	3	3	4	3	5	
COMPETENCIA 1	5	3	4	4	3	3	3	5	
COMPETENCIA 2	5	3	4	4	3	3	3	5	
INCIDENCIA	69	110	169	147	57	118	80	69	818.50
INCIDENCIA EN %	8%	13%	21%	18%	7%	14%	10%	8%	100%
Evaluación técnica	Altura ajustable	$120	12 kg	Materiales muy resistentes	Conexión de elementos	1 vez al año	20 metros cuadrados por hora	No usa motor	

Factor de venta			
●	=	1.5	Fuerte
◌	=	1.2	Posible
	=	0	Ninguno

Figura 4.4 *Casa de la calidad.*

4.1.4. Análisis funcional y modular

El análisis funcional ayuda a descomponer la función global de remover eficientemente las malas hierbas de los cultivos en subfunciones más manejables, lo que facilita el diseño y la construcción de la máquina deshierbadora.

El análisis modular materializa a las funciones de la máquina deshierbadora, además de facilitar la aplicación de los materiales con el entorno.

Nivel 0

En la Figura 4.5 se representa la función global del sistema.



Figura 4.5 *Nivel 0 del análisis funcional y modular.*

Nivel 1

El sistema se define en 5 módulos principales como se puede observar en la Figura 4.6.

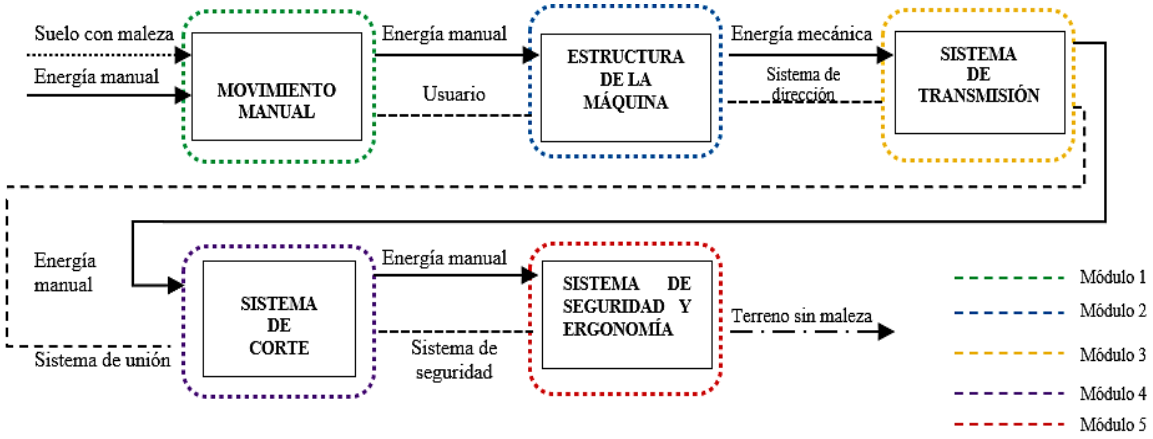


Figura 4.6 *Nivel 1 del análisis funcional y modular.*

Nivel 2

La Figura 4.7 representa la descomposición funcional del sistema, donde se identifican las tareas específicas necesarias para satisfacer la función principal de la máquina deshierbadora.

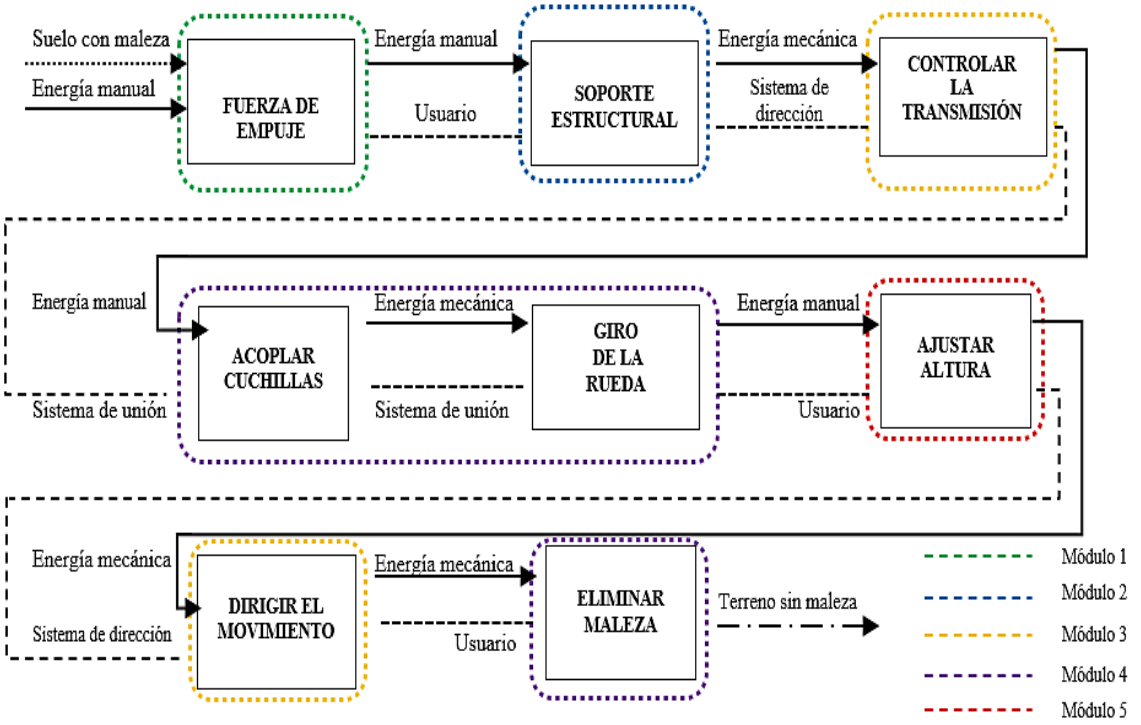
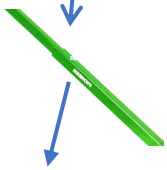


Figura 4.7 *Nivel 2 del análisis funcional y modular.*

4.1.5. Matriz morfológica

En la matriz morfológica se enumera todas los mecanismos y componentes posibles para diseñar la máquina deshierbadora esto permite explorar combinaciones inesperadas y generar algunas soluciones de forma rápida.

Tabla 4.1 *Matriz morfológica*

	Alternativa A	**Alternativa B**	**Alternativa C**
Mecanismo de dirección			
Soporte			
Mecanismo de unión			
Rueda con cuchillas			

4.2. Selección de la mejor opción

Alternativas

- Alternativa A
- Alternativa B
- Alternativa C

Criterios de evaluación

- Ergonomía
- Costo
- Peso
- Durabilidad
- Mantenimiento

En las siguientes tablas se representa un análisis de priorización para cada criterio con valoraciones de 0 a 1 donde 0 es menos importante, 0.5 es igual de importante y 1 es más importante.

Tabla 4.2 *Evaluación del peso específico por cada criterio*

Criterio	Durabilidad	Mantenimiento	Costo	Capacidad	Peso	Σ + 1	Ponderación
Durabilidad		0.5	1	0.5	1	4	0.25
Mantenimiento	0.5		1	0	0.5	3	0.19
Costo	0.5	0.5		1	0.5	3.5	0.22
Capacidad	0	0	1		0	2	0.13
Peso	1	0.5	1	0		3.5	0.22
					Total	16	1

Tabla 4.3 *Evaluación del peso específico para el criterio de durabilidad*

Durabilidad	A	B	C	Σ + 1	Ponderación
A		0.5	1	2.5	0.33
B	1		1	3	0.4
C	0.5	0.5		2	0.27
			Total	7.5	1

Tabla 4.4 *Evaluación del peso específico para el criterio de mantenimiento*

Mantenimiento	A	B	C	Σ + 1	Ponderación
A		1	1	3	0.33
B	1		1	3	0.33
C	1	1		3	0.33
			Total	9	1

Tabla 4.5 *Evaluación del peso específico para el criterio de costo*

Costo	A	B	C	Σ + 1	Ponderación
A		1	1	3	0.4
B	0.5		1	2.5	0.33
C	0.5	0.5		2	0.27
			Total	7.5	1

Tabla 4.6 *Evaluación del peso específico para el criterio de capacidad*

Capacidad	A	B	C	Σ + 1	Ponderación
A		0	0	1	0.17
B	1		1	3	0.5
C	0.5	0.5		2	0.33
			Total	6	1

Tabla 4.7 *Evaluación del peso específico para el criterio de peso*

Peso	A	B	C	Σ + 1	Ponderación
A		0.5	1	2.5	0.33
B	1		1	3	0.4
C	0.5	0.5		2	0.27
			Total	7.5	1

Tabla 4.8 *Resultados generales de cada criterio*

Conclusión	Durabilidad	Mantenimiento	Costo	Capacidad	Peso	Σ	Ponderación
A	0.08	0.06	0.09	0.02	0.07	0.33	2
B	0.1	0.06	0.07	0.06	0.09	0.39	1
C	0.07	0.06	0.06	0.04	0.06	0.29	3

Se determinó que la solución B corresponde a la alternativa 2 es la mejor opción, alcanzó la mayor ponderación global (0.39), este resultado se debe principalmente a su mejor desempeño en los criterios de durabilidad, capacidad y peso, los cuales son importantes en el funcionamiento y la vida útil de la máquina.

4.3. Solución seleccionada

Se establece los criterios claves y se selecciona la opción más viable considerando los criterios y necesidades requeridas para realizar el diseño y construcción de la máquina, estos criterios dependen de costo, durabilidad, peso, mantenimiento y capacidad.

4.4. Especificaciones de la solución seleccionada

En esta sección se describen las características específicas de la solución elegida para el diseño de la máquina quita maleza. Estas especificaciones comprenden los aspectos técnicos y funcionales que garantizan el cumplimiento de los objetivos del proyecto, incluyendo los componentes, materiales y configuraciones clave.

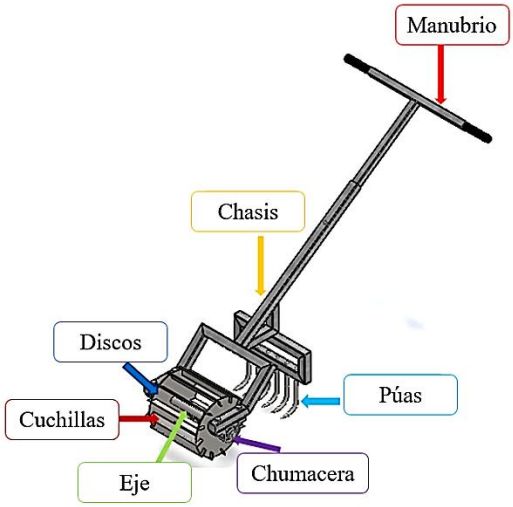


Figura 4.8 *Componentes de la máquina deshierbadora.*

4.4.1. Diseño estático y geométrico

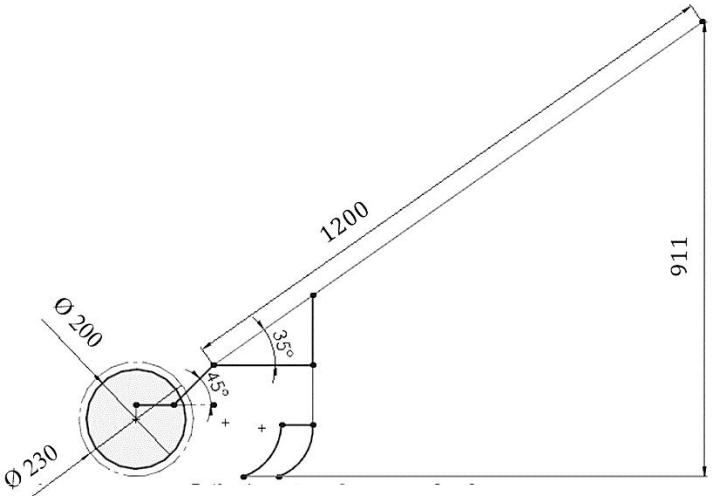


Figura 4.9 *Esquema de la máquina deshierbadora.*

Dimensiones de la máquina

- h = 911 mm
- d = 2000 mm
- L = 1200 mm

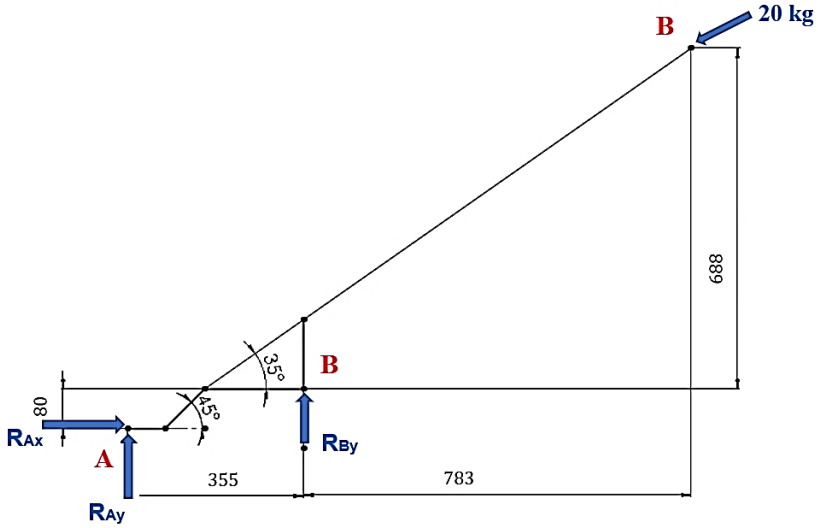


Figura 4.10 *Diagrama de cuerpo libre de la máquina deshierbadora.*

La Figura 4.10 presenta el diagrama de cuerpo libre utilizado para estudiar la interacción entre las fuerzas aplicadas y el movimiento de la máquina. Este análisis permitió establecer criterios de comparación entre las alternativas consideradas para el diseño.

$$\sum Fy = 0 \qquad (3)$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 20 \operatorname{sen} 35° = \ 11.47 \text{ kg}$$

$$\sum Fx = 0 \qquad (4)$$

$$R_{Ax} = 20 \cos 35° = \ 16.38 \text{ kg}$$

$$\therefore R_{Ax} = 16.38 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0 \qquad (5)$$

$$R_{By}(113.80) + 20 \cos 35° \, (83.83) = \ 0$$

$$R_{By}(113.80) = -2.15$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 11.47\ kg$$

$$\therefore R_{By} = -0.019\ kg$$

$$R_{Ay} = 11.47 - (-0.019)$$

$$\therefore R_{Ay} = 11.49\ \text{kg}$$

Se determinaron las reacciones que se generan en los dos puntos que están en contacto con el suelo, considerando la fuerza que el operario aplica para realizar la tarea de deshierbe. Es importante destacar que, para evitar que la rueda principal pierda contacto con el suelo, se requiere un peso mínimo de 11.49 kg en el punto A.

$$\therefore W = 12\ kg$$

4.4.2. Análisis de transmisión de potencia

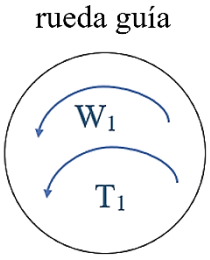


Figura 4.11 *Diagrama de análisis de transmisión de potencia.*

En la Figura 4.12 se muestra el análisis de la rueda asumiendo que el suelo es arcilloso.

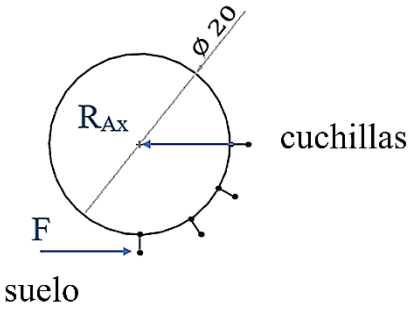


Figura 4.12 *Diagrama de cuerpo libre de la rueda principal.*

$$\sum Fx = 0 \quad (6)$$

$$R_{Ax} = F = 16.38\ kg$$

$$T_1 = F.\frac{\emptyset}{2} \quad (7)$$

$$T_1 = (16.38)(10\ cm)$$

$$\therefore T_1 = 16.063\ N.m$$

Donde:

- T es el torque,
- F es la fuerza disponible,
- $\emptyset$ es el diámetro del disco.

T_1 representa el torque mínimo que debe actuar sobre la rueda para asegurar el desplazamiento de la máquina y permitir que las cuchillas trabajen sobre el suelo.

4.4.3. Análisis de la resistencia al corte del suelo

$$v = 3.6\frac{km}{h}$$

$$\mu = (3 + 0.02v^2)$$

Según el tipo de suelo se usa la Ecuación 8.

$$F = \mu A \quad (8)$$

$$F = Fuerza\ disponible * n \quad (9)$$

$$fuerza\ disponible = R_{Ax} = 16.38\ kg$$

$$F = (16.38\ kg)(0.5) = 8.19\ kg = 80.34\ N$$

$$\therefore F = 81\ N$$

$$F = (3 + 0.02v^2)\ A$$

$$81 = (3 + 0.02(3.6)^2)\ A$$

$$\therefore A = 24.85\ cm^2$$

4.4.4. Diseño de eje

Para el diseño del eje se evalúan las fuerzas transmitidas por los diferentes elementos del sistema. Dichas fuerzas fueron obtenidas mediante el análisis estático de la máquina y posteriormente consideradas para calcular los esfuerzos que actúan sobre este.

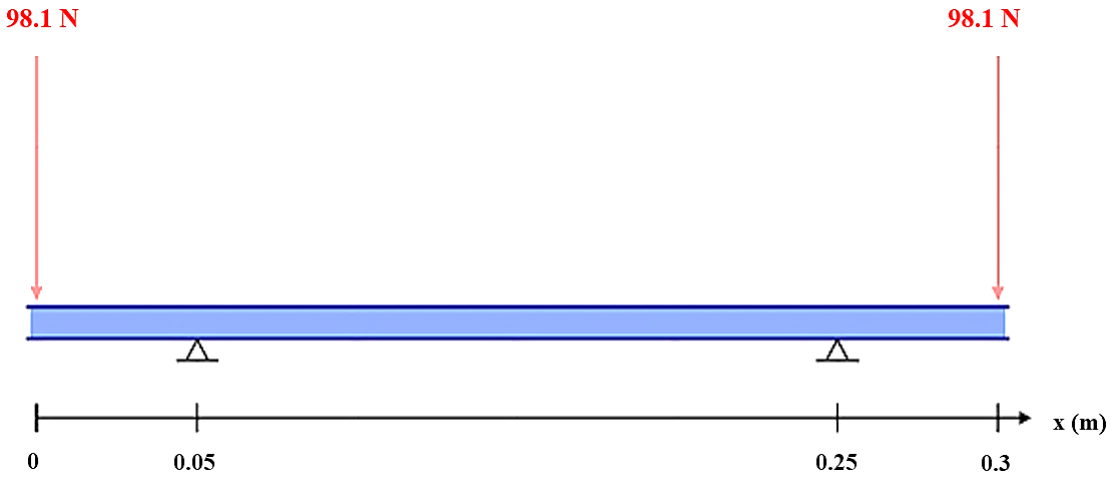


Figura 4.13 *Diagrama de reacciones en los soportes del eje.*

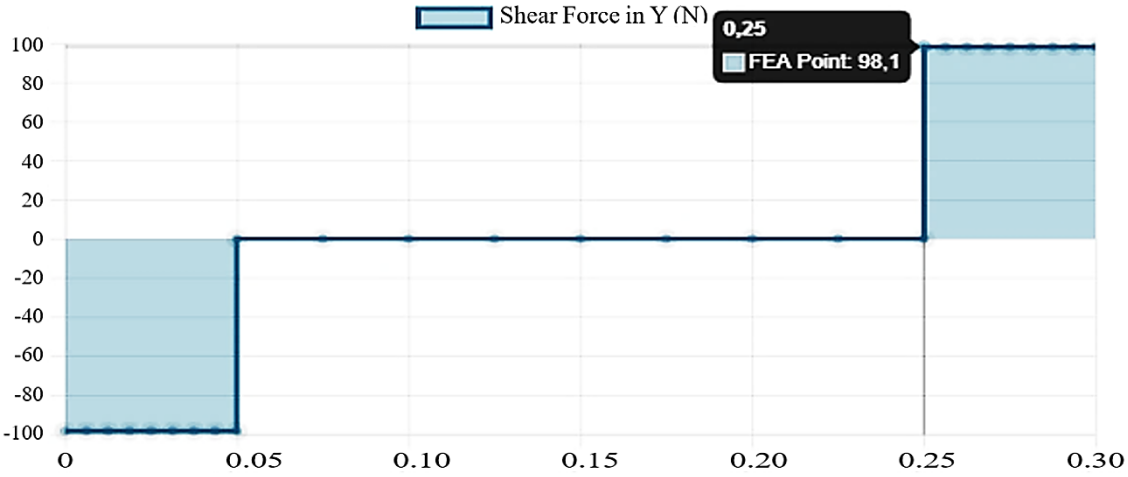


Figura 4.14 *Diagrama de fuerza cortante del eje.*

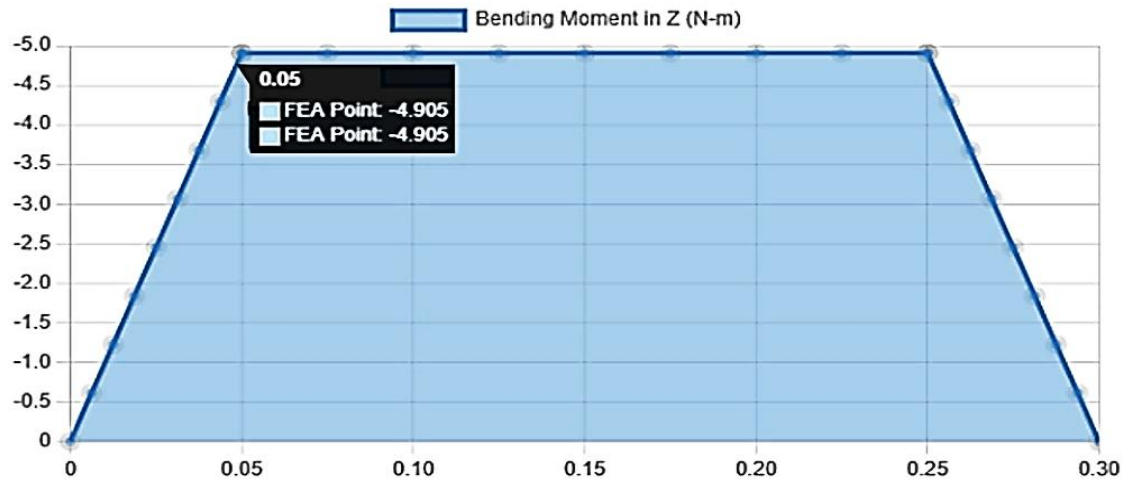


Figura 4.15 *Diagrama de momento flector del eje.*

Tabla 4.9 *Propiedades del acero AISI 1020 [29].*

ACERO AISI 1020	
Resistencia a la tracción, máxima	450 MPa
Resistencia a la tracción, Límite elástico	330 MPa
Módulo de elasticidad	186 GPa
Relación de Poissons	0.29
Densidad	7.87 g/cc
Dureza, Brinell	143

Selección del diámetro del eje

El eje está sometido a esfuerzos combinados de flexión y torsión debido a las fuerzas normales y el par torsor generado por la rueda. Se usa la Ecuación 10, del esfuerzo equivalente según Von Mises para combinar ambos esfuerzos.

$$\sigma_f = \frac{32 * M_{máx}}{\pi * d^3} \tag{10}$$

Donde:

- σ_f es el esfuerzo de flexión,
- $M_{máx}$ es el momento máximo,
- d es el diámetro del eje.

El esfuerzo cortante se calcula usando la Ecuación 11.

$$\tau_f = \frac{16*T}{\pi*d^3} \quad (11)$$

Donde:

- τ_f es el esfuerzo cortante,
- d diámetro del eje,
- T torque generado en el eje.

En la Ecuación 12, se calculó el torque transmitido al eje a partir de la fuerza de empuje ejercida por el operador y de las dimensiones de los discos utilizados en el diseño.

$$T = F * r \quad (12)$$

$$T = 196.2 * 100$$

$$T = 19620\ N/mm$$

Donde:

- T torque generado en el eje,
- F fuerza de empuje,
- r radio de los discos.

La Ecuación 13, es el esfuerzo equivalente por el criterio de Von Mises.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_t^2} \quad (13)$$

Donde:

- σ_{vm} es el esfuerzo equivalente por el criterio de Von Mises,
- σ_f es el esfuerzo de flexión,
- τ_t es el esfuerzo cortante total.

En la Ecuación 14, σ_{per} se refiere al esfuerzo permisible que puede soportar el material sin fallar, considerando un factor de seguridad n=2.

$$\sigma_{per} \leq \frac{\sigma_y}{n} \tag{14}$$

$$\sigma_{per} = \frac{330}{2}$$

$$\sigma_{per} = 165\ N/m^2$$

Donde:

- σ_{per} es el esfuerzo permisible,
- σ_y es el límite elástico del material,
- n es el factor de seguridad.

La verificación del eje se realizó comparando el esfuerzo equivalente de Von Mises con el esfuerzo admisible del acero ASTM A36 empleado en su fabricación. Este procedimiento permitió evaluar si el componente soporta adecuadamente las cargas.

Sustitución de ecuaciones

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\left(\frac{32 * M_{máx}}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 * T}{\pi * d^3}\right)^2}$$

$$d^3 = \frac{\sqrt{(32 * M_{máx})^2 + 3(16 * T)^2}}{\pi * \sigma_{per}}$$

$$d^3 = \frac{\sqrt{(32 * 4905)^2 + 3(16 * 19620)^2}}{\pi * 165x10^6}$$

$$\therefore d = 10.3\ mm$$

Se determina el esfuerzo equivalente por el criterio de Von Mises.

$$\sigma_{vm} = 164.84\ MPa$$

La condición de diseño seguro establece que $\sigma_{vm} \leq \sigma_{per}$, obteniendo como resultados 164.84 MPa ≤ 165 MPa y sí se cumple la condición lo que significa que el eje puede soportar las cargas aplicadas sin deformación permanente ni falla estructural.

El diámetro mínimo del eje que se necesita es 10.3 mm, así que se selecciona un diámetro superior próximo estándar de 20 mm que se lo encuentra con facilidad en el mercado, además de garantizar un factor de seguridad mayor a 2 considerando si se dan mayores cargas al eje.

4.4.5. Diseño de discos

Para el diseño de los discos empleados como ruedas se requiere analizar previamente las condiciones de trabajo de la máquina. Para ello, se consideran aspectos relacionados con las cargas aplicadas, las dimensiones geométricas de los componentes, las propiedades de los materiales seleccionados y las características del terreno.

Tabla 4.10 *Propiedades del acero AISI 1045 [30].*

ACERO AISI 1045	
Resistencia a la tracción, máxima	570 MPa
Límite elástico	310 MPa
Módulo de elasticidad	205 GPa
Coeficiente de Poissons	0.3
Densidad	7.85 kg/m^3
Dureza, Brinell	170

A continuación, se describen los datos necesarios para el diseño de los discos:

- Diámetro externo del disco: 200 mm
- Diámetro interno del disco: 20 mm
- Espesor del disco: 3 mm.
- Velocidad lineal: 0.69 m/s.
- Fuerza de empuje de la máquina: 196.2 N
- Fuerza por disco: 98.1 N

En la Ecuación 15, se calcula el área de contacto de cada espacio de la cuchilla que depende del espesor del disco y el arco de cada espacio de la cuchilla en el perímetro del disco.

$$A = e\frac{\pi * D_e}{z} \tag{15}$$

Donde:

- A es el área,
- e es el espesor,
- D_e es el diámetro externo,
- z es el número de discos.

$$A = 3\frac{\pi * 200}{12}$$

$$A = 157\ mm^2$$

El esfuerzo cortante en cada espacio de las cuchillas se calcula usando la Ecuación 16.

$$\tau = \frac{F_{disco}}{A} \tag{16}$$

$$\tau = \frac{9.81}{157}$$

$$\tau = 0.62\ MPa$$

Donde:

- τ es el esfuerzo cortante,
- F_{disco} es la fuerza del disco,
- A es el área.

La Ecuación 17 expresa el momento flector que actúa sobre el disco a partir de la carga aplicada y la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el centro del disco.

$$M = F_{disco} * r \tag{17}$$

$$M = 98.1 * 0.1$$

$$M = 9.81\ Nm$$

Donde:

- M es el momento flector,
- F_{disco} es la fuerza del disco,
- r es el radio del disco.

En la Ecuación 18 se calcula el esfuerzo flector.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \tag{18}$$

Donde:

- σ es el esfuerzo flector,
- c es la distancia máxima desde el eje,
- I es el momento inercia.

Se calcula *c* usando la Ecuación 19, donde el espesor se divide entre 2.

$$c = \frac{\mathrm{e}}{2} \tag{19}$$

$$c = 0.0015\ m$$

Donde:

- c es la distancia máxima desde el eje,
- e es el espesor del disco.

Se calcula el momento de inercia en la Ecuación 20.

$$I = \frac{\pi}{4}(R_e^4 - R_i^4) \tag{20}$$

$$I = 7.85\ x\ 7.85\ x\ 10^{-6}$$

Donde:

- I es el momento de inercia
- R_e es el radio externo del disco,
- R_i es el radio interno del disco.

Sustituyendo los valores en la Ecuación 18, se obtiene el esfuerzo flector

$$\sigma = \frac{9.81 * 0.0015}{7.85\ x\ 10^{-6}}$$

$$\sigma = 1.87\ MPa$$

4.4.6. Diseño de cuchillas

Para el diseño de las cuchillas que van acopladas en los discos, se requiere considerar varios parámetros, tanto geométricos como de resistencia mecánica, para garantizar la remoción de maleza y su durabilidad.

A continuación, se detallan los parámetros necesarios:

- Longitud 220 mm.
- Espesor 2 mm.

- Ancho 25 mm.
- Fuerza 20 N.
- Numero de cuchillas 12.
- Material acero al alto carbono.

En el análisis estructural de las cuchillas se consideró la resistencia ejercida por el suelo durante las labores de deshierbe. A partir de esta carga y de la longitud de cada elemento se determinó en la Ecuación 21 el momento flector máximo.

$$M = F * L \tag{21}$$

$$M = 20 * 0.22$$

$$M = 4.4\ Nm$$

Donde:

- M es el momento flector,
- F es la fuerza en cada cuchilla,
- L es la longitud de la cuchilla.

El esfuerzo normal por flexión en el material se calcula en la Ecuación 22.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \tag{22}$$

Donde:

- σ es el esfuerzo normal por flexión,
- M es el momento flector,
- c es la distancia desde el eje.
- I es el momento de inercia,

Se calcula *c* usando la Ecuación 23, donde el espesor de la cuchilla se divide entre 2.

$$c = \frac{e}{2} \tag{23}$$

$$c = 0.0015\ m$$

En la Ecuación 24, se calcula el momento de inercia de la sección transversal.

$$I = \frac{b * e^3}{12} \tag{24}$$

$$I = \frac{0.03 * 0.003^3}{12}$$

$$I = 6.75\ x\ 10^{-10}\ mm^4$$

Donde:

- I es el momento de inercia,
- b es el ancho de la cuchilla,
- e es el espesor de la cuchilla.

Reemplazando valores en la Ecuación 22.

$$\sigma = \frac{4.4 * 0.0015}{6.75\ \text{x}\ 10^{-10}}$$

$$\sigma = 9.78\ MPa$$

En la Ecuación 25, se calcula los esfuerzos cortantes debido a la interacción de las cuchillas con el suelo, donde el área se calcula la base por el espesor.

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{25}$$

$$\tau = \frac{20}{9\ \text{x}\ 10^{-5}}$$

$$\tau = 0.222\ MPa$$

Donde:

- τ es el esfuerzo cortante,
- F es la fuerza aplicada,

- A es el área.

Cuando las cuchillas giran con el disco la fuerza de impacto se calcula en la Ecuación 26.

$$F_{impacto} = m_c * \omega * r \tag{26}$$

Donde:

- $F_{impacto}$ es la fuerza de impacto,
- m_c es la masa de la cuchilla,
- ω velocidad angular,
- r aceleración radial.

En el análisis estructural de las cuchillas se consideró la resistencia ejercida por el suelo durante las labores de deshierbe. A partir de esta carga y de la longitud de cada elemento se determinó el momento flector máximo en la Ecuación 27.

$$m_c = \rho * b * e * L \tag{27}$$

$$m_c = 7850 * 0.03 * 0.003 * 0.22$$

$$m_c = 0.0155\ kg$$

Donde:

- m_c es la masa de la cuchilla,
- ρ es la densidad del acero,
- b es el ancho de la cuchilla,
- e es el espesor de la cuchilla,
- L es la longitud de la cuchilla.

En la Ecuación 28, se calcula la velocidad angular dividiendo la velocidad de la rueda sobre su radio.

$$\omega = \frac{v}{r} \tag{28}$$

$$\omega = \frac{0.69}{0.1}$$

$$\omega = 6.9\, rad/s$$

Donde:

- ω es la velocidad angular,
- v es la velocidad de la rueda,
- r es el radio del disco,

Reemplazando valores en la Ecuación 26, se obtiene.

$$F_{impacto} = 0.0155 * 6.9^2 * 0.1$$

$$F_{impacto} = 0.0737\ N$$

Las cuchillas no estarán sometidas a impactos severos en estas condiciones, por lo que esta fuerza es baja.

4.4.7. Diseño de púas

Para el análisis y diseño del sistema de remoción de maleza con púas, es necesario conocer los parámetros que abarcan tanto los aspectos mecánicos como su comportamiento en el suelo.

Se establecieron diversos parámetros para la operación de la máquina.

- Longitud 200 mm.
- Diámetro 12 mm.
- Radio de curvatura 36 mm.
- Longitud después del doblado 145 mm.
- Fuerza aplicada 20 N.

- Acero ASTM A36.

En la Ecuación 29, se calcula la deformación máxima en la región curva. El valor de ϵ debe estar por debajo del límite plástico permitido para el acero ASTM A36.

$$\epsilon = \frac{d}{2 * R} \tag{29}$$

$$\epsilon = \frac{0.012}{2 * 0.036}$$

$$\epsilon = 0.0167$$

Donde:

- ϵ es la deformación máxima,
- d es el diámetro de la púa,
- R es el radio de curvatura de la púa,

El valor de ϵ = 0.0167 está por debajo del límite plástico permitido para el acero ASTM A36 que es de 0.02, esto asegura que el doblado no excede el límite elástico del material, así que el diseño es seguro.

El momento flector máximo en la sección recta de la varilla se calcula en la Ecuación 30, multiplicando la fuerza ejercida por la longitud de la varilla después de doblarla.

$$M = F \cdot L_{vd} \tag{30}$$

$$M = 20 * 0.135$$

$$M = 2.7\ Nm$$

Donde:

- M es el momento flector máximo,
- F es la fuerza aplicada,

- L_{vd} es la longitud de la varilla doblada.

En la Ecuación 31, se calcula el esfuerzo flector máximo en la sección recta.

$$\sigma_b = \frac{M * c}{I} \tag{31}$$

Donde:

- σ_b es el esfuerzo flector máximo,
- M es el momento flector,
- c es la distancia desde el eje,
- I es el momento de inercia,
- d es el diámetro.

$$c = \frac{d}{2} = 0.006\, m$$

$$I = \frac{\pi\, d^4}{64} = 10.18\, x\, 10^{-10} m^4$$

Reemplazando valores,

$$\sigma_b = \frac{2.7 * 0.006}{10.18\, x\, 10^{-10}}$$

$$\sigma_b = 15.9\, MPa$$

El esfuerzo máximo calculado es 15.9 MPa es mucho menor que el límite elástico del material que es 310 MPa.

El esfuerzo generado por el doblado en la región curva se calcula en la Ecuación 32.

$$\sigma_{curva} = \frac{E * \epsilon}{1 + v} \tag{32}$$

$$\sigma_{curva} = \frac{205\, x\, 10^9\ * 0.0167}{1 + 0.3}$$

$$\sigma_{curva} = 26.3\, MPa$$

Donde:

- σ_{curva} es el esfuerzo generado,
- ϵ es la deformación máxima,
- E es el módulo de elasticidad del material
- v es el coeficiente de Poisson.

El esfuerzo generado por el doblado de la varilla es 26.4 MPa, es menor que el límite elástico permitido que es 155 MPa, por lo que es seguro.

4.4.8. Selección de las chumaceras

Tabla 4.11 *Especificaciones y dimensiones de las chumaceras seleccionadas [19].*

Unidad		Diámetro del eje d		Dimensiones (mm)												Carcasa	Rodamiento		Peso (kg)
		(in)	(mm)	a	e	h	w	S_1	S_2	g	b	i	z	u	t				
WP-SBP204-12	WP-SSBP204-12	3/4															SB204-12	SSB204-12	
				128	96	33.3	67	12	10	17	30	18.9	37.2	47.7	49.7	WP-P204			0.26
WP-SBP204	WP-SSBP204		20														SB204	SSB204	

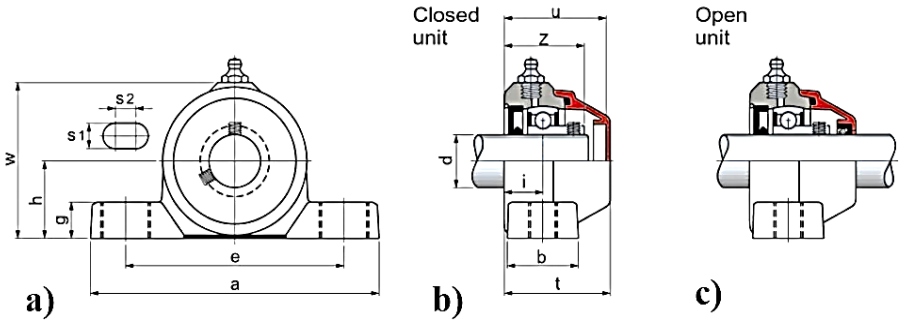


Figura 4.16 *Especificaciones de las chumaceras seleccionadas. (a) vista frontal, (b) vista de sección de una unidad cerrada y (c) vista de sección de una unidad abierta [19].*

La chumacera seleccionada es de 3/4 in para que encajen perfectamente con el eje.

4.4.9. Diseño de chasis

Realizado el diseño estático y geométrico del chasis, se selecciona tubo de acero ASTM A36 con forma cuadrada y después se le aplicara pintura para evitar la oxidación y corrosión.

Datos

- Material: Acero ASTM A36.
- Chasis: 30x2 mm
- Manubrio: 25x2 mm
- Peso de la máquina: 11.5 kg
- Fuerza de empuje: 196.2 N
- Altura mínima: 750 mm
- Altura máxima: 1050 mm

Se determina los esfuerzos actuando sobre el chasis y el manubrio.

El área de la sección transversal del tubo cuadrado se calcula en la Ecuación 33.

$$A = (L_{ext}^2 - L_{int}^2) \tag{33}$$

Para el área del chasis:

$$A_{chasis} = (25^2 - 22^2) = \ 141\ mm^2$$

Para el área del manubrio:

$$A_{manubrio} = (30^2 - 27^2) = \ 171\ mm^2$$

El esfuerzo normal debido a la carga axial en el chasis y el manubrio se obtiene en la Ecuación 34.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{34}$$

Donde:

- σ es el esfuerzo normal,
- F es la fuerza,
- A es el área.

Para el chasis, con una carga de 112.7 N:

$$\sigma_{chasis} = \frac{112.7}{141} = 0.80\ MPa$$

Para el manubrio, con una carga de 196.2 N:

$$\sigma_{manubrio} = \frac{196.2}{171} = 1.15\ MPa$$

Los valores obtenidos de las dos estructuras son muy bajos en comparación con el límite elástico del acero galvanizado de 203.94 MPa, lo que indica que el material soportará la carga sin problemas.

El esfuerzo de flexión de la estructura se calcula con la Ecuación 35.

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} \tag{35}$$

Donde:

- σ_f esfuerzo de flexión,
- M es el momento flector máximo,
- c es la distancia desde el eje hasta el extremo del chasis,
- I es el momento de inercia de la sección.

El momento de inercia para un tubo cuadrado hueco se calcula en la Ecuación 36.

$$I = \frac{(L_{ext}^4 - L_{int}^4)}{12} \tag{36}$$

Donde:

- I es el momento de inercia de la sección,
- L_{ext} es la longitud externa,
- L_{int} es la longitud interna.

Para el chasis:

$$I_{chasis} = \frac{(25^4 - 22^4)}{12} = 13030.75\ m^4$$

El chasis tiene una longitud aproximada de 1120 mm y la carga se aplica en el centro, el momento máximo se calcula en la Ecuación 37.

$$M = \frac{F * L}{4} \tag{37}$$

Donde:

- M es el momento máximo,
- F es la fuerza,
- L es la longitud.

$$M = \frac{112.7 * 1120}{4} = 31556\ Nmm$$

Entonces, el esfuerzo de flexión es:

$$\sigma_f = \frac{31556 * 12.5}{13030.75} = 30.27\ MPa$$

Este valor todavía está muy por debajo del límite elástico del acero (203.94 MPa), indicando que el chasis es estructuralmente seguro.

El factor de seguridad se calcula en la Ecuación 38.

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{máx}} \tag{38}$$

Donde:

- FS es el factor de seguridad,
- σ_y es el límite elástico,
- $\sigma_{máx}$ es el esfuerzo máximo.

La Ecuación 39, se usa para determinar el esfuerzo máximo.

$$\sigma_{máx} = \sigma_f + \sigma_{normal} \tag{39}$$

Donde:

- $\sigma_{máx}$ es el esfuerzo máximo,
- σ_f es el esfuerzo de flexión,
- σ_{normal} es el esfuerzo normal.

El factor de seguridad del chasis:

$$\sigma_{máx,chasis} = 30.27 + 0.80 = \ 31.07\ MPa$$

$$FS_{chasis} = \frac{203.94}{31.07} = 6.56$$

El factor de seguridad del manubrio:

$$\sigma_{máx,manubrio} = 30.27 + 1.15 = \ 31.47\ MPa$$

$$FS_{manubrio} = \frac{203.94}{31.47} = 6.48$$

4.5. Análisis de elementos finitos

En esta sección se realiza el análisis de elementos finitos de los componentes de la máquina y se utiliza el software SolidWorks para predecir el comportamiento de la máquina ante las cargas y condiciones del mundo real. Se selecciona el material a evaluar, después se aplica las sujeciones y cargas, por último, se define el tamaño de la malla y se ejecuta el estudio.

4.5.1. Análisis de la estructura

La máquina está diseñada con un manubrio telescópico para adaptar la altura del manubrio de la máquina según el usuario lo desee, por lo que se analiza la máquina con el manubrio a la máxima y mínima altura. Se realiza varios análisis para obtener resultados más confiables y ejecutar un análisis de convergencia para observar en que rango se encuentran dichos resultados.

4.5.1.1. Altura máxima de la estructura

Se presenta el diseño de la estructura principal de la máquina deshierbadora cuando el manubrio está a máxima altura.

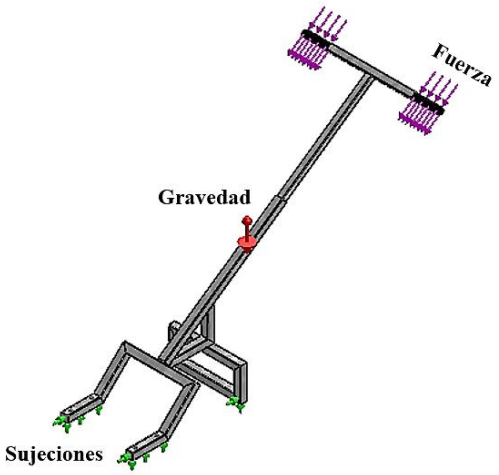


Figura 4.17 *Fuerzas y sujeciones en la estructura a nivel máximo.*

En la Figura 4.18 Esfuerzo máximo de la estructura a nivel máximo., se observa la estructura de la máquina deshierbadora a su máxima altura, aplicando una fuerza de 196.2 N en los extremos del manubrio representando el empuje del operario, además se aplica la fuerza de gravedad para representar el propio peso de la estructura, finalmente en la base de la estructura se representa las condiciones de sujeción.

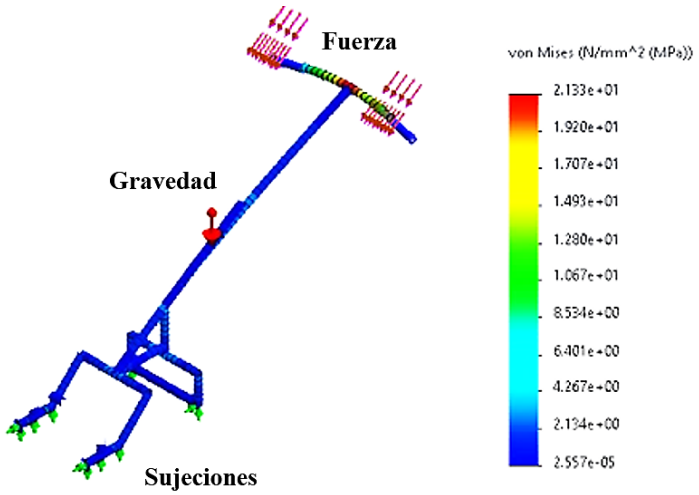


Figura 4.18 *Esfuerzo máximo de la estructura a nivel máximo.*

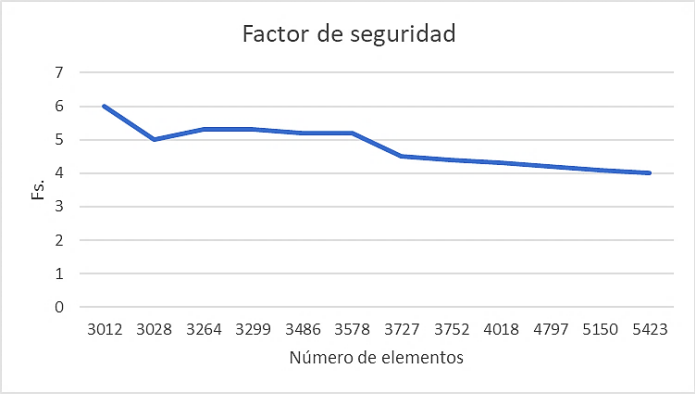


Figura 4.19 *Análisis de convergencia de la estructura a nivel máximo.*

En la Figura 4.19 Análisis de convergencia de la estructura a nivel máximo. se muestra la gráfica para el análisis de convergencia, la relación entre el número de elementos y el factor de seguridad, los valores del factor de seguridad mantienen una estabilidad desde los elementos 3264 hasta los 3578 con un error del 5% y se obtiene un factor de seguridad de 4.79 aproximadamente.

4.5.1.2. Altura mínima de la estructura

Se muestra el diseño de la estructura principal de la máquina deshierbadora cuando el manubrio está a mínima altura.

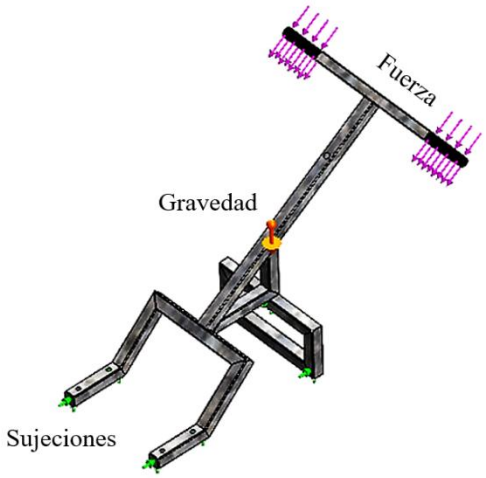


Figura 4.20 *Fuerzas y sujeciones en la estructura a nivel mínimo.*

Al igual que en el análisis de la estructura a su nivel máximo en la Figura 4.18 Esfuerzo máximo de la estructura a nivel máximo. se observa en la estructura cuando está en su mínima altura en la Figura 4.21 Esfuerzo máximo de la estructura a nivel mínimo., se aplica una fuerza de 196.2 N en los extremos del manubrio, también se emplea la fuerza de gravedad y las sujeciones en la base de la estructura.

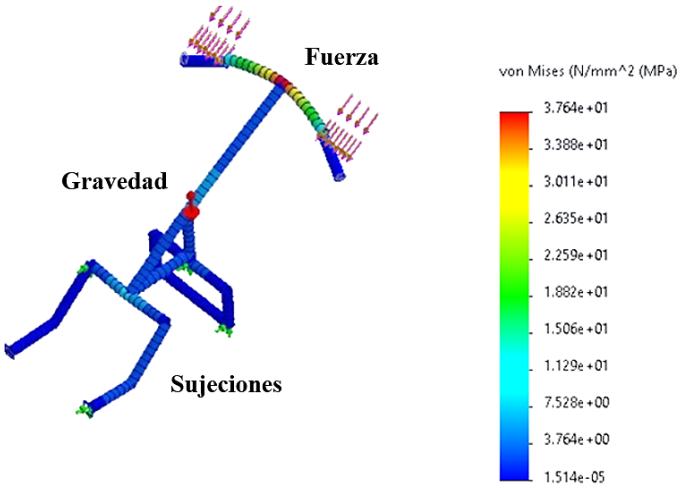


Figura 4.21 *Esfuerzo máximo de la estructura a nivel mínimo.*

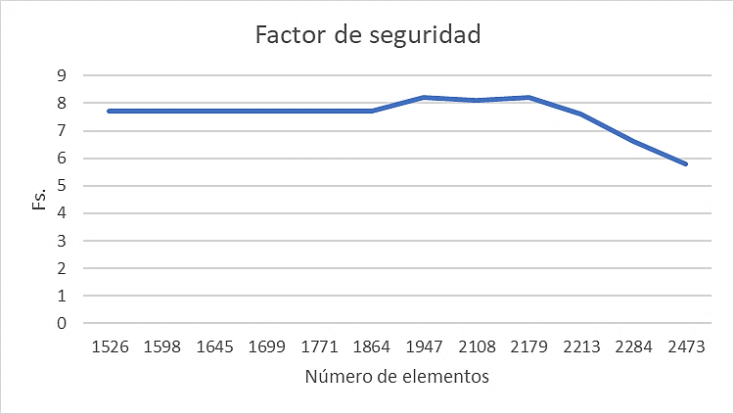


Figura 4.22 *Análisis de convergencia de la estructura a nivel mínimo.*

La Figura 4.22 presenta el estudio de convergencia realizado para el factor de seguridad. Se observa que, a medida que aumenta el número de elementos de la malla desde 1526 hasta 1864, las variaciones obtenidas son mínimas, indicando que la solución numérica alcanza una condición estable. Los resultados muestran que el valor converge aproximadamente a un factor de seguridad de 6, garantizando un diseño seguro.

4.5.2. Análisis de la rueda deshierbadora

La rueda deshierbadora está compuesta por los 2 discos con ranuras, 12 cuchillas y el eje, por lo que se analizara todas estas piezas en conjunto con el tamaño de malla mínimo posible para obtener resultados más precisos.

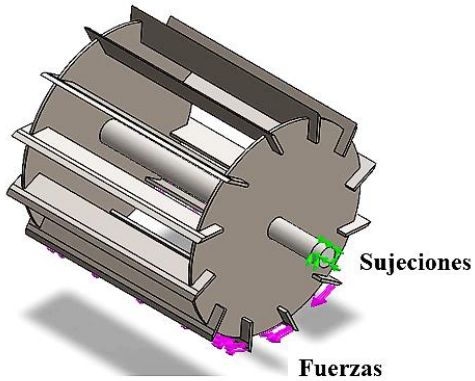


Figura 4.23 *Fuerzas y apoyos en la rueda deshierbadora.*

En la rueda deshierbadora se comporta como un conjunto rígido, el eje soporta tanto la fuerza de empuje como el par que genera la rueda, además se aplican restricciones en los apoyos del eje, también se emplea una fuerza de 23.6 N para cada cuchilla simulando la resistencia y el contacto con el suelo.

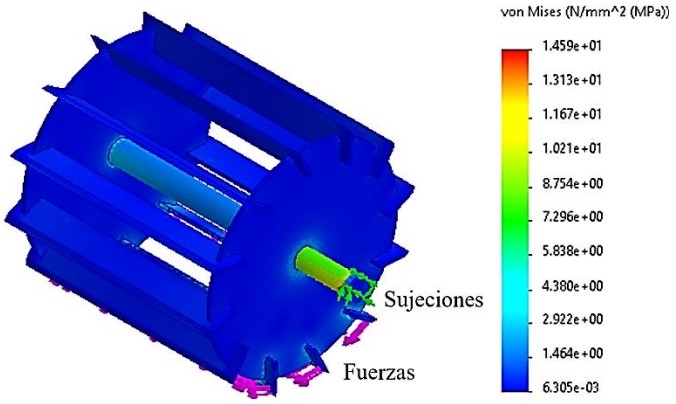


Figura 4.24 *Esfuerzo máximo en la rueda deshierbadora.*

La simulación muestra que los puntos críticos de tensión están en el acoplamiento del eje con las chumaceras, las cuchillas y discos trabajan en rangos de tensión mucho más bajos que realizan esfuerzos mínimos.

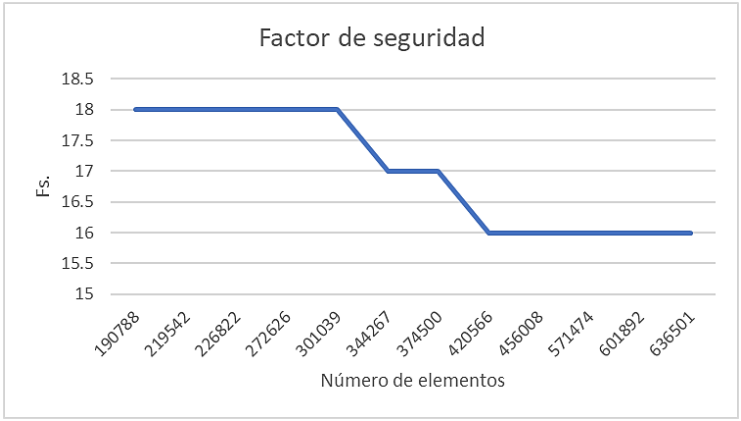


Figura 4.25 *Análisis de convergencia de la rueda deshierbadora.*

El análisis de convergencia mostrado en la Figura 4.25 indica que al refinar la malla el factor de seguridad disminuye y así captura mejor las zonas críticas de tensión en la

rueda. El resultado convergente del factor de seguridad es 16 por lo que el modelo es confiable, esto significa que la rueda con cuchillas tiene una capacidad de resistencia, lo que indica un diseño muy seguro para las condiciones simuladas.

4.5.3. Análisis de las púas

Las púas son uno de los elementos activos más críticos en la máquina deshierbadora; su función principal es la interacción directa con el suelo. Esta pieza está diseñada para trabajar bajo condiciones de alta fricción y resistencia mecánica; es vital realizar un análisis de fuerzas y sujeciones; esto garantiza que el material y la geometría de la pieza soporten los ciclos de fatiga sin deformaciones permanentes.

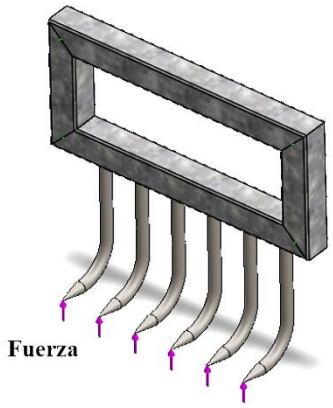


Figura 4.26 *Fuerzas y sujeciones en las púas.*

Para el análisis de elementos finitos de las púas, se aplica una fuerza directamente en las puntas de todas las púas para simular que hacen contacto con el suelo y se emplea las sujeciones en la estructura.

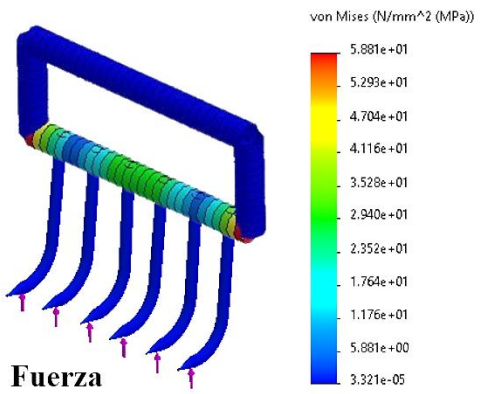


Figura 4.27 *Esfuerzo máximo en las púas.*

En la Figura 4.27 la estructura está fija en los extremos, lo que genera reacción y concentra esfuerzos, en las puntas de las púas se aplica una fuerza total de 20 N, simulando la resistencia del suelo.

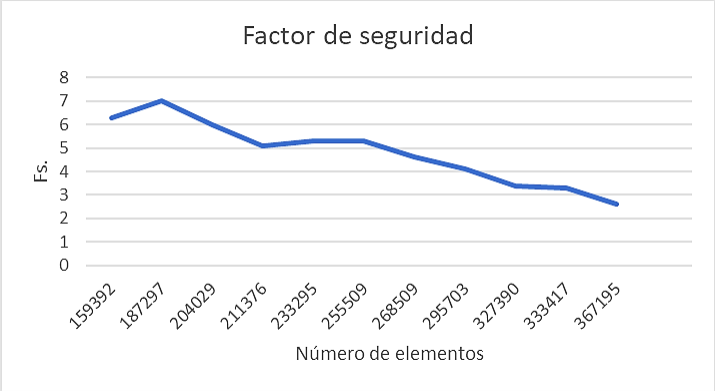


Figura 4.28 *Análisis de convergencia de las púas.*

En el análisis de convergencia se evidencia que al refinar la malla el factor de seguridad disminuye, el resultado más estable para el factor de seguridad es 3, así que la estructura aún es segura en las condiciones que fue simulada.

4.6. Análisis de costos

Con el análisis de costos se verifica el presupuesto necesario para la construcción de la máquina deshierbadora.

Tabla 4.12 *Costos de materia prima.*

Cantidad	Elemento	Descripción	Valor Total
1	Eje de transmisión	Acero AISI 1018, Ø=22.225 L= 320 mm	$ 3.50
1	Plancha de acero	Acero ASTM A36, 500 x 500 x 3 mm	$ 5.00
1	Tubo cuadrado	Acero ASTM A36, 30 x 2 mm L = 3500 mm	$ 8.75
1	Tubo cuadrado	Acero ASTM A36, 25 x 2 mm L = 1000 mm	$ 2.20
1	Barra de acero	Acero al alto carbono, 25 x 2 x 3000 mm	$ 21.00
1	Varilla redonda	Acero ASTM A36, Ø = 12 mm L = 4000 mm	$ 5.00
1	Electrodos	Aga 6011	$ 3.00
1	Electrodos	Aga 6013	$ 1.50
1	Pintura	Sintético Plus Automotriz	$ 4.00
Total			**$ 53.95**

Tabla 4.13 *Costos de mano de obra.*

Elemento	Proceso	Valor mano de obra
Eje de transmisión	Eliminación de material en el torno.	$ 10.00
Varilla redonda	Eliminación de material en el torno, doblar las varillas al ángulo exacto con la máquina dobladora y soldar.	$ 30.00
Tubo cuadrado	Cortar con amoladora, soldar y realizar perforaciones con taladro.	$ 20.00
Barra de acero	Cortar con amoladora, afilar las cuchillas y soldar con electrodos.	$ 15.00
Plancha de acero	Elaboración de discos con ranura en máquina de corte Láser CNC.	$ 7.00
Pintura	Pintar toda la máquina deshierbadora.	$ 4.00
Total		**$ 86.00**

Tabla 4.14 *Costos de elementos normalizados.*

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Chumacera para eje 3/4 in.	$ 5.50	$ 11.00
4	Perno hexagonal 11.75 mm.	$ 0.50	$ 2.00
4	Tuerca de seguridad	$ 0.30	$ 1.20
2	Mangos para manubrio	$ 1.50	$ 3.00
1	Tuerca tipo mariposa para ajuste	$ 1.00	$ 1.00
Total			**$ 18.20**

Tabla 4.15 *Costo total.*

Costos	Total
Costos de materia prima.	$ 53.95
Costos de mano de obra.	$ 86.00
Costos de elementos normalizados.	$ 18.20
Costo total	**$ 158.15**

4.7. Pruebas del funcionamiento de la máquina deshierbadora

Se realiza pruebas sobre el desempeño de la máquina deshierbadora en suelo arenoso, limoso y arcilloso para medir el porcentaje de maleza removida, la profundidad a la que las cuchillas y púas penetran el suelo para remover las malas hierbas.

Parámetros para realizar las pruebas

Para la evaluación del desempeño de la máquina deshierbadora se establecieron las siguientes condiciones de ensayo controladas.

- Área del surco: 5 m² (0.5 m × 10 m).
- Ancho de trabajo: 0.8 m (púas = 120 mm, cuchillas del disco= 120 mm).
- Velocidad de avance: 0.8 m/s.
- Humedad del suelo: 10–12% (arenoso), 15–18% (limoso), 20–25% (arcilloso).

- % de deshierbe por surco.

$$\%\, Deshierbe = \frac{N_{antes} - N_{después}}{N_{antes}} \qquad (40)$$

Donde:

- $\%\, Deshierbe$ es el porcentaje de deshierbe por surco,
- N_{antes} es el número promedio de malas hierbas por 1m^2 antes,
- $N_{después}$ es el número promedio de malas hierbas por 1m^2 después,

N es el número promedio de malas hierbas en un área de 1m^2 en todo el surco.

4.7.1. Pruebas en suelo arenoso

El suelo arenoso es blando por lo que es fácil cultivar en este, además se puede enterrar las púas y cuchillas aplicando una fuerza y velocidad normal.



Figura 4.29 *Maleza en suelo arenoso.*



Figura 4.30 *Primera pasada de la máquina en suelo arenoso.*

En la Figura 4.30, se observa que la máquina removió un buen porcentaje de maleza, pero no en su totalidad por lo que es necesario dar una o dos pasadas más de la máquina en el surco.

Tabla 4.16 *Porcentaje de deshierbe en la primera pasada en suelo arenoso.*

Prueba	**N° de malezas/m^2 (antes)**	**N° de maleza/m^2 (después)**
1	24	7
2	32	9
3	35	6
4	28	8
5	31	9
Promedio	30	7.8
% de deshierbe		**74%**

Tabla 4.17 *Porcentaje de deshierbe en la segunda pasada en suelo arenoso.*

Prueba	N° de malezas/m^2 (antes)	N° de maleza/m^2 (después)
1	7	0
2	9	1
3	6	0
4	8	1
5	9	2
Promedio	7.8	0.8
% de deshierbe		**90%**

Tabla 4.18 *Profundidad de cuchillas y púas en el suelo arenoso.*

Prueba	Profundidad de cuchillas (mm)	Profundidad de púas (mm)
1	10	35
2	9	33
3	9	30
4	8	31
5	10	33
Promedio	**9.2**	**32.4**

El desempeño de la máquina en el suelo arenoso fue regular y se necesitó una segunda pasada de la máquina para llegar a un porcentaje de deshierbe aceptable, la extracción de raíces poco profundas fue buena ya que las cuchillas y púas se profundizaron en el suelo debido a que la resistencia del suelo es baja.

4.7.2. Pruebas en suelo limoso

El suelo limoso es ideal para la agricultura caracterizándose por su textura suave rompiéndose con poca presión.



Figura 4.31 *Profundidad de las púas en suelo limoso.*



Figura 4.32 *Profundidad de las cuchillas en suelo limoso.*

El suelo limoso tiene la más baja resistencia en comparación a los otros, en la Figura 4.32 se muestra la profundidad en la que las cuchillas se introducen en el suelo incluso los discos también se penetran en el suelo debido al propio peso y la fuerza aplicada en la máquina.

Tabla 4.19 *Porcentaje de deshierbe en el suelo limoso.*

Prueba	N° de malezas/m^2 (antes)	N° de malezas/m^2 (después)
1	33	4
2	26	4
3	29	3
4	31	5
5	30	5
Promedio	29.8	4.2
% de deshierbe		**86%**

Tabla 4.20 *Profundidad de cuchillas y púas en suelo limoso.*

Prueba	Profundidad de cuchillas (mm)	Profundidad de púas (mm)
1	12	40
2	13	35
3	15	38
4	11	41
5	11	37
Promedio	**12.4**	**38.2**

El funcionamiento de la máquina en suelo limoso fue muy bueno ya que con una sola pasada de la máquina se obtuvo un porcentaje de deshierbe muy alto, también las cuchillas y púas se introdujeron en el suelo en una profundidad ideal para que pueda remover la maleza.

4.7.3. Pruebas en suelo arcilloso

El suelo arcilloso es el mas dificil de trabajar a comparación de los otros debido a su estructura compacta.



Figura 4.33 *Maleza en suelo arcilloso.*



Figura 4.34 *Primera pasada de la máquina en suelo arcilloso.*

El suelo arcilloso se caracteriza por su estructura densa y compacta, en la Figura 4.36 se observa que se removió poca maleza en la primera pasada de la máquina porque las púas y cuchillas no atravesaron el suelo.

Tabla 4.21 *Porcentaje de deshierbe en la primera pasada en suelo arcilloso.*

Prueba	N° de malezas/m^2 (antes)	N° de malezas/m^2 (después)
1	19	8
2	27	12
3	28	11
4	29	9
5	25	12
Promedio	25.6	10.4
% de deshierbe		**59%**

Tabla 4.22 *Porcentaje de deshierbe en la segunda pasada en suelo arcilloso.*

Prueba	N° de malezas/m^2 (antes)	N° de malezas/m^2 (después)
1	8	2
2	12	4
3	11	3
4	9	3
5	12	4
Promedio	10.4	3.2
% de deshierbe		**69%**

Tabla 4.23 *Porcentaje de deshierbe en la tercera pasada en suelo arcilloso.*

Prueba	N° de malezas/m^2 (antes)	N° de malezas/m^2 (después)
1	2	0
2	4	1
3	3	0
4	3	0
5	4	1
Promedio	3.2	0.4
% de deshierbe		**88%**

Tabla 4.24 *Profundidad de cuchillas y púas en suelo arcilloso.*

Prueba	Profundidad de cuchillas (mm)	Profundidad de púas (mm)
1	5	19
2	6	21
3	6	18
4	4	17
5	5	20
Promedio	**5.2**	**19**

El suelo arcilloso es más difícil de deshierbar debido a su estructura física, lo que significa que las cuchillas o púas deben ejercer más fuerza para penetrar y remover el suelo debido a esto la máquina tiene que hacer varias pasadas para llegar a un porcentaje de deshierbe aceptable.

Tabla 4.25 *Resumen comparativo de los suelos.*

Suelo	% de deshierbe	Profundidad de cuchillas (mm)	Profundidad de púas (mm)
Arenoso	90% (2 pasadas)	9.2	32.4
Limoso	86% (1 pasada)	12.4	38.2
Arcilloso	88% (3 pasadas)	5.2	19

La máquina tuvo un mejor desempeño en el suelo limoso por su alto porcentaje de deshierbe en una sola pasada manteniendo una profundidad ideal para remover maleza. En los suelos arenosos funciona bien, pero exige tener más control y velocidad. En suelos arcillosos puede deshierbar con menos eficiencia por la poca impregnación de las púas y cuchillas por lo que se necesita más esfuerzo y más pasadas.

CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una máquina deshierbadora manual para cultivos de subsistencia, el equipo logró una altura regulable del manubrio de 750 mm a 1050 mm, lo cual facilita una operación cómoda para el usuario y disminuye el esfuerzo físico.

Durante el desarrollo del proyecto se determinaron los principales parámetros mecánicos y operativos de la máquina, tales como la resistencia estructural y la distribución de cargas. Mediante simulaciones realizadas en SolidWorks, se obtuvo un valor aproximado del factor de seguridad de 4.79 cuando la máquina está a nivel máximo y un factor de seguridad de 6 cuando está a nivel mínimo, estos valores garantizan la estabilidad y resistencia del diseño bajo las condiciones de carga aplicadas.

La estructura construida con acero ASTM A36 presentó un comportamiento adecuado durante las pruebas de operación, manteniendo la rigidez necesaria para soportar las cargas generadas durante el deshierbe. Asimismo, el conjunto de cuchillas y púas alcanzó una profundidad de trabajo cercana a 45 mm, suficiente para remover la maleza presente en la zona de ensayo y favorecer la limpieza del cultivo.

Los ensayos realizados en diferentes tipos de suelo mostraron variaciones en el desempeño de la máquina. En suelo limoso se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de maleza, alcanzando un 86 % en una sola pasada. Para el suelo arenoso se registró una eficiencia del 74 %, mientras que en el suelo arcilloso se obtuvo un 59 %. Estas diferencias están asociadas a las características físicas de cada suelo, ya que la textura del suelo limoso facilitó la penetración de las herramientas de trabajo, mientras que la mayor compactación del suelo arcilloso redujo la capacidad de remoción de maleza en una sola pasada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para el desarrollo de futuras versiones de la máquina incorporar sistemas complementarios, como ruedas regulables o mecanismos intercambiables de deshierbe, con el objetivo de mejorar el desempeño y ampliar su aplicación en diferentes tipos de suelos.

Se sugiere llevar a cabo nuevas evaluaciones estructurales y análisis de elementos finitos, teniendo en consideración las diversas condiciones de carga y tipos de terreno, con el fin de optimizar aún más la resistencia del chasis y disminuir el peso total de la estructura.

Los resultados obtenidos en suelo arcilloso evidenciaron una menor capacidad de remoción de maleza en comparación con los demás terrenos evaluados. Por esta razón, futuras mejoras podrían orientarse a modificar la geometría de las cuchillas y púas, buscando una mayor penetración en suelos con alta compactación y una mejor adaptación a diferentes condiciones de trabajo.

Las pruebas realizadas permitieron validar el funcionamiento de la máquina en tres tipos de suelo; sin embargo, la incorporación de nuevos ensayos en distintas épocas del año y en cultivos con características diferentes proporcionaría información adicional sobre el comportamiento del equipo y su desempeño bajo otras condiciones de operación.

Durante el uso de la máquina, los componentes sometidos a movimiento y contacto directo con el suelo están expuestos al desgaste. En consecuencia, conviene establecer inspecciones periódicas de las chumaceras, el eje, las cuchillas y los elementos de unión, con el fin de detectar oportunamente posibles daños.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Bula, "Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico," Observatorio Económico Social, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Rosario, Argentina, 2020. [En línea]. Disponible: https://rephip.unr.edu.ar/server/api/core/bitstreams/d9042436-7d26-4d43-a85f-c865302ad83c/content. [Accedido: 10-ene.-2025].

[2] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma, Italia: FAO, 2017. [En línea]. Disponible: https://www.fao.org/3/i7658s/i7658s.pdf. [Accedido: 15-ene.-2025].

[3] J. Díaz, Efectos de las malezas en los cultivos y su control. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 1995. [En línea]. Disponible: https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/31983/NR19594.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Accedido: 11-ene.-2025].

[4] F. Sans, Biología, Ecología y Control de Malas Hierbas. Barcelona, España: Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Barcelona, 2010. [En línea]. Disponible: https://cultivos-tradicionales.com/upload/file/control-de-adventicias-2-life-crops-for-better-soil-vidasana.pdf. [Accedido: 05-feb.-2025].

[5] M. Viteri y M. Tapia, "Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio," *Revista Espacios*, vol. 39, no. 32, 2018. [En línea]. Disponible: https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p30.pdf. [Accedido: 12-ene.-2025].

[6] D. Sogamoso, J. Aponte y S. Guzmán, "Integración de la mecatrónica al desarrollo de la agricultura de precisión aplicada al control mecánico de maleza," *Revista EIA*, 2015. [En línea]. Disponible: https://revistas.eia.edu.co/index.php/mem/article/view/842. [Accedido: 15-ene.-2025].

[7] Intagri, Manejo de Malezas en la Agricultura Orgánica, Serie Agricultura Orgánica, no. 16. México: Intagri, 2017, 5 p. [En línea]. Disponible: https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/manejo-de-malezas-en-la-agricultura-organica. [Accedido: 10-feb.-2025].

[8] Autodesk, "Software de análisis de elementos finitos," 2024. [En línea]. Disponible: https://www.autodesk.mx/solutions/finite-element-analysis. [Accedido: 15-feb.-2025].

[9] D. E. Segovia, *Diseño y validación mediante software de un deshierbador manual para uso en pequeñas áreas de terreno*, Trabajo de titulación, Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2021.

[10] H. Tang, C. Xu, Q. Wang, W. Zhou, J. Wang, Y. Xu y J. Wang, "Análisis del mecanismo y la optimización del rendimiento del deshierbe por enterramiento con un desmalezador autopropulsado entre hileras para entornos de arrozales," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 21, art. 9798, 2021, doi: 10.3390/app11219798.

[11] J. Wang et al., "A Combined Paddy Field Inter-Row Weeding Wheel Based on Display Dynamics Simulation Increasing Weed Mortality," *Agriculture*, vol. 14, no. 3, art. 444, 2024. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.3390/agriculture14030444. [Accedido: 10-ene.-2025].

[12] L. Qi, L. Zhao, X. Ma, H. Cui, W. Zheng y Y. Lu, "Diseño y experimento de la máquina de cultivo de deshierbe de tipo hilera ancha 3GY-1920 para arroz," *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 33, pp. 47–55, abr. 2017.

[13] Z. Zeng, A. Martin, Y. Chen y X. Ma, "Weeding performance of a spring-tine harrow as affected by timing and operational parameters," *Weed Science*, vol. 69, no. 1, pp. 1–8, 2021. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1017/wsc.2020.88. [Accedido: 18-ene.-2025].

[14] A. Konijnenburg y C. Matarrese, Agricultura Orgánica: El Suelo, sus Componentes Físicos. Río Negro, Argentina: Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro, 2006. [En línea]. Disponible: https://www.ciaorganico.net/documypublic/498_script-tmp-inta_material_didactico_nro_01_(1).pdf. [Accedido: 11-feb. -2025].

[15] Escuela Universitaria de Oficios, El suelo: un universo invisible. La Plata, Argentina: Prosecretaría de Políticas Sociales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 2015. [En línea]. Disponible: https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/98/27598/3f23fc987dbbeda82587753c9796000a.pdf. [Accedido: 20-feb.-2025].

[16] J. Ortiz Cañavate, *Las máquinas agrícolas y su aplicación*, Madrid, España: Mundi-Prensa, 2012, p. 540.

[17] Y. Zhang, L. Tian, C. Cao, C. Zhu, K. Qin y J. Ge, "Optimization and validation of blade parameters for inter-row weeding wheel in paddy fields," *Frontiers in Plant Science*, vol. 13, 2022. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1003471. [Accedido: 10-feb.-2025].

[18] Mecanización Agrícola FCA, Apunte arado cincel. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2012. [En línea]. Disponible: https://mecanizacionagricolafca.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/06/apunte-arado-cincel1.pdf. [Accedido: 05-sep.-2025].

[19] R. González, Métodos para el Control de Malas Hierbas. (I) Culturales. Madrid, España: Instituto de Ciencias Agrarias, Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA). [En línea]. Disponible: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_2006_2119-2120.pdf. [Accedido: 10-feb.-2025].

[20] W. Gutiérrez, J. Morán, B. Daboin, J. Ferrer, B. Medina y Y. Villalobos, "Evaluación de diferentes herbicidas sobre el control de malezas, desarrollo, rendimiento y beneficio neto relativo del cultivo de la yuca Manihot esculenta Crantz bajo las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo," *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 25, no. 1, pp. 1–19, mar. 2008.

[21] AliExpress, "Máquina de deshierbe mecánica de 1 fila, equipo de agricultura de respuesta rápida," 2024. [En línea]. Disponible: https://es.aliexpress.com/item/1005005355582525.html. [Accedido: 22-feb.-2025].

[22] J. A. Diego-Mas, "Evaluación del riesgo por las fuerzas ejercidas en el puesto de trabajo o en la utilización de máquinas mediante la norma EN 1005-3," Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fuerzas/fuerza-maxima-ayuda.php. [Accedido: 20-feb.-2025].

[23] Siemens, "Análisis de elementos finitos," 2024. [En línea]. Disponible: https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/finite-element-analysis-fea/. [Accedido: 22-ene.-2025].

[24] N. E. Viloria Cedeño, Metodología para investigaciones aplicadas con enfoque transdisciplinario: sociales y tecnológicas. Caracas, Venezuela: Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2016.

[25] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. París, Francia: OCDE, 2015. doi: 10.1787/9789264310681-es.

[26] Tilmor, "Rotovator," [En línea]. Disponible: https://www.tilmor.com/en-us/products/113/rotovator-pioneer. [Accedido: 11-mar.-2025].

[27] Smart Mapa, “Escardadora de dedos Terrateck,” [En línea]. Disponible: https://www.laastilladora.com/herramientas-huerto/101-escardadora-de-dedos-terrateck.html. [Accedido: 11-mar.-2025].

[28] MatWeb, “AISI 1020 Steel, as rolled, 25 mm (1 in.) round,” Online Materials Information Resource. [En línea]. Disponible: https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=12c37b34695945afb47d8446162febf3. [Accedido: 06-abr.-2025].

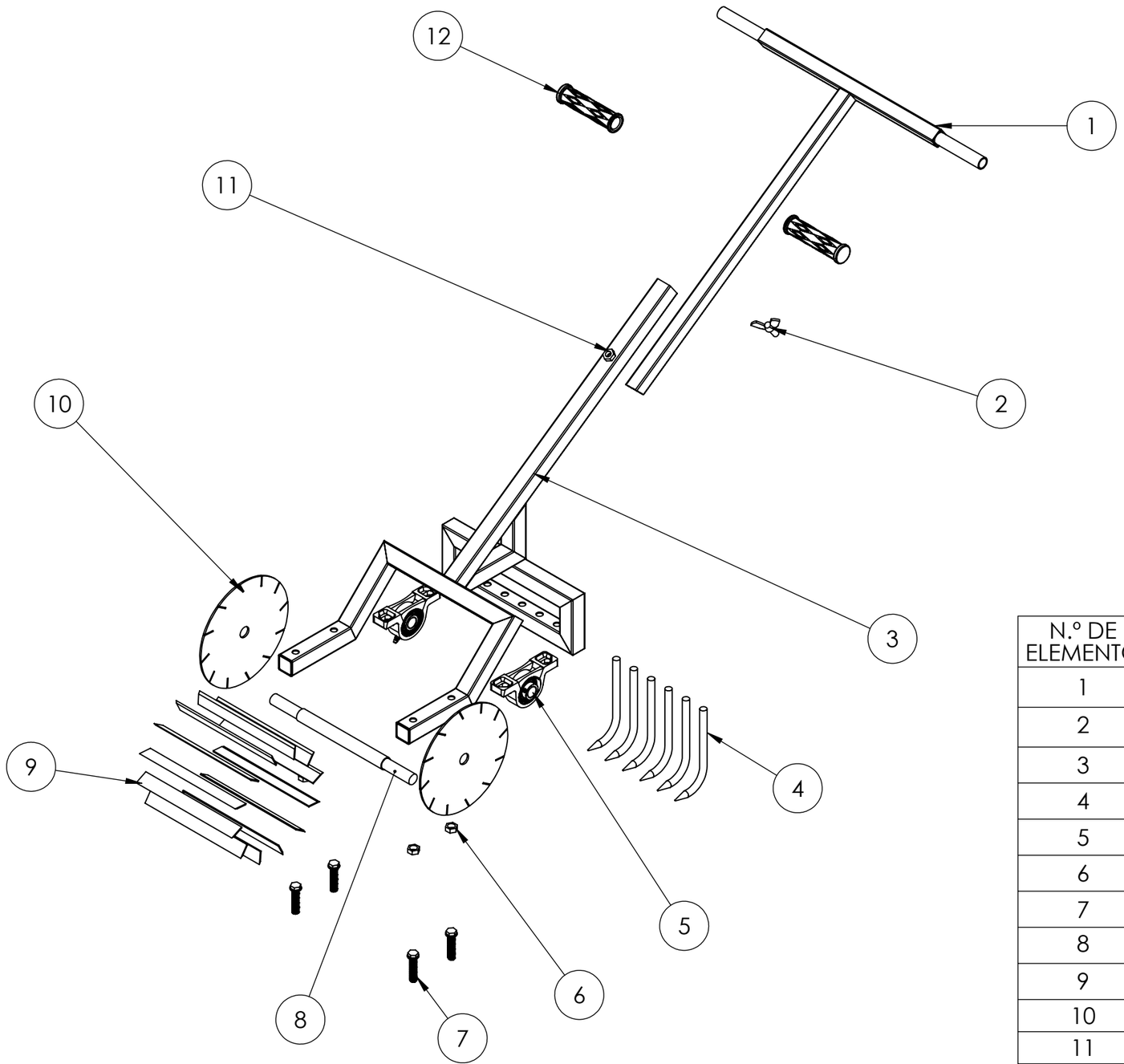
[29] MatWeb, “AISI 1045 Steel,” Online Materials Information Resource. [En línea]. Disponible: https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=507031d65a684d96b1d6ee4d6d5d5cf3&ckck=1. [Accedido: 09-abr.-2025].

[30] Honda, “Deshierbadora XGREEN DHX 60 Powered by Honda,” *Honda en Casa*, 2024. [En línea]. Disponible: https://www.hondaencasa.com/deshierbadoras/1027-deshierbadora-dhx-60-8435285123045.html. [Accedido: 10-mar.-2025].

[31] Terrateck, Herramientas y material de cultivo. 2024. [En línea]. Disponible: https://contingut.eixarcolant.cat/wp-content/uploads/2020/03/Catalogue_2020_ESP-2.pdf. [Accedido: 10-mar.-2025].

[32] *UNE-EN 1005-3:2009, Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 3: Límites de fuerza recomendados para la utilización de máquinas*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización (UNE), 2009.

ANEXOS





N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	CÓDIGO	CANTIDAD
1	Manubrio	MDM-023-02	1
2	Perno mariposa M10	-	1
3	Chasis	MDM-023-01	1
4	Puá	MDM-023-05	6
5	Chumacera 3/4	-	2
6	Tuerca M12	-	4
7	Perno M12	-	4
8	Eje de transmisión	MDM-023-03	1
9	Cuchilla	MDM-023-06	12
10	Disco con ranuras	MDM-023-04	2
11	Tuerca M10	-	1
12	Mango de goma	-	2

FICA

CIME

PROYECTO: Máquina deshierbadora manual

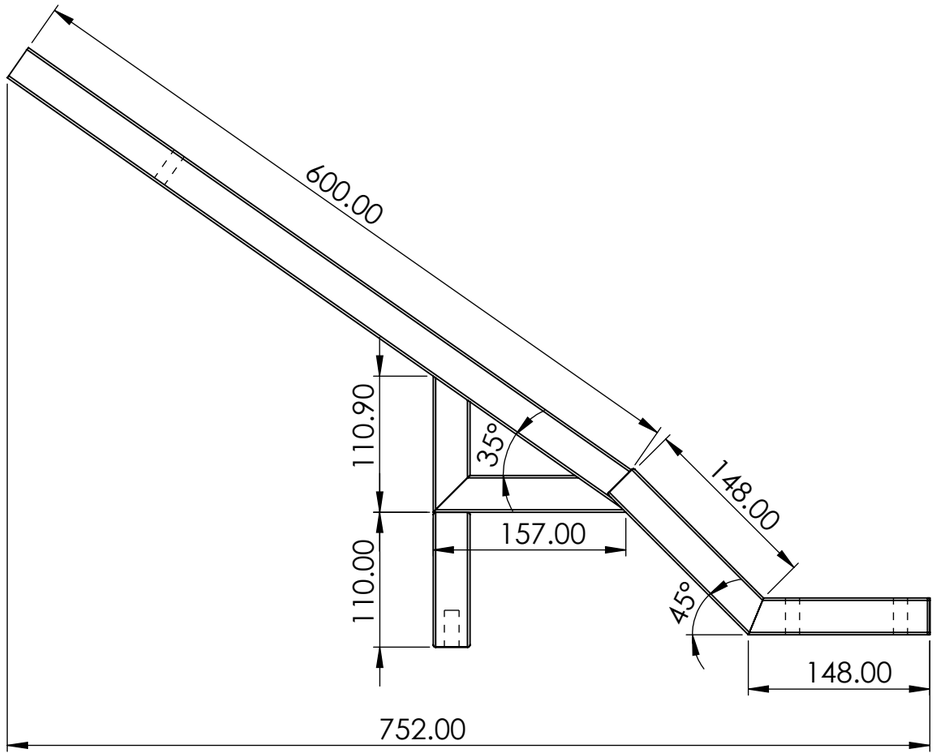
CONJUNTO: Ensamble de máquina

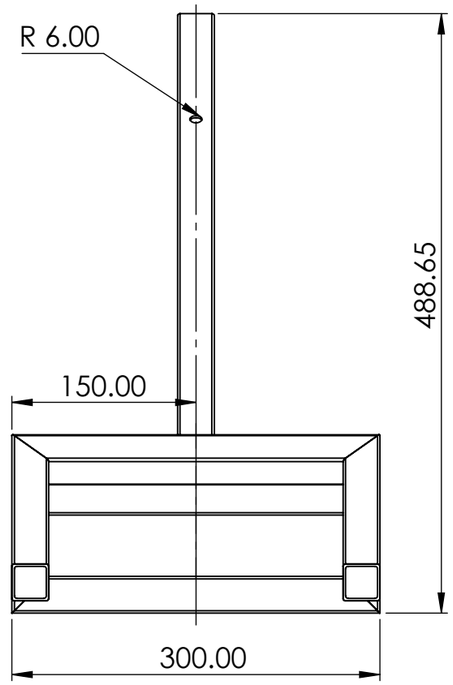
CÓDIGO: MDM-023

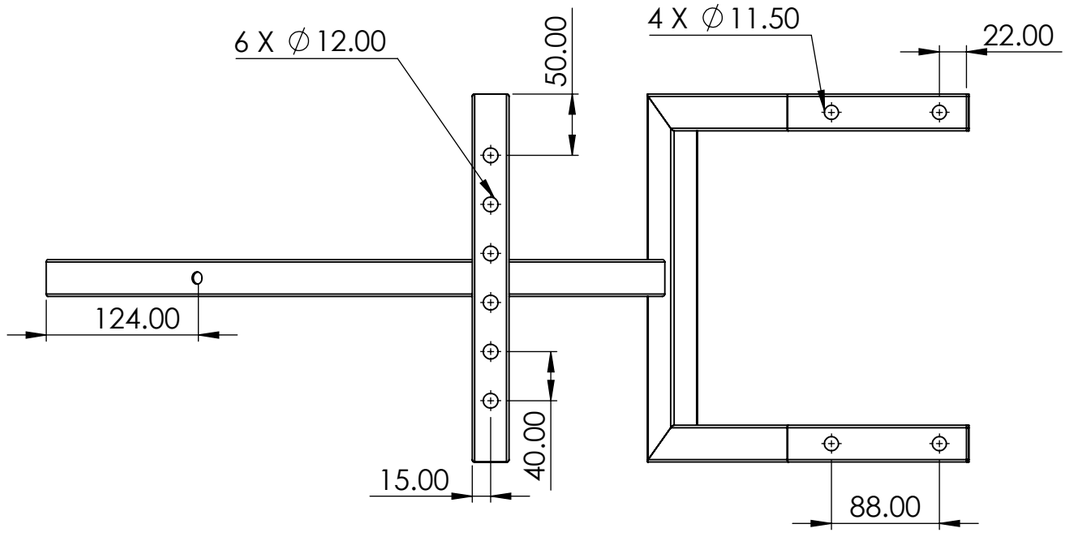
MATERIAL:	VARIOS	DISEÑÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026

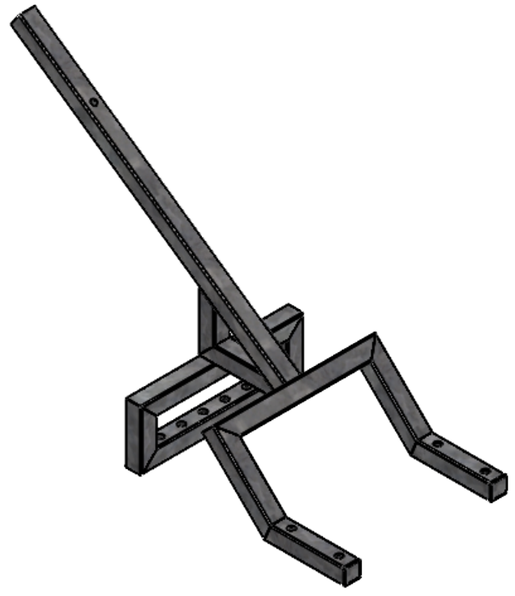
ESCALA: 1:8

HOJA: 1



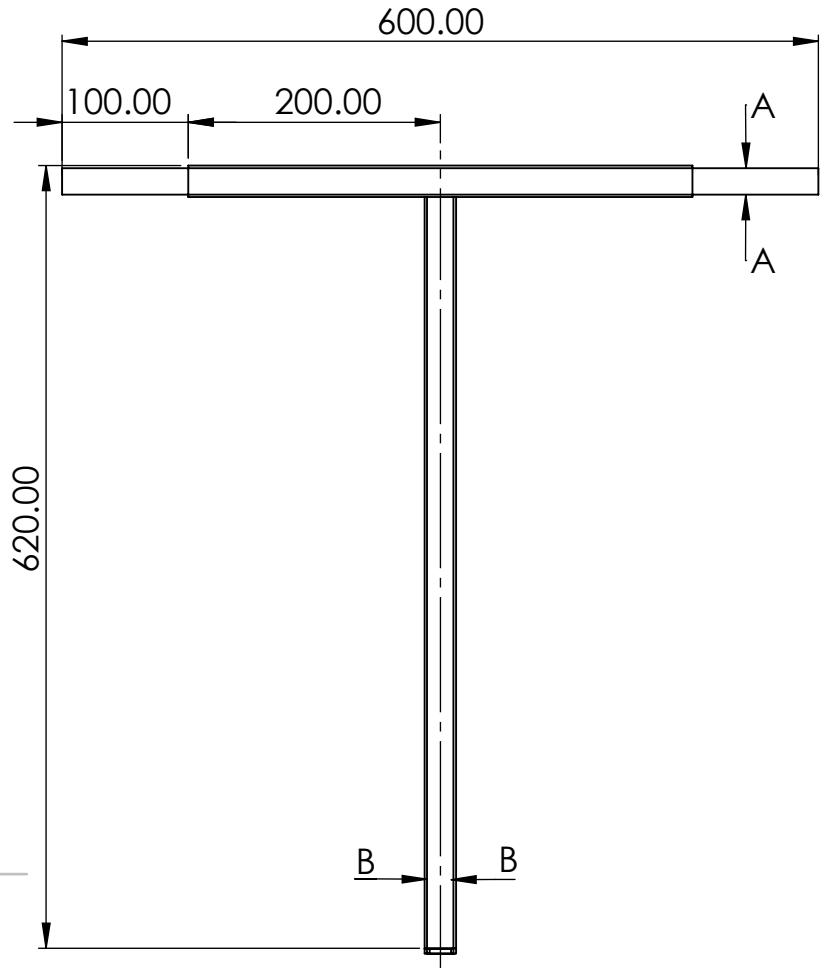




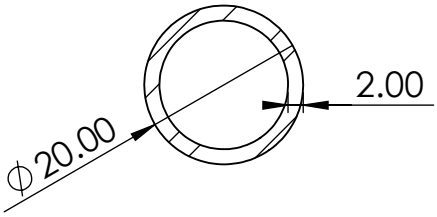


FICA CIME	PROYECTO: Máquina deshierbadora manual				ESCALA: 1:5
	CONJUNTO: Chasis 30x30x2 mm				
	CÓDIGO: MDM-023-01				
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026
	TOLERANCIA:	±1 mm	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026

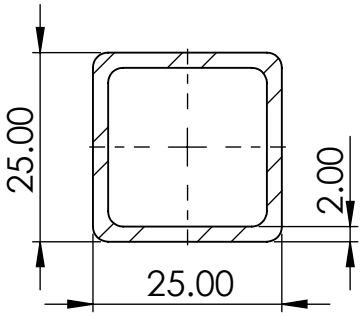
HOJA: 2



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:1



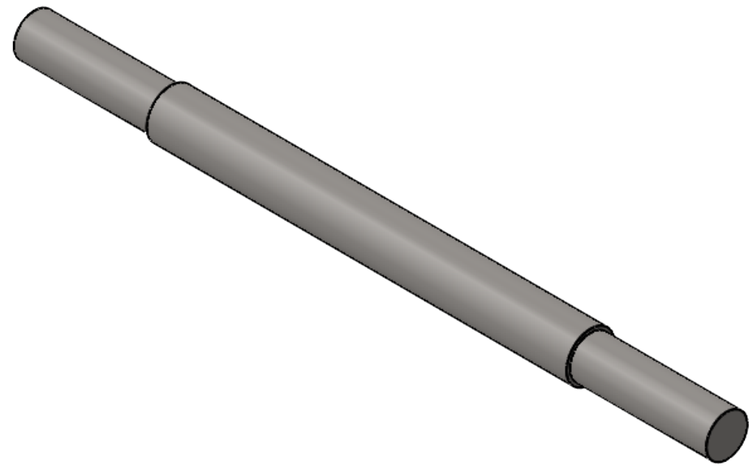
SECCIÓN B-B
ESCALA 1:1

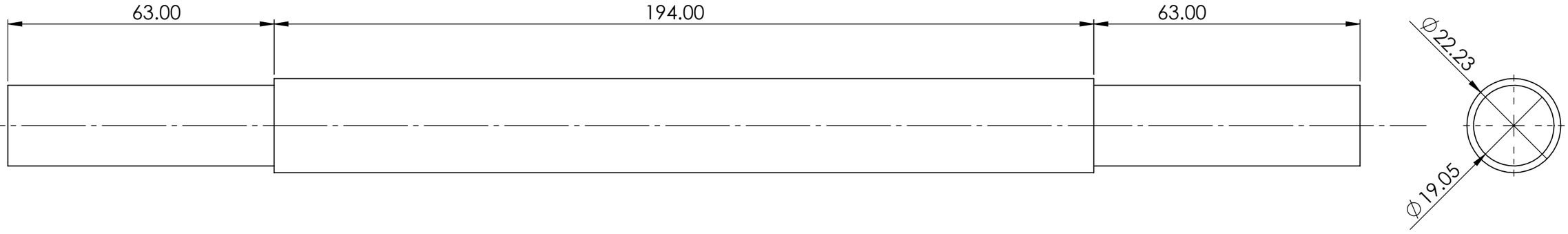




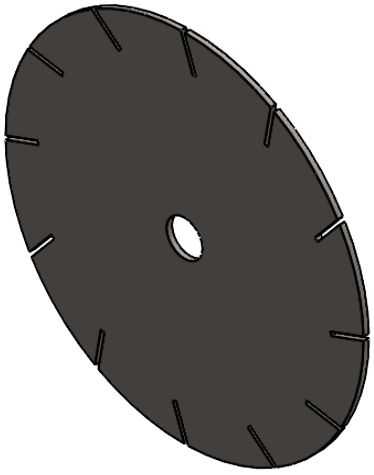
FICA	CIME	PROYECTO: Máquina deshierbadora manual			ESCALA: 1:6
		CONJUNTO: Manubrio			
		CÓDIGO: MDM-023-02			
		MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ: TERÁN JOSÉ	24/06/2026
		TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ: TERÁN JOSÉ	24/06/2026
		RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ: ING. VALENCIA F.	24/06/2026
		TOLERANCIA:	±0.1 mm	APROBÓ: ING. VALENCIA F.	24/06/2026

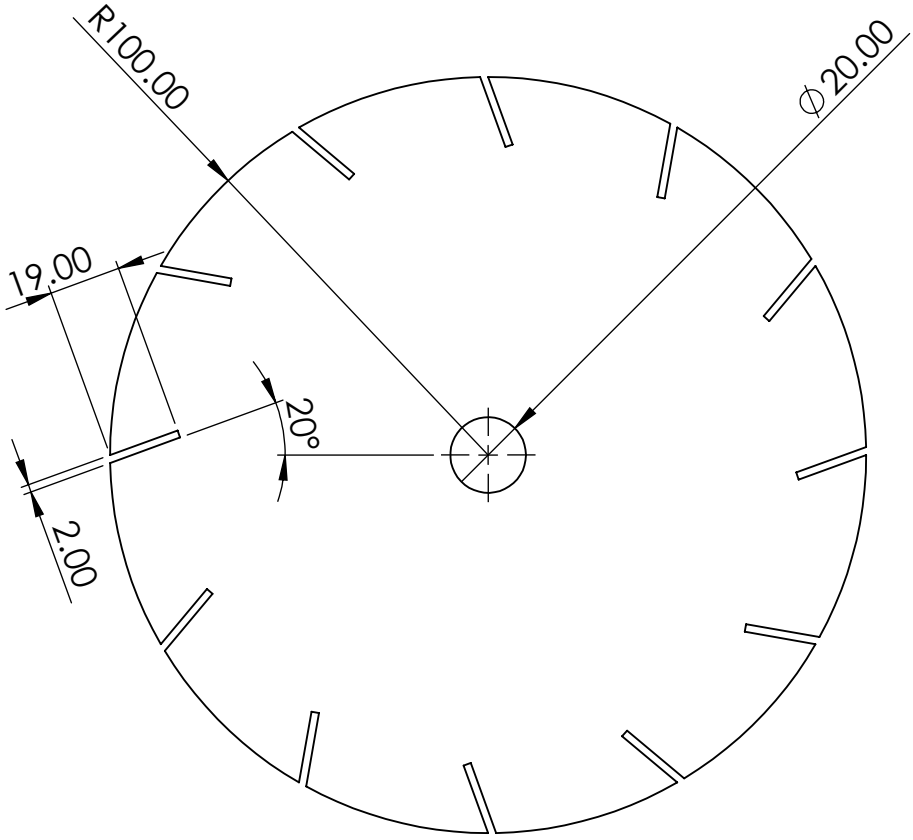
HOJA: 3

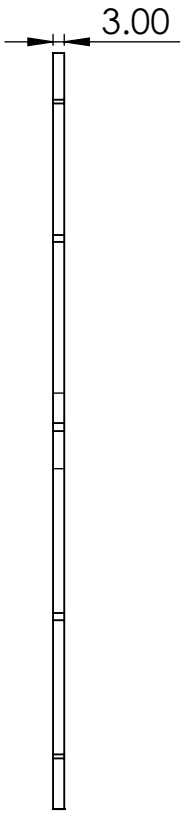




FICA	CIME	PROYECTO: Máquina deshierbadora manual			ESCALA: 1:1
		CONJUNTO: Eje de transmisión			
		CÓDIGO: MDM-023-03			
		MATERIAL: AISI 1020	DISEÑÓ: TERÁN JOSÉ	24/06/2026	HOJA: 4
		TRATAMIENTO: N/A	DIBUJÓ: TERÁN JOSÉ	24/06/2026	
		RECUBRIMIENTO: N/A	REVISÓ: ING. VALENCIA F.	24/06/2026	
		TOLERANCIAS: ± 0.1 mm	APROBÓ: ING. VALENCIA F.	24/06/2026	



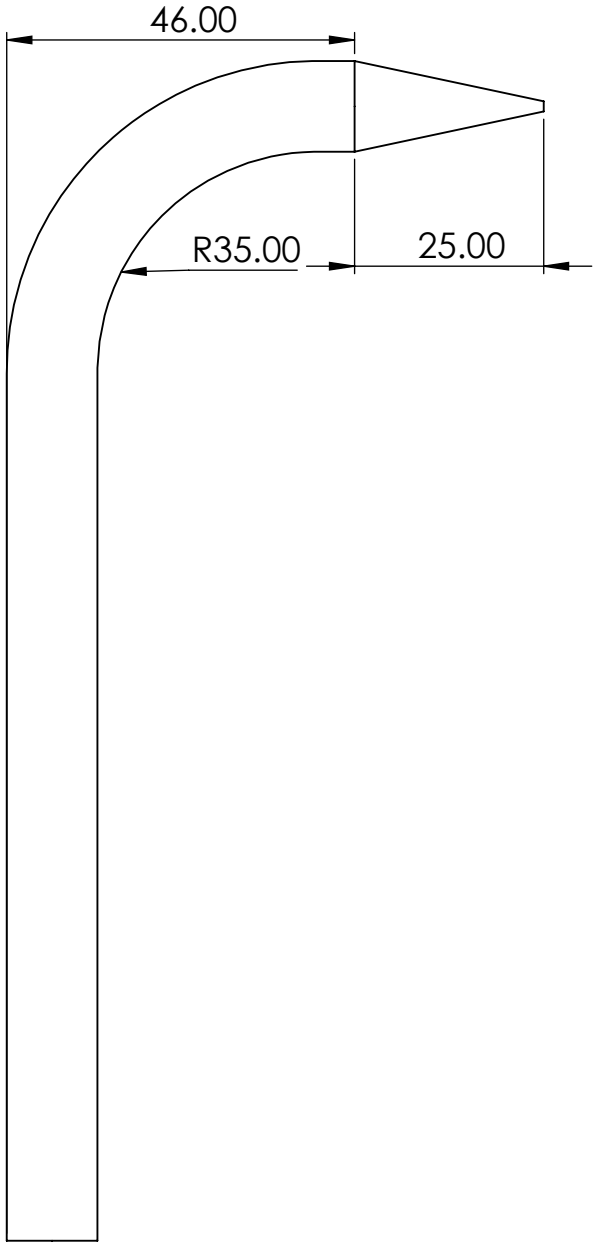


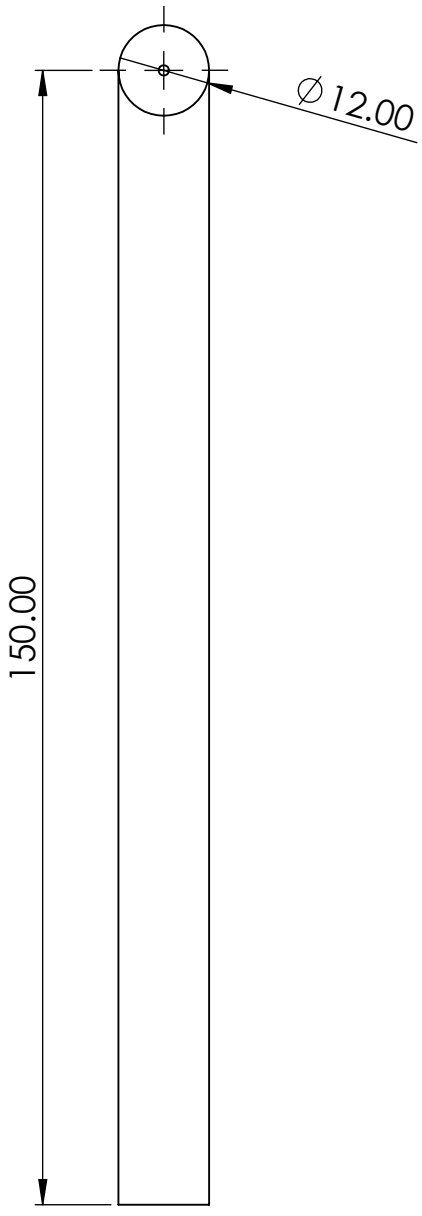


PROYECTO: Máquina deshierbadora manual					ESCALA: 1:2
CONJUNTO: Disco con ranuras					
CÓDIGO: MDM-023-04					
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	HOJA: 5
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	

FICA | **CIME**

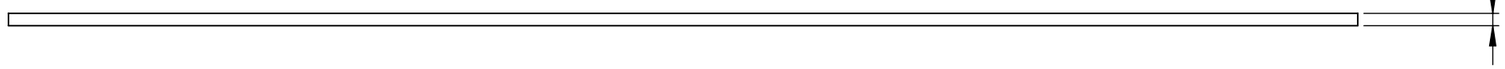


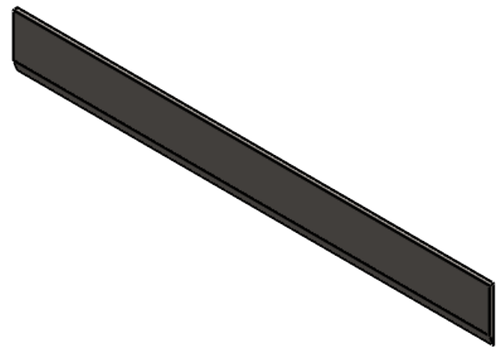


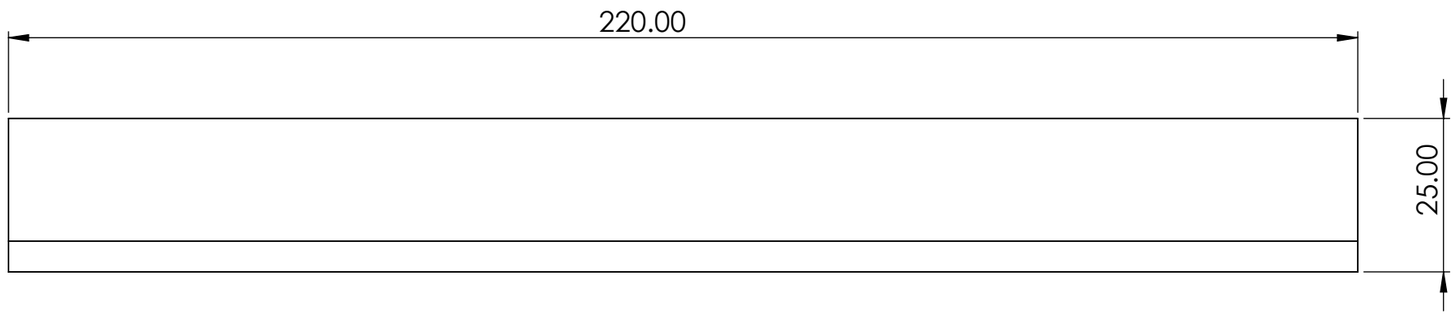


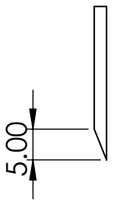
PROYECTO: Diseño de máquina					ESCALA: 1:1
CONJUNTO: Púa					
CÓDIGO: MDM-023-05					
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	HOJA: 6
TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	
RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	
CANTIDAD:	6	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	

FICA | CIME









FICA / CIME	PROYECTO: Máquina deshierbadora manual					ESCALA: 1:1
	CONJUNTO: Cuchilla					
	CÓDIGO: MDM-023-06					
	MATERIAL:	Acero 1045	DISEÑÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	HOJA: 7
	TRATAMIENTO:	N/A	DIBUJÓ:	TERÁN JOSÉ	24/06/2026	
	RECUBRIMIENTO:	N/A	REVISÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	
	CANTIDAD:	12	APROBÓ:	ING. VALENCIA F.	24/06/2026	