



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIERBADORA MECÁNICA PARA SIEMBRAS DE CICLO CORTO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

ALEJANDRA ELIZABETH ANALUISA OTAÑEZ
alejandra.analuisa@epn.edu.ec

JUAN ANDRÉS GRANJA ESCOLA
juan.granja01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. WILSON IVÁN GUACHAMIN ACERO, Ph.D.
wilson.guachamin@epn.edu.ec

Quito, junio 2021

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **ALEJANDRA ELIZABETH ANALUISA OTAÑEZ** y **JUAN ANDRÉS GRANJA ESCOLA**, bajo mi supervisión.

Ing. Wilson Guachamín, PhD

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Alejandra Elizabeth Analuisa Otañez**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Alejandra Elizabeth Analuisa Otañez

Yo, **Juan Andrés Granja Escola**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Juan Andrés Granja Escola

DEDICATORIA

Durante mi vida universitaria he atravesado problemas y obstáculos, que a pesar de sentirme derrotada, me permitieron desarrollar capacidades y habilidades que inicialmente no podía imaginar. Por este motivo dedico mi proyecto de titulación a mis padres Marco y Consuelo, a mi hermana Camila y a mi abuelita Carmen. Sé que para proyectos futuros cuento con ustedes.

Con amor Ale

“El fracaso es una gran oportunidad para empezar otra vez con más inteligencia”. Por siempre apoyarme, enseñarme e inculcarme valores y responsabilidades que día a día me hicieron la persona que soy, quiero dedicar mi proyecto de titulación a mis padres Juan Y Cecilia que sin su sabio consejo no habría podido culminar la carrera y nada hubiera sido posible, también quiero nombrar de manera especial a mis hermanos Karla y Joe que son mi ejemplo a seguir, además, de ser parte fundamental en mi vida siempre están para mí cuando los necesito.

Juan Andrés Granja Escola

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y al Niñito de Isinche por darme sabiduría y permitirme concluir mi carrera.

A mis padres, hermana y abuelita por ser un pilar fundamental en mi carrera profesional y gracias a su apoyo incondicional han impulsado en mí el afán de superación y éxito en la vida.

A mi director de tesis Wilson Guachamín, por la paciencia y el tiempo dedicado durante el desarrollo del proyecto.

A mi compañero de tesis y amigo de carrera Juanito, ya que sin su apoyo y dedicación nada de esto sería posible.

A Freddy Ordoñez mi primer tutor de carrera quien me aportó ideas y conocimientos para mejorar académicamente, y por siempre estar pendiente desde el inicio hasta el fin de mi tesis.

A Danny, Damis, Tony, Marquito, Vivi, Víc y Jeff con los que he compartido momentos inolvidables ya sea en las aulas de clases, en una cancha de fútbol o en las diversas actividades que se realizaba en la facultad.

Finalmente agradezco a mis amigos Daniel, Andrés y Gonza porque desde el momento que los conocí no dudaron de mis capacidades y me apoyaron y motivaron a seguir adelante y no darme por vencida ante ningún obstáculo.

Alejandra

Al culminar una etapa en la vida es importante agradecer a quienes han formado parte de ella, que han estado en las buenas y en las malas, que han sabido apoyar con palabras de aliento o acciones que hacen sentir bien a uno, como persona, como hijo, como hermano, como amigo, como estudiante y aunque creo que una página no es suficiente para agradecer todo lo que han hecho por mí, quiero empezar agradeciendo a Dios que me ha bendecido de tantas maneras.

“Cuando la gratitud es absoluta las palabras sobran” es por eso que quiero nombrar a toda mi familia en esta ocasión, agradecer por ser una piedra angular en la construcción de este gran logro.

“La vida es mejor cuando no la caminas solo” es por eso que siempre he ido acompañado de buenos amigos como María Fernanda quien ha estado presente en los buenos y malos momentos dejando una huella imborrable en mí, también mencionar a Marco, Ángel,

Carlos, Jefferson, Damián, Viviana que sin esperar nada a cambio me han enseñado el valor de una amistad verdadera. Quiero hacer mención especial a mi compañera de Tesis Ale que gracias a su perseverancia cumplimos una meta más y que en todo este tiempo de reuniones y desvelos hemos formado una buena amistad.

“Educar a una persona no es hacerle aprender algo que no sabía, sino hacer de él, alguien que no existía”. A lo largo de la carrera he conocido profesores que han marcado un antes y un después en mi pensamiento y formación, pero en esta ocasión quiero agradecer a mi tutor de tesis Wilson Guachamín que con su paciencia y dedicación supo guiarnos para desarrollar de manera correcta el proyecto.

Juan Andrés Granja Escola

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Alcance	2
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Cultivos de ciclo corto.....	4
1.2 Labranza y deshierbado	4
1.2.1 Labranza	4
1.2.2 Deshierbado	4
1.3 Suelo	5
1.3.1 Tipos de suelo	5
1.3.2 Resistencia del suelo.....	6
1.3.3 Comportamiento del suelo.....	6
1.4 Relación entre el suelo, la fuerza de arrastre.....	8
1.4.1 Fuerza de arrastre o tiro	8
1.5 Deshierbadora mecánica.....	9
1.5.1 Definición de deshierbadora mecánica	9
1.5.2 Elementos de una deshierbadora	10
1.5.3 Tipos de deshierbadoras	11
1.6 Benchmarking.....	15
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1 Determinación de las especificaciones técnicas de la máquina	19
2.1.1 Aspectos generales	19
2.1.2 Casa de la calidad	19
2.1.3 Especificaciones técnicas.....	22
2.2 Análisis y selección de alternativas.....	23
2.2.1 Estructura funcional y modular para el diseño de una deshierbadora	23
2.2.2 Principios de solución	25
2.2.3 Matriz morfológica de solución final	32
2.2.4 Solución virtual	33
2.3 Diseño mecánico	34
2.3.1 Cálculo de las cargas de diseño	34
2.3.2 Diseño del tornillo sinfín-corona.....	34

2.3.3	Diseño de ejes.....	41
2.3.4	Selección cuñas	51
2.3.5	Selección de rodamientos.....	53
2.3.6	Diseño de aperos	55
2.3.7	Diseño del acople del rotovalor	61
2.4	Construcción y montaje	62
2.4.1	Construcción.....	62
2.4.2	Proceso de construcción	63
2.4.3	Montaje.....	65
2.5	Protocolo de pruebas.....	67
2.5.1	Dimensiones globales y peso total de la máquina	67
2.5.2	Inspección de los elementos.....	68
2.5.3	Velocidad.....	68
2.5.4	Dimensiones del trabajo realizado por la deshierbadora mecánica.....	68
2.6	Análisis de costos	68
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
3.1	Resultados	72
3.2	Discusión.....	73
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
4.1	Conclusiones	74
4.2	Recomendaciones.....	75
	Referencias Bibliográficas	76
	Anexos	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Accionamiento	10
Figura 1.2. Cuchillas	10
Figura 1.3. Manceras	11
Figura 1.4. Motor	11
Figura 1.5. Motoguadaña	11
Figura 1.6. Ruedas deshierbadoras	12
Figura 1.7. Deshierbador tipo canasta	12
Figura 1.8. Deshierbador de dedos	13
Figura 1.9. Deshierbador de Torsión	13
Figura 1.10. Deshierbador con herramienta de cepillo	14
Figura 1.11. Herramienta con manipulación humana	14
Figura 1.12. Motoguadaña Supereli de 2 tiempos	15
Figura 1.13. Multimotor MM56	16
Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología	18
Figura 2.2. Nivel 0 de la estructura funcional y modular	23
Figura 2.3. Nivel 1 de la estructura funcional y modular	24
Figura 2.4. Motor motoguadaña SUPERELI de 2 tiempos	25
Figura 2.5. Sistema de control y aceleración SUPERELI de 2 tiempos	26
Figura 2.6. Sistema sin fin-corona	27
Figura 2.7. Sistema engranajes cónicos	28
Figura 2.8. Rotovator de suelos	30
Figura 2.9. Rotovator tipo caña de timón	30
Figura 2.10. Cubierta	32
Figura 2.11. Solución virtual	33
Figura 2.12. Geometría de la corona	35
Figura 2.13. Configuración del eje de entrada con sus componentes	41
Figura 2.14. Diagrama de cuerpo libre del eje sinfín	42
Figura 2.15. Configuración del eje de salida con sus componentes	48
Figura 2.16. Diagrama de cuerpo libre del eje de salida	49
Figura 2.17. Eje de salida con chaveta	51
Figura 2.18. Diagrama de cuerpo libre de la cuña	51
Figura 2.19. Eje hueco	55
Figura 2.20. Configuración de la cuchilla	57
Figura 2.21. Diagrama de cuerpo libre de la cuchilla	57
Figura 2.22. Diagrama de cuerpo libre del sujetador	59
Figura 2.23. Pasador	61
Figura 2.24. Cubo estriado	61
Figura 2.24. Montaje de elementos que constituyen la deshierbadora mecánica	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores típicos de cohesión y ángulo de fricción	7
Tabla 1.2 Valores típicos de adhesión y ángulo de fricción	8
Tabla 1.3. Características técnicas de Motoguadaña de 2 tiempos.....	15
Tabla 1.4. Características técnicas de Multimotor MM56	16
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas	22
Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de sistema sin fin -corona.....	27
Tabla 2.3 Ventajas y Desventajas de engranajes cónicos rectos.	28
Tabla 2.4. Conclusión de prioridades para el módulo 3.....	29
Tabla 2.5 Ventajas y Desventajas de rotovator de suelos.	30
Tabla 2.6 Ventajas y Desventajas de Rotovator tipo caña de timón.....	31
Tabla 2.7. Conclusión de prioridades para el módulo 4.....	31
Tabla 2.8. Matriz morfológica de solución final.....	33
Tabla 2.9. Parámetros de entrada de la motoguadaña.	34
Tabla 2.10. Valores para ángulo normal de presión.	36
Tabla 2.11. Resumen de parámetros del tornillo sinfin.	41
Tabla 2.12. Resumen de parámetros de la corona.	41
Tabla 2.13. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos del eje de entrada.	44
Tabla 2.14. Resumen de concentradores de esfuerzo del eje de entrada.....	48
Tabla 2.15. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos del eje de salida.....	50
Tabla 2.16. Resumen de concentradores de esfuerzo del eje de salida	51
Tabla 2.17. Característica de la cuña del eje de salida	53
Tabla 2.18. Especificaciones de rodamientos seleccionados para el eje de entrada.....	55
Tabla 2.19. Especificaciones de rodamientos seleccionados para el eje de salida.	55
Tabla 2.20. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos en la cuchilla.	58
Tabla 2.21. Lista de equipos, herramientas e instrumentos de medición.	62
Tabla 2.22. Lista de elementos normalizados y los elementos por construir.	63
Tabla 2.23. Lista de materia prima.....	63
Tabla 2.24. Proceso de fabricación.....	64
Tabla 2.25. Dimensiones generales de la deshierbadora.....	68
Tabla 2.26. Costo elementos normalizados Módulo 3.....	69
Tabla 2.27. Costo materia prima Módulo 3.	69
Tabla 2.28. Costo Mano de obra Módulo 3.	69
Tabla 2.29. Costo Total Módulo 3.	70
Tabla 2.30. Costo elementos normalizados Módulo 4.....	70
Tabla 2.31. Costo materia prima Módulo 4.	70
Tabla 2.32. Costo mano de obra Módulo 4.	70
Tabla 2.33. Costo Total Módulo 4.	70
Tabla 2.34. Costo elementos normalizados Módulo 5.....	71
Tabla 2.35. Costo materia prima Módulo 5.	71
Tabla 2.36. Costo mano de obra Módulo 5.	71
Tabla 2.37. Costo Total Módulo 5.	71
Tabla 2.38. Costo Total Máquina deshierbadora.....	71

RESUMEN

Este documento presenta el diseño y construcción de una deshierbadora mecánica para siembras de ciclo corto, para lo cual se efectuó una revisión bibliográfica acerca de los diferentes tipos de suelos y sus características. Esto se realizó para evaluar las fuerzas necesarias para el removimiento de la tierra que junto con los requerimientos del cliente se consideraron para la modificación de una motoguadaña SUPERELI de 2T. Con base a esto, se efectuó una selección de alternativas mediante el análisis funcional y modular. Se analizó en cinco módulos, para conocer a detalle, el funcionamiento de cada parte de la máquina. Los módulos 1(motor) y 2 (sistema de control y aceleración) vienen definidos por las especificaciones de la motoguadaña, y una vez obtenidas las diferentes alternativas en los módulos 3 (sistema de transmisión), 4 (sistema de arado) y 5 (sistema de protección). La opción más idónea, se seleccionó mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados. Posteriormente se estableció un diseño conceptual, se seleccionaron los materiales, se ejecutó el cálculo y diseño final de los elementos que conforman la deshierbadora y se presentan en planos de conjunto, subconjunto y de taller. Después, se estudió los costos para la construcción de la deshierbadora considerando los materiales y elementos normalizados, mano de obra, imprevistos y diseño. Finalmente, obtenidas las piezas fabricadas se procedió a realizar el montaje y las pruebas de funcionamiento ejecutadas en un terreno ubicado en Cocotog donde se verificó que la deshierbadora cumplió con el objetivo de remover las malas hierbas de los cultivos de ciclo corto.

Palabras clave: Diseño, construcción, deshierbadora, costos, montaje, siembras ciclo corto.

ABSTRACT

This document deals with the design and construction of a mechanical weeder for short cycle sowing, for which a literature review was conducted on the diverse types of soils and their characteristics. This was done to assess the forces necessary for soil removal, which, together with client requirements were considered for the modification of a 2T SUPERELLI motor-scythe. Based on this, a selection of alternatives was conducted using the development of a functional and modular analysis. It was analyzed in five modules, to know in detail, the operation of each part of the machine. Module 1 (engine) and 2 (control and acceleration system) are defined by the specifications of the motor-scythe, and once the different alternatives were obtained in modules 3 (transmission system), 4 (plow system) and 5 (protection system). The most suitable option was selected using the corrected ordinal method of weighted criteria. Subsequently, a conceptual design was established, materials were selected, the calculation and final design of the elements that make up the weeder were made and presented in assembly, subassembly, and workshop drawings. Afterwards, the costs for the construction of the weeder were studied considering the materials and standardized elements, labor, contingencies, and design. Finally, once the manufactured parts were obtained, the assembly and operation tests were conducted in a field located in Cocotog, where it was verified that the weeder fulfilled the objective of removing weeds from short cycle crops.

Keywords: Assembly, design, construction, costs, short cycle planting, weeder.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA DESHIERBADORA MECÁNICA PARA SIEMBRAS DE CICLO CORTO”

INTRODUCCIÓN

El actual ritmo de vida agitada en la zona agrícola ha venido causando múltiples lesiones físicas en los agricultores debido al uso excesivo de herramientas manuales, condiciones de las tierras (arenoso, arcilloso y franco) y largas jornadas laborales. A pesar de, se pueden reducir estas afectaciones de manera sencilla, gracias a las nuevas tecnologías que permiten diseñar maquinaria, que no solo ayude a retirar la mala hierba, sino que también reduzca el esfuerzo físico del agricultor por exposición a largas horas de trabajo.

En 2019 se realizó el último informe de producción agrícola donde el Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del Índice de Productividad Agrícola (IPA) [1], el cual señala que hubo un incremento de 0.58% con relación al año 2018 en cultivos de la costa, pero existe un aumento en menor medida de la producción en la región sierra, esto se debe entre otras a tres razones principales: la falta de maquinaria agrícola para la siembra y cosecha de los cultivos, el esfuerzo físico y tiempo necesario para obtener productos que sean de calidad, y los terrenos de topografía irregular en la región sierra.

Según García [2], existe un 1.27% de “Máquinas, aparatos y artefactos agrícolas, hortícolas o silvícolas, para la preparación o el trabajo del suelo o para el cultivo, rodillos para césped o terrenos de deporte” importadas en Ecuador, con esta afirmación se denota la escasez de este tipo de maquinaria para su adquisición, por lo que el agricultor al realizar el proceso de deshierbado en cultivos de ciclo corto con surcos de ancho variable se ve obligado al uso de azadones, palas, machetes, entre otros, provocando así, más tiempo de trabajo, incremento de recursos y mayor esfuerzo físico.

Martínez y Nájera [3], mencionan que para “eliminar o minimizar los procesos manuales en las actividades agrícolas”, disponen en el mercado motocultores que ayudan a la reducción del esfuerzo físico del agricultor, a la optimización de tiempo y al incremento de la producción.

Los motocultores cuentan con un sistema de acoplamiento para diferentes tipos de herramientas, López [4] muestra, dos tipos de arados, el vertedera y el rotatorio, este último permite realizar labranzas más eficaces y es económico, además de que reduce la

utilización de arados ordinarios, sin embargo los arados deben acoplarse a los terrenos ecuatorianos ya que estos son irregulares, y la mayor cantidad de cultivos de ciclo corto son desarrollados en laderas “hasta con más de 45% de pendiente y en un rango de altitud de 2.400 a 3.800 msnm en los pisos interandinos y subandinos”[5].

El agricultor debe lidiar constantemente con problemas que pueden afectar a sus sembríos y ocasionar pérdidas económicas y productivas; uno de los principales inconvenientes que debe afrontar el productor es el crecimiento de la hierba, que reduce la cantidad de nutrientes al cultivo, además de favorecer la permanencia y propagación de diferentes plagas.

Objetivo general

Diseñar y construir una deshierbadora mecánica para siembras de ciclo corto.

Objetivos específicos

- Definir alternativas conceptuales mediante investigación bibliográfica.
- Determinar las especificaciones técnicas de una deshierbadora a partir de una motoguadaña.
- Elaborar planos de conjunto, subconjunto y de taller de la máquina.
- Realizar un estudio de costos para la fabricación de la máquina.
- Ejecutar pruebas de campo para verificar su funcionalidad.

Alcance

La finalidad del desarrollo de este proyecto de titulación es presentar el diseño y construcción de una deshierbadora mecánica que permita la remoción de las malas hierbas mediante un apero deshierbador, cálculos y planos que ayuden a la construcción y selección de los elementos para su posterior ensamble y protocolo de pruebas.

Para la ejecución de este proyecto se cuenta con una motoguadaña, que, por pedido del cliente, debe ser convertida en un deshierbador. El presente trabajo no incluye ingeniería de mecánica de suelos, excepto el uso de formulaciones y propiedades mecánicas encontradas en literatura científica y textos de ingeniería.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo contiene una revisión bibliográfica de los parámetros sustanciales que intervienen en un análisis técnico, indispensables para el desarrollo del diseño de una máquina de deshierba para siembras de ciclo corto.

1.1 Cultivos de ciclo corto

La producción de alimentos se diversifica por tres tipos de cultivos, estos son: los perennes, los de ciclo intermedio y los de ciclo corto.

Los cultivos de ciclo corto (productos de la región sierra: maíz, frejol, arveja, papas, cebolla, zanahoria, tomate, entre otras) se identifican porque su ciclo de vida vegetativo esta entre los 60 a 180 días y una vez finalizado este proceso, es necesario volver a sembrar para una nueva producción [6].

1.2 Labranza y deshierbado

1.2.1 Labranza

La labranza constituye una serie de actividades que sirven para optimizar el entorno del suelo. Principalmente se enfoca en alterar las condiciones físicas y biológicas del suelo, como malezas, rocas e irregularidades que intervienen en el desarrollo de las plantas [7]. Con la labranza se busca conseguir la optimización del suelo con los siguientes beneficios [8]:

- Ayudar al transporte de agua y aire para proveer un buen desarrollo de los cultivos.
- Formar espacios adecuados de aflojamiento del suelo para que brote la semilla.
- Controlar las malezas, ya que estas compiten por los nutrientes con los sembríos.
- Eliminar las plagas que se encuentran en el cultivo.
- Incorporar residuos vegetales y fertilizantes orgánicos que ayudan a promover la actividad bacteriana y orgánica.

1.2.2 Deshierbado

La eliminación de malezas no es solo un requisito estético para los cultivos, sino también un requisito para el buen desarrollo de los mismos. Las hierbas crecen a partir de semillas

y echan raíces donde germinan. Se adaptan a las condiciones de la tierra, cuando las malas hierbas brotan junto a la planta cultivada, la mayoría de las veces está mejor equipada para aprovechar los minerales de suelo.

Las malas hierbas compiten con los cultivos ya que inhiben elementos minerales del entorno de cultivo, en consecuencia, las malas hierbas tienen una excelente alimentación, por lo que crecen mejor y quitan la luz a las plantas; por lo tanto, es necesario deshierbar hasta que el cultivo tenga la resistencia suficiente para ganar la competencia con las malas hierbas [9].

Control de maleza

Para el control de malezas es importante el acoplamiento de trabajos mecánicos y la utilización de productos químicos como herbicidas [9].

La preparación previa del entorno de cultivo es una actividad eficaz que ayuda a prevenir el problema que producen las malas hierbas. Es necesario realizar el control de maleza antes de que se formen las semillas, ya que arrancarlas reduce en gran medida los problemas que las malas hierbas causan en los cultivos [10].

1.3 Suelo

Los cambios climáticos, material volcánico y a la situación geográfica, combinado, con procesos biológicos, físicos y químicos, forman el suelo [11].

1.3.1 Tipos de suelo

Los principales tipos de suelos de la sierra ecuatoriana son [12]:

- Arenoso: La característica principal es que representa el 70% de la fracción sólida del suelo. Pueden contener texturas arenosas y arenosas francas.
- Arcilloso: Contiene entre 35% y 40% de arcilla. En este grupo las texturas típicas son: arcilloso arenosa, arcilloso limosa y arcillosas.
- Franco: Es un suelo ideal y comprende una mezcla de propiedades en fracciones iguales de arena, limo y arcilla. Existe en este grupo 6 clases de texturas, y la mayoría de los suelos de calidad agrícola habitualmente corresponde a este grupo de textura.

1.3.2 Resistencia del suelo

La resistencia a la deformación por compresión se interpreta como la resistencia mecánica del suelo, esta se forma a partir de dos componentes: la resistencia cohesiva y la resistencia de fricción, las cuales dependen de varios factores como el contenido de humedad, la cantidad de los agregados, la dimensión de las partículas y la calidad de consolidación [13].

Los suelos tienen cuatro estados físicos:

- Sólido o cementado: Posee una alta resistencia a la deformación.
- Sólido elástico o friable: Tiene un rango elástico mucho más amplio, proporcional a la carga aplicada.
- Plástico: Se caracteriza porque la deformación plástica, depende de la duración y de la magnitud de la carga aplicada.
- Líquido viscoso: Se caracteriza porque tiene una elevada humedad.

1.3.3 Comportamiento del suelo

Desde un punto de vista mecánico, es importante establecer la fuerza de corte el suelo y fuerza de compresión. El suelo presenta una alta resistencia a la compresión en sus límites, sin embargo, apenas puede soportar los esfuerzos de tracción, por lo que a menudo cede debido a los esfuerzos cortantes.

El hundimiento del suelo como resultado del cultivo depende de los parámetros de resistencia de las superficies de hundimiento, incluidas la superficie de suelo y la superficie metal convencional.

Propiedades físicas y mecánicas del suelo

Los principales propiedades del suelo son [13]:

- Cohesión
- Fricción suelo/suelo determinado en términos del ángulo de fricción interna
- Densidad en masa del suelo

La resistencia máxima al corte del suelo depende de los parámetros de cohesión y fricción del suelo y se cuantifica mediante la ecuación de Micklethwaite, ver Ec. (1.1), que representa la ecuación de Coulomb en términos de fuerza. Se expresa analíticamente por la Ec. (1.4).

$$H_{m\acute{a}x} = cA + Qtan\phi \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

$H_{m\acute{a}x}$ = Fuerza de corte máxima, [N]

c = Cohesión del suelo, [N/m²]

A = Superficie de falla, [m²]

Q = Carga normal en la superficie, [N]

ϕ = ngulo de fricción interna suelo/suelo

Además

$$\sigma A = Q \quad \text{Ec. (1.2)}$$

$$H_{m\acute{a}x} = \tau_{m\acute{a}x}A \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Entonces:

$$\tau_{m\acute{a}x} = c + \sigma tan\phi \quad \text{Ec. (1.4)}$$

En donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$ = Máximo esfuerzo de corte, [MPa]

σ = Esfuerzo normal en la superficie de falla, [MPa]

En la Tabla 1.1 se indican valores característicos de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

Tabla 1.1 Valores tpicos de cohesión y ángulo de fricción

Tipo de suelo	Tamaño tpico de partículas (mm)	Estado	ngulo de fricción	Cohesión (kN/m ²)
Arena con partículas medianas	1,1	Compactado	38°-40°	0
		Suelto	32°-35°	0
Arena fina con materia orgánica	0,5-0,8	Compactado	25°-30°	0
		suelto	18°-22°	0
Franco arenoso	0,02-0,2	Friable Plástico	24°-28°	20-25
			24°-28°	10-15
Franco	0,01	Friable Plástico	22°-26°	25-30
			15°-19°	15-20
Arcilloso	0,002	Friable Plástico	17°-19°	40-60
			10°-14°	25-30

(Fuente: J. E. Ashburner y B. G. Sims, Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza)

Principales parámetros suelo/interfaz

Los principales parámetros son los siguientes [13]:

- Adhesión
- Fricción suelo/interfaz, determinado en términos del ángulo de fricción suelo/interfaz

Las herramientas de deshierba funcionan deslizando por la superficie y, como resultado, se estudia el esfuerzo y la fuerza de deslizamiento en la interfaz suelo/metal, en donde se usa la ecuación de Coulomb Ec. (1.5), y se puede observar una diferencia entre la interfaz de adhesión y el ángulo de fricción suelo/interfaz.

$$\tau'_{m\acute{a}x} = c_{\alpha} + \sigma \tan \delta \quad \text{Ec. (1.5)}$$

Donde:

c_{α} = Adhesión

δ = Ángulo de fricción suelo/metal

En la Tabla 1.2 se indican valores típicos de adhesión y ángulo de fricción.

Tabla 1.2 Valores típicos de adhesión y ángulo de fricción

Adhesión c_{α}	Ángulo de fricción suelo/interfaz
Insignificante en la mayoría de los casos	Superficie pulida 5°
Arcillas plásticas con alta humedad 10-30 (kN/m ²)	Superficie limpia 5° a 15° Superficie oxidada 15° a 25°

(Fuente: J. E. Ashburner y B. G. Sims, Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza)

1.4 Relación entre el suelo, la fuerza de arrastre

1.4.1 Fuerza de arrastre o tiro

Se conoce como fuerza de tiro a la fuerza que necesita una herramienta de deshierba que se localiza adentro del suelo para remover la tierra [14], se puede representar mediante la Ec. (1.6):

$$k = \frac{D}{ab} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

k = Resistencia específica del suelo, [N/cm²] o [lbf/in²]

D = Fuerza de tiro, [N] o [lbf]

a = Profundidad de trabajo, [cm] o [in]

b = Ancho de trabajo, [cm] o [in]

Para calcular la fuerza de tiro D se expresa la Ec. (1.7):

$$D = F_i[A + B(s) + C(s)^2]WT \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Donde:

D = Fuerza de tiro del implemento, [N] o [lbf]

F = Parámetro adimensional de ajuste de la textura del suelo, (ANEXO I)

A, B, C = Parámetros específicos de la máquina, (ANEXO I)

s = Velocidad en campo, [km/h] o [mi/h]

W = Ancho de la herramienta, [m] o [pies]

T = Profundidad de labranza, [cm] o [in] para herramientas principales, 1 (adimensional) para herramientas de labranza menores e implementos de siembra.

Consideraciones:

$i = 1, 2, 3$ para suelos de textura fina, mediana y gruesa respectivamente

Es necesario tomar en cuenta todos los parámetros mencionados anteriormente, considerando el diseño de la máquina para el buen desarrollo y el cumplimiento adecuado con las actividades de deshierbado.

El equipo planteado en este trabajo de titulación toma el nombre de deshierbadora mecánica y se enfoca a sembríos de ciclo corto.

1.5 Deshierbadora mecánica

1.5.1 Definición de deshierbadora mecánica

Iturri & Pérez de Larraya, indican que, la deshierbadora es una máquina que ayuda a eliminar la vegetación no deseada o conocida también como “mala hierba”. Sus

características dependen del tipo de maleza a eliminar, y de las condiciones del terreno en las que se desarrolla el trabajo [15].

Según la descripción general para rotocultivadores-rotocultor, la velocidad a la que giran las cuchillas para que puedan realizar el trabajo de deshierbe y remoción de tierra oscila entre 50 y 300 rpm [16].

1.5.2 Elementos de una deshierbadora

Los componentes de la deshierbadora se determinan con base en los requerimientos del cliente según se especifica en el alcance del proyecto, es decir se dispone de una motoguadaña y se requiere una deshierbadora portátil.

Estos elementos son:

- 1) Accionamiento: El controlador se puede maniobrar mientras se conduce, esto permite que la herramienta funcione de acuerdo a la potencia del motor (Ver Figura 1.1).



Figura 1.1. Accionamiento
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

- 2) Cuchillas: Remueve el suelo de manera extremadamente eficiente con una acción de excavación optimizada; con el juego de cuchillas permite el ajuste variable del ancho de trabajo[18]. (Ver Figura 1.2)



Figura 1.2. Cuchillas
(Fuente: Supereli, Ruedas deshierbadora)

- 3) Manceras: Estructura metálica que permite un manejo fácil y seguro, en este están todos los elementos de mando que controlan el equipo y en una sola mano. (Ver Figura 1.3).



Figura 1.3. Manceras
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

- 4) Motor: Genera la potencia ideal para trabajos de labranza o deshierba. Se caracterizan por ser motores de un cilindro de combustión interna (gasolina o diésel) [3]. (Ver Figura 1.4)



Figura 1.4. Motor
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

1.5.3 Tipos de deshierbadoras

Existen dos grandes grupos: las portátiles y las que requieren de la fuerza de un tractor o motocultor.

1.5.2.1 Deshierbadoras portátiles

Son equipos con un peso de hasta 14kg. Facilitan su manejo ya que las cargas están equilibradas a un largo brazo, y se utiliza enganchado a un cinturón que se mantiene sujeta a hombros y espalda como se indica en la figura 1.5 [15].



Figura 1.5. Motoguadaña
(Fuente: Supereli, Ruedas deshierbadora)

Estas máquinas cuentan con una gama diversa de accesorios de ruedas deshierbadora, para cortar la maleza (Ver Figura 1.6).



Figura 1.6. Ruedas deshierbadoras
(Fuente: Supereli, Ruedas deshierbadora)

1.5.2.2 Deshierbadoras que requieren de fuerza

La característica principal de estas máquinas es que están ensambladas a un tractor o motocultor.

Existen varios tipos de deshierbadoras, estas son:

1) Deshierbador de canasta (ver Figura 1.7)

Debido a que el movimiento de la herramienta es asistido por el rozamiento del suelo, no hay necesidad de energía eléctrica para mover el apero (canasta). Tiene una velocidad entre 6.4 a 12.9 km/h y elimina la mala hierba que se encuentra en la parte superior del suelo [20].

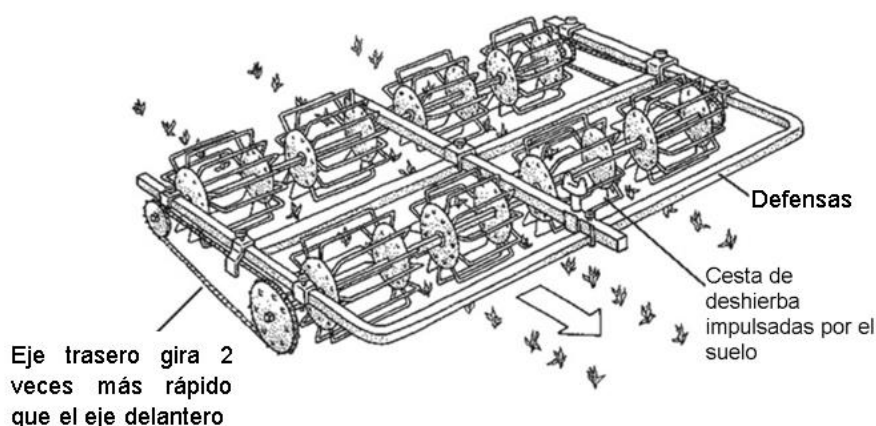


Figura 1.7. Deshierbador tipo canasta
(Fuente: S. L. Young y F. J. Pierce, Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems)

2) Deshierbador de dedos [20] (ver Figura 1.8)

La característica distintiva es que tiene puntas de caucho idénticas que se unen a un disco de acero y se distribuyen en un ángulo específico. La principal función de los “dedos” es penetrar en el suelo para remover pequeñas malezas.

Este equipo trabaja tanto en superficies blandas como duras; el diseño de la herramienta es ideal para deshacerse de las malas hierbas con una velocidad de 4.8 a 9.7 km/h.



Figura 1.8. Deshierbador de dedos

(Fuente: S. L. Young y F. J. Pierce, Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems)

3) Deshierbador de Torsión (ver Figura 1.9)

Presenta un marco rígido cuyos vértices de resorte son acoplados e inclinados, la característica de estas dos puntas es que están paralelas al suelo y junto a la línea del cultivo. Esta herramienta permite eliminar entre el 60 a 80% de la maleza y requiere una baja velocidad de operación [20].



Figura 1.9. Deshierbador de Torsión

(Fuente: S. L. Young y F. J. Pierce, Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems)

4) Deshierbador de cepillo [20] (ver Figura 1.10)

Poseen herramientas flexibles en base a fibra de vidrio y giradas alrededor de los ejes vertical y horizontal. La herramienta es utilizada a través de potencia hidráulica

del tractor. Los cepillos extraen no solo la mala hierba sino también que las sepulta y las arranca.

Esta máquina trabaja en rango de velocidad de 1.93 km/h y a velocidad angular de 240 a 360 rpm.

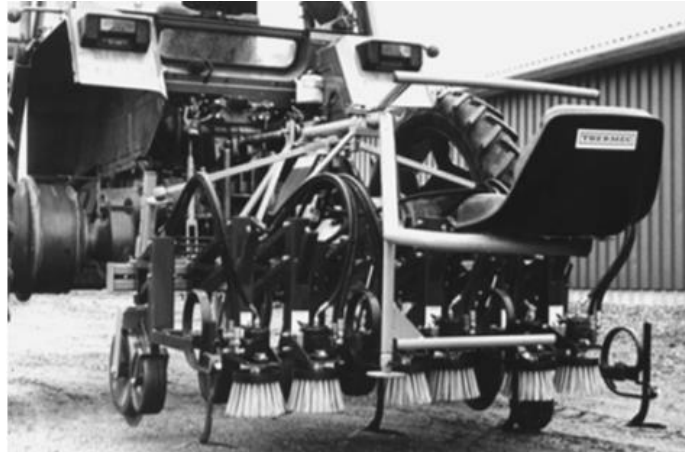


Figura 1.10. Deshierbador con herramienta de cepillo.
(Fuente: S. L. Young y F. J. Pierce, Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems)

5) Eco-weeder (ver Figura 1.11)

Su principal característica es que no requiere de potencia hidráulica y la herramienta es mecánicamente accionada por un humano, pero halada por un tractor [20].

Trabaja a una velocidad entre 0.80 a 2.41 km/h y una velocidad de giro entre 150 a 300 rpm.



Figura 1.11. Herramienta con manipulación humana.
(Fuente: S. L. Young y F. J. Pierce, Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems)

1.6 Benchmarking

Consiste en definir los mejores sistemas y componentes de productos, en función de modelos previamente realizados por otras personas o empresas. Al realizar este proceso se considera las mejores características de los siguientes equipos:

- **Motoguadaña Supereli de 2 tiempos:** Máquina portátil que permite el fácil acoplamiento de multiherramientas de deshierba (Ver Figura 1.12), además, cuenta con características técnicas señaladas en la tabla 1.3.



Figura 1.12. Motoguadaña Supereli de 2 tiempos.
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

Tabla 1.3. Características técnicas de Motoguadaña de 2 tiempos

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Motor	1E40F-F
Combustible	Mezcla gasolina y aceite 2 tiempos
Potencia	2.5 hp
Desplazamiento del motor	52 cc
Carburador	Tipo de diafragma
Método de inicio	Manual con retráctil
Capacidad del tanque de combustible	1.2 L
Proporción de combustible y lubricante	25:1
Precio	300 USD
Accesorios	Ruedas deshierbadoras

(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

- **Multimotor MM56:** Máquina que ofrece flexibilidad para realizar múltiples trabajos de campo, con diversas herramientas, (Ver Figura 1.13), asimismo, cuenta con características técnicas señaladas en la tabla 1.4.



Figura 1.13. Multimotor MM56
 (Fuente: Stihl, Multimotor MM 56)

Tabla 1.4. Características técnicas de Multimotor MM56

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Motor	STIHL 2-MIX
Potencia	1.2 Hp/ 0.85 kW
Cilindrada	27.2 cm ³
Peso	8.3 kg
Depósito de combustible	0.34 L
Precio	520 USD

(Fuente: Stihl, Multimotor MM 56)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Como primera instancia en el capítulo 1, se realiza la revisión bibliográfica detallada acerca de los diferentes tipos de suelos y sus características con la finalidad de determinar una aproximación de la fuerza necesaria para el removimiento de la tierra, además, se revisó los distintos modelos de deshierbadoras existentes en el mercado (paso 1), posteriormente en el capítulo 2, se analiza los requerimientos técnicos de potenciales clientes o usuarios y los criterios definidos por el ingeniero (paso 2) incluyendo normativas, artículos técnicos, artículos científicos de maquinaria similar que permita detallar las especificaciones técnicas (paso 3) del equipo por medio de la casa de la calidad que se desarrolla en el apartado 2.1.2 (paso 4).

Después de haber definido las especificaciones de la máquina, se debe realizar un análisis y selección de alternativas, que se desarrolla en la sección 2.2, mediante esto se realiza un análisis funcional y modular con el fin de conocer a detalle el funcionamiento de cada parte de la máquina (paso 5).

Una vez obtenido las diferentes alternativas para cada módulo (paso 6), se selecciona la opción más idónea, por medio del método ordinal corregido de criterios ponderados (paso 7), con el objetivo de plantear una solución virtual con la ayuda de un software CAD, mostrada en el apartado 2.2.4 (paso 8), en caso de no cumplir con los requerimientos del usuario se realiza una nueva solución virtual, caso contrario se procede a realizar el cálculo y selección de elementos que constituyen el equipo (paso 9), previo a la obtención de un diseño óptimo (paso 10), el cual se presentará en planos de conjunto, subconjunto y de taller, para luego continuar con la construcción de la deshierbadora (paso 11) y ejecutar el montaje (paso 12), conjuntamente con el análisis de costos (paso 13) para finalmente realizar un protocolo de pruebas en el campo y verificar el correcto funcionamiento de la deshierbadora (paso 14).

En la Figura 2.1 se representa un diagrama de flujo que describe la metodología propuesta para el desarrollo del deshierbador.

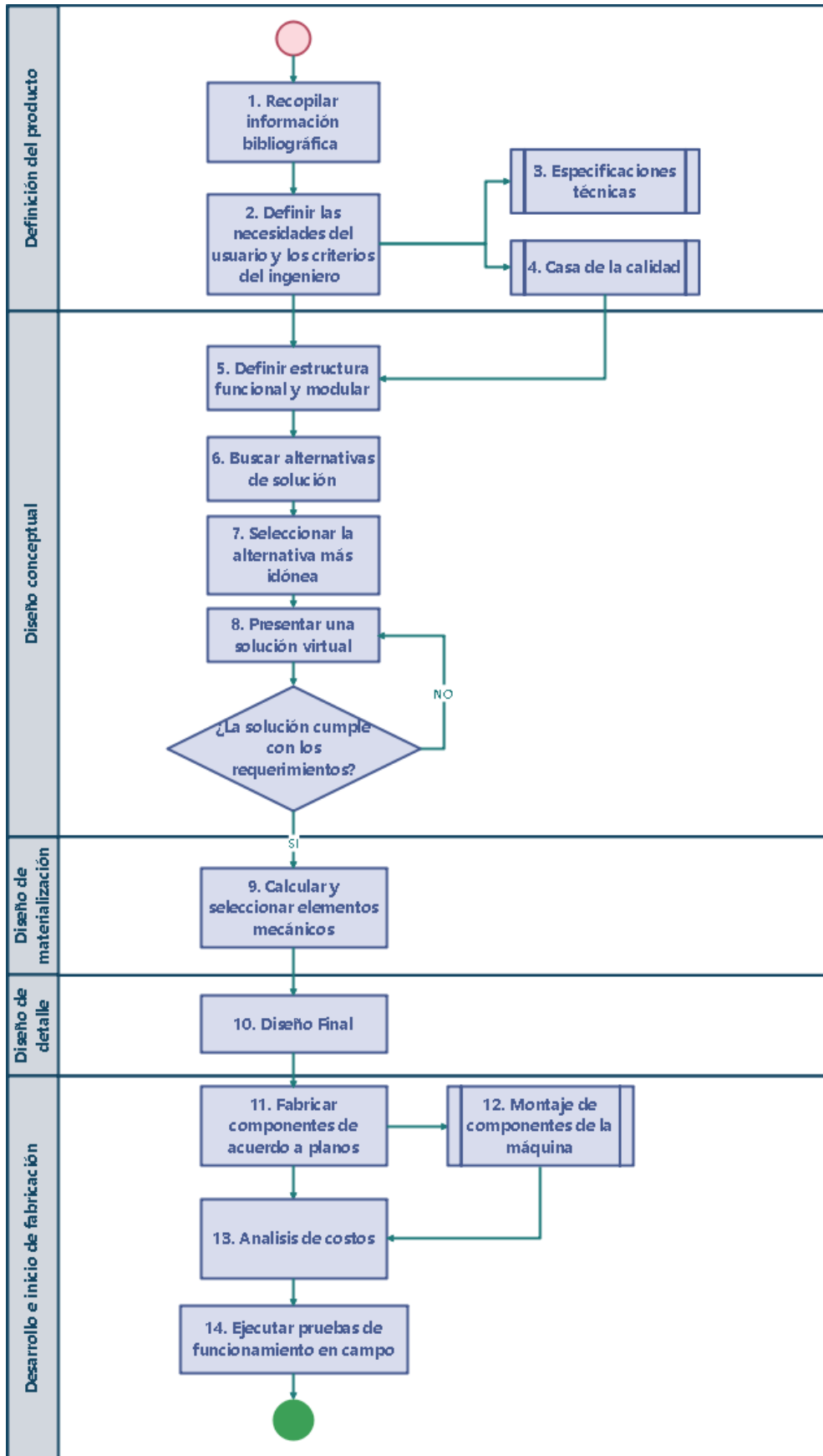


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología.
(Fuente: Propia)

2.1 Determinación de las especificaciones técnicas de la máquina

2.1.1 Aspectos generales

El diseño que se propone implementar para el presente trabajo de titulación busca satisfacer la necesidad de los agricultores, cumpliendo los requisitos de procesos de deshierba del suelo, seguridad y ergonomía para aplicaciones en minifundios o recreación. Se toma como base los diferentes diseños existentes en el mercado con el propósito de adaptarse a los requerimientos del cliente y condiciones del suelo.

2.1.2 Casa de la calidad

La determinación de las especificaciones técnicas del equipo se realiza bajo los criterios de la casa de la calidad, misma que parte de la herramienta de despliegue de la función de la calidad destinada a plasmar los requerimientos y aspiraciones que tiene el usuario hacia el producto y que estos puedan ser interpretados por el diseñador e inmiscuirlos en la etapa de diseño.

CONSIDERACIONES PREVIAS A SU ELABORACIÓN:

En función del diseño que se propone elaborar, se plantea:

- El papel de la voz del usuario la cumplirá el Ing. Wilson Guachamín interesado en la realización de este producto y la hace a partir de las especificaciones técnicas de la motoguadaña SUPERELI BS520.
- Al no contar con un producto previo la calificación del grado del cumplimiento actual será evaluado con el valor de 20/20 equivalente a uno.
- Para la evaluación técnica, análisis de competencia, factor de venta y los criterios de la voz del ingeniero se toma en cuenta la relación entre variables y cuanto influye una sobre la otra de manera directa, parcial o nula.

VOZ DEL USUARIO:

De acuerdo con las necesidades que manifestó el usuario se tiene:

- Fácil de montar
- Fácil de usar
- Barato
- Resistente a impactos con piedras
- Que proteja las plantas de ciclo corto

- Cuchillas duraderas que no pierdan el filo
- Fácil cuidado y conservación
- Liviano

VOZ DEL INGENIERO:

Los deseos y requerimientos que el usuario espera sobre el producto son traducidos en aspectos técnicos del diseño a través de la voz del ingeniero.

- Adaptable
- Fácil dominio
- Precio
- Materiales resistentes
- Regulable
- Calidad de cuchillas
- Mantenimiento
- Peso

CONCLUSIONES CASA CALIDAD:

La casa de la calidad (ver ANEXO II) ha aportado información de gran valor, en donde destacan características técnicas clave que responden en gran medida a las necesidades y demandas del cliente. Por lo tanto, los requerimientos técnicos más relevantes que se pudieron obtener son:

La Casa de la Calidad (ver ANEXO II) ha aportado información de gran valor, destacando características técnicas clave que responden en gran medida a las necesidades y demandas del cliente.

- Adaptable (Unidimensional)

Para lograr tener un buen montaje de la herramienta (apero), se espera satisfacer al usuario, brindándole una facilidad de ensamble entre el apero y la motoguadaña.

- Fácil dominio (Básica)

Dependiendo del tiempo que le lleve al usuario y operador de la máquina, llegar a las condiciones precisas para poner a funcionar la deshierbadora.

- Precio (Unidimensional)

Debido a que el modelo propuesto presenta varios parámetros importantes para su fabricación, como, el uso de materiales normalizados de alta calidad, elementos mecánicos que permitan el funcionamiento, entre otros, se estima que el precio debe ser de al menos \$300.

- Materiales resistentes (Básica)

La estructura debe ser suficientemente capaz para soportar fuerzas de impacto, por lo tanto, el material debe ser de buena calidad y con las mejores propiedades mecánicas.

- Regulable (Estimulante)

Se debe enfocar en la distancia entre las cuchillas para que estas no afecten a los sembríos de ciclo corto, como de igual manera el eje principal de giro que tenga un acople seguro con los demás elementos garantizando un ajuste estable en toda la máquina.

- Calidad de las cuchillas (Unidimensional)

Se espera que el acabado superficial de las cuchillas sea de buena calidad, de tal manera, que duren un tiempo más prolongado durante su uso.

- Mantenimiento (Básica)

Se propone utilizar materiales que garanticen un correcto desempeño y de esta forma reducir el mantenimiento correctivo del deshierbador.

- Peso (Básica)

La ventaja de usar un modelo transformable permitirá reducir elementos mecánicos, de esta manera se tendrá una disminución en el peso de la máquina.

Como se puede ver, los parámetros expuestos están relacionados con ciertos aspectos que, dentro del diseño del apero, son sustanciales ya que, al analizar la competencia, el resultado indica el 49.3%, enfocándose en tres puntos que en orden de importancia son: cuchillas duraderas, resistentes a impactos y baratas.

Mientras que, por el punto de vista técnico; se desprenden cuatro puntos que indican el 43.7% de mejoras del producto y que según importancia son: Fácil de cuidado y conservación, liviano, fácil de usar y que proteja a la planta de ciclo corto.

2.1.3 Especificaciones técnicas

De acuerdo con los resultados obtenidos con la casa de la calidad se establecen las especificaciones de la máquina:

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas

Empresa cliente:		Producto:		Fecha inicial: 29/08/2021
Empresa de ingeniería:		Deshierbadora Mecánica		Última revisión:
EPN				Página 1/1
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	29/08/2021	C+I	R	Uso en trabajos de huertos en siembras de ciclo corto (1000 - 1500m ²)
		I	R	Uso de apero deshierbador
Movimientos	29/08/2021	I	D	Eje de transmisión en el tubo rígido
		C+I	R	Velocidad máxima 3 km/h
Materiales	29/08/2021	C+I	R	Acero*.
Vida útil y Mantenimiento	29/08/2021	C+I	D	De fácil ensamble y desmontaje para mantenimiento.
		I	R	Soportar condiciones climáticas
Dimensiones	29/08/2021	C+I	D	Dimensiones: 269x220x97 mm
		I	D	Peso: 10 kg
Energía	29/08/2021	I	R	Potencia: 2.5 hp
		I	R	Combustible: Gasolina
		I	R	Arranque: Manual
Costes	29/08/2021	C+I	D	Presupuesto**

*este valor será especificado según los avances,

**este requerimiento no ha sido especificado por el contratante.

Propone: C: Cliente; I: Ingeniería

R/D: R: Requerimiento; D: Deseo; MR: Modificación de requerimiento
(Fuente: Propia)

2.2 Análisis y selección de alternativas

2.2.1 Estructura funcional y modular para el diseño de una deshierbadora

Estructura funcional

Para seguir con el criterio de diseño, se aplica el concepto de función, la cual consiste en una formulación ideal de una tarea, el producto a diseñar cumple con una función en específico que se denomina función global y se puede asemejar a una caja negra que corresponde a flujos de entrada y salida, pero es necesario dividir la función global en subfunciones.

La representación de estas subfunciones de igual manera con entradas y salidas correspondientes, así como las relaciones que existen se designan como estructura funcional [22].

Estructura modular

Son aquellos que materializan a las funciones del producto, además de facilitar la aplicación a una interface de conexión, a los flujos de señales, energía y materiales con el entorno [22].

Nivel 0

En la figura 2.2 se puede apreciar la representación de la función global del sistema.

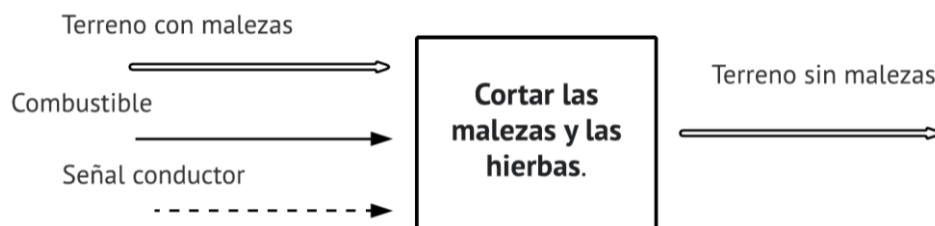


Figura 2.2. Nivel 0 de la estructura funcional y modular.
(Fuente: Propia)

Nivel 1

Como se puede observar en la figura 2.3 en el sistema se pueden definir 5 módulos principales.

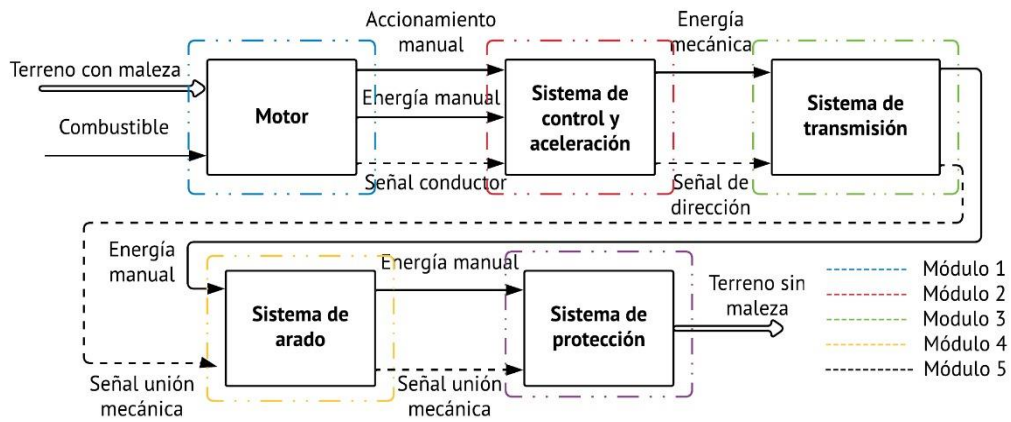


Figura 2.3. Nivel 1 de la estructura funcional y modular.
(Fuente: Propia)

Nivel 2

En la Figura 2.4 se indican las subfunciones que ayudan a complementar la función global del sistema para tener una idea más clara e la estructura funcional.

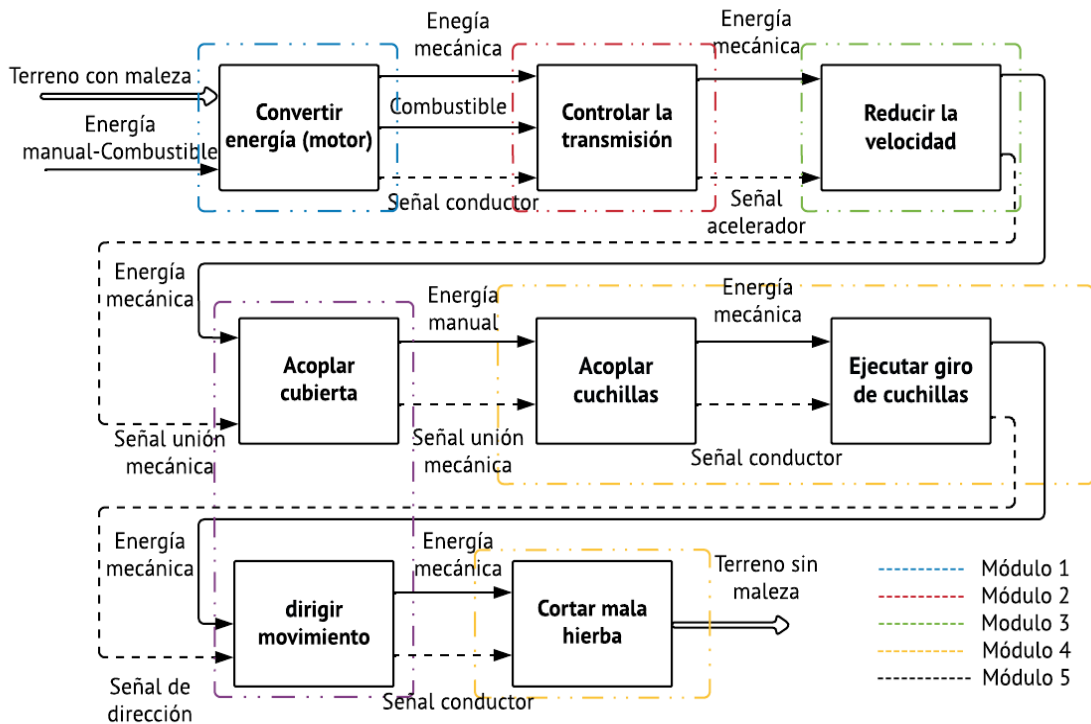


Figura 2.4. Nivel 2 de la estructura funcional y modular.
(Fuente: Propia)

2.2.2 Principios de solución

Una vez que se realiza el análisis funcional y modular quedan definidos los módulos principales que conforman el sistema los cuales permiten cumplir con la función global del producto. Los cinco módulos son:

- Motor
- Sistema de control y aceleración
- Sistema de transmisión
- Sistema de arado
- Sistema de protección a la planta

Además, para cada módulo se añaden subfunciones debido a su complejidad para las que se realiza una posible solución, así se obtiene diferentes alternativas para cada uno de los módulos definidos, sin embargo, el módulo 1 y 2 se encuentran establecidos de acuerdo a las especificaciones de la motoguadaña disponible, por lo que el análisis se limita a los módulos 3, 4 y 5.

Módulo 1: Motor

Según el diagrama de estructura funcional y modular, el módulo 1 se encuentra establecido de acuerdo a las especificaciones de la motoguadaña.



Figura 2.5. Motor motoguadaña SUPERELI de 2 tiempos.
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

Módulo 2: Sistema de control y aceleración

Según el diagrama de estructura funcional y modular, el módulo 2 se encuentra establecido de acuerdo a las especificaciones de la motoguadaña.



Figura 2.6. Sistema de control y aceleración SUPERELI de 2 tiempos.
(Fuente: Supereli, Motoguadaña de 2 tiempos)

Módulo 3: Sistema de transmisión

Según el diagrama de estructura funcional y modular, el módulo 3 tiene la siguiente subfunción:

- Transformar movimiento y reducir la velocidad

El sistema de transmisión posee una carcasa que es la encargada de proteger todo el sistema, por eso debe ser fabricada con materiales resistentes y de fácil accesibilidad en el mercado. Además de ser una estructura resistente debe ser adaptable a la motoguadaña.

Para la elaboración de carcasas que resistan choques de impacto se utilizan materiales como:

Aleaciones de aluminio (Aleación 6061), son materiales no ferrosos que se caracterizan principalmente por su ligereza, buena resistencia mecánica, alta resistencia a la corrosión además de su fácil mecanizado, un punto de fusión relativamente bajo y la principal ventaja es un material de fácil obtención y barato en comparación con materiales ferrosos [22]. La aleación de aluminio 6061 contiene entre 0.4 - 0.8 % de Silicio y 0.8 - 1.2 % de Magnesio que aporta a una mayor resistencia mecánica [23].

Hierro fundido (fundición gris), este tipo de material es una aleación de hierro y carbono hasta un 6,7% con cantidades agregadas de manganeso o silicio. Tiene las siguientes ventajas: alta resistencia a la compresión, pero no a la tracción, mecanizable, absorbente de vibraciones, alta resistencia a cargas variables y sobre todo económico, sin embargo, no pueden crearse por deformación plástica [24].

Transformar movimiento

Como el sistema debe ser adaptable a una motoguadaña que genera un movimiento de rotación en un eje de transmisión rígido es importante que este movimiento debe ser transmitido a las herramientas de corte por lo cual es necesario la participación de un sistema que sea capaz de transmitir el movimiento entre ejes que se encuentran perpendiculares.

- Alternativa 1: Sistema sinfín – corona con carcasa tubular (Ver Figura 2.7).

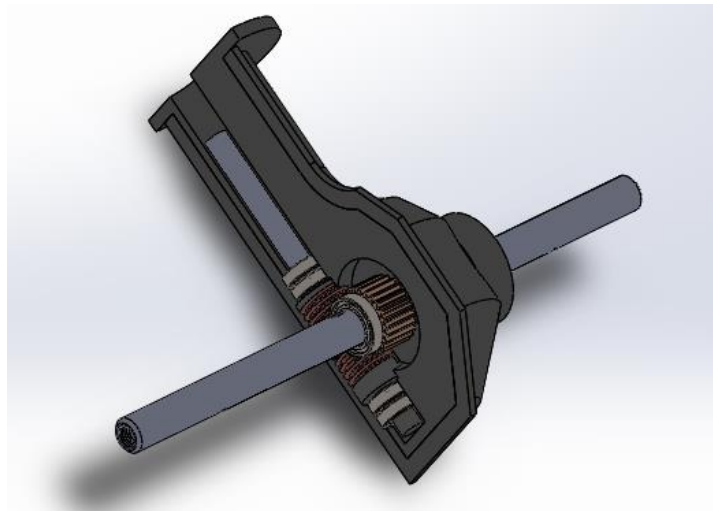


Figura 2.7. Sistema sin fin-corona.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de sistema sin fin -corona.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">– Transmite fuerza y movimiento entre ejes perpendiculares– Posee relaciones de transmisión muy elevadas– Fácil montaje– Alta resistencia mecánica– Liviana– Adaptable a la motoguadaña	<ul style="list-style-type: none">– La fabricación de los componentes es compleja– Puede requerir una impresión 3D para obtener el molde para la carcasa.– Solo sirve para sistemas de tornillos sin-fin corona

(Fuente: Propia)

- Alternativa 2: Sistema engranajes cónicos con carcasa circular (Ver Figura 2.8).

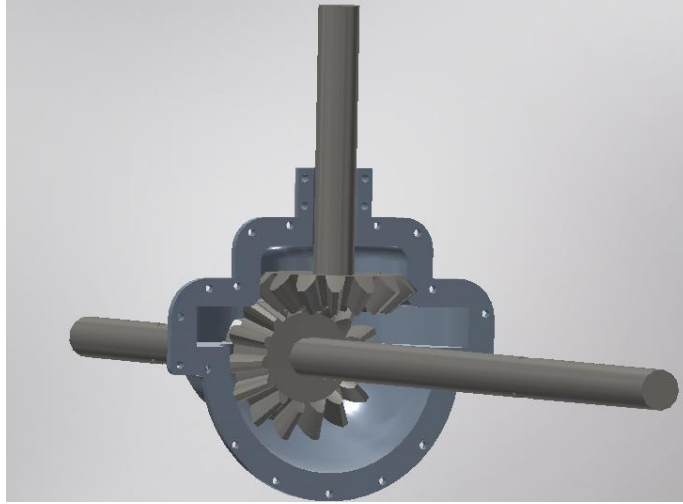


Figura 2.8. Sistema engranajes cónicos.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.3 Ventajas y Desventajas de engranajes cónicos rectos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> – Fácil montaje – Pequeño – Resistente 	<ul style="list-style-type: none"> – Alto nivel de vibración – La carcasa puede requerir una impresión 3D para obtener el molde en caso de ser fundida. – Implica mayor costo de fabricación con respecto a la alternativa anterior. – Dimensiones más grandes – Carcasa solo sirve para sistemas de engranes

(Fuente: Propia)

La estructura de la carcasa debe ser resistente y liviana, aunque la forma va a depender del tipo de sistema de transformación de movimiento, ya que debe cumplir su función principal de proteger el sistema de cualquier golpe que pueda recibir.

Evaluación de soluciones del sistema de transmisión

Para la determinación de la alternativa de solución más conveniente, se emplea el método de criterios ponderados [22], Anexo III.

Los criterios de evaluación más importantes son:

- Costo
- Complejidad del diseño, con la finalidad de escoger un elemento normalizado o realizar un proceso de manufactura.
- Transformación de movimiento, se pretende una menor relación de transmisión.
- Fácil montaje de elementos mecánicos.

La conclusión de la evaluación total de los criterios para el módulo 3 se detalla en la tabla 2.4, en donde se puede observar que la mejor alternativa es el número 1 que corresponde al sistema tornillo sinfín – corona con carcasa tubular (ver figura 2.7).

Tabla 2.4. Conclusión de prioridades para el módulo 3.

CONCLUSIONES	Complejidad diseño	Transformación mov.	Fácil montaje	Costo	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,2	0,20	0,13	0,05	0,59	1
Alternativa 2	0,2	0,10	0,07	0,05	0,42	2

(Fuente: Propia)

2.2.2.3 Módulo 4: Sistema de arado

Según el diagrama de estructura funcional y modular, el módulo 4 tiene las siguientes subfunciones:

- Forma de la cuchilla

La herramienta de corte cumple con la función principal de la máquina, debe ser fabricada con materiales resistentes y de fácil accesibilidad en el mercado, como los siguientes:

Acero AISI 4340 (705), este tipo de material contiene Cr (0.7% - 0.9%), Ni (1.65% - 2%) y Mo (0.2% - 0.3%), además de entre el 0.38% – 0.43% de carbono. Sus principales ventajas son: resistencia a la fatiga, buena tenacidad y templabilidad, debido a su composición química posee un gran rendimiento a elementos sometidos a tracción, torsión, flexión y a altos esfuerzos dinámicos y mecánicos, sin embargo, su maquinabilidad no es buena [23].

Aceros de mediano contenido de carbono para trabajos en frío (K460), estos aceros presentan una mayor resistencia y dureza que los aceros de bajo contenido de carbono; este puede variar entre el 0.25 y 0.55%. Se pueden realizar diferentes tratamientos térmicos como el temple. Son bastante utilizados para la fabricación de herramientas de agricultura, por lo general tienen buena soldabilidad, pero se necesita de un precalentamiento antes de soldar [24]. La herramienta de corte es la encargada de remover la tierra y deshierbar es importante que tenga características que se adapten a cualquier tipo de trabajo en cualquier terreno.

Forma de la cuchilla

- Alternativa 1: Rotovator de suelos (Ver Figura 2.9).

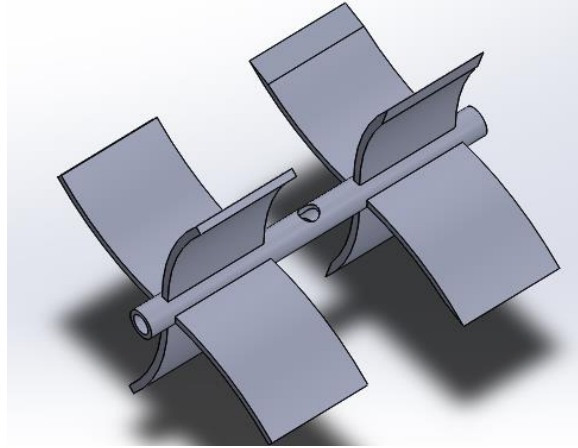


Figura 2.9. Rotovator de suelos.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.5 Ventajas y Desventajas de rotovator de suelos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">- Tritura suelos gruesos entre hileras- Ideal para trabajos de precisión- Esparce uniformemente suelos arenosos finos	<ul style="list-style-type: none">- Mantenimiento constante de las espas

(Fuente: Propia)

- Alternativa 2: Rotovator tipo caña de timón (Ver figura 2.10).

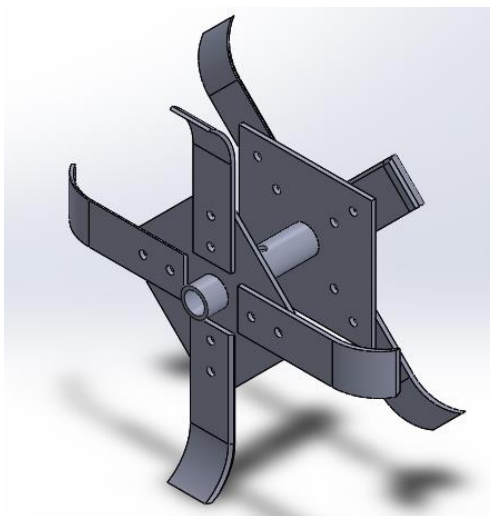


Figura 2.10. Rotovator tipo caña de timón.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.6 Ventajas y Desventajas de Rotovator tipo caña de timón.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Remueve suelos gruesos entre hileras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesado - No tiene la capacidad de ajuste en las cuchillas, y por ende la profundidad de labranza

(Fuente: Propia)

Para que exista un mismo movimiento de rotación entre la herramienta de corte y el eje de la corona es indispensable ajustar con un pasador para el correcto funcionamiento.

Evaluación de soluciones del sistema de arado

Los criterios de evaluación más importantes son:

- Costo
- Durabilidad de la herramienta
- Fuerza de tracción óptima para los diversos tipos de suelos.
- Fácil acople de herramienta
- Bajo peso, para facilidad de maniobra

La conclusión de la evaluación total de los criterios para el módulo 4 se detalla en la tabla 2.7, en donde se observa que la alternativa que aporta con mejores beneficios es el número 2 que corresponde a un rotovator de tipo caña de timón (ver figura 2.10).

Tabla 2.7. Conclusión de prioridades para el módulo 4.

CONCLUSIONES	Fuerza de tracción	Durabilidad herramienta	Fácil acople	Bajo peso	Costo	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,17	0,09	0,10	0,04	0,04	0,40	2
Alternativa 2	0,17	0,18	0,10	0,09	0,04	0,53	1

(Fuente: Propia)

2.2.2.4 Módulo 5: Sistema de Protección

Según el diagrama de estructura funcional y modular, el módulo 4 tiene la siguiente subfunción:

- Proteger a la planta y a la herramienta

Al realizar el deshierbe puede que se afecte al cultivo y las cuchillas, es por eso, que es necesario proteger con una cubierta (Ver figura 2.11) al apero para de esta manera evitar daños tanto a la planta como a la herramienta.

Proteger a la planta y a la herramienta

Como no se desea dañar el cultivo y la herramienta es indispensable colocar una protección que cubra la parte frontal y lateral del apero deshierbador, para esto es necesario utilizar materiales resistentes y de fácil accesibilidad en el mercado, como los siguientes:

Tol galvanizado, sus principales ventajas, son livianos, sirven para protecciones, es barato, posee una buena resistencia a impactos, es resistente a la corrosión y se encuentran muy fácilmente en el mercado.

Plástico, , son fáciles de fabricar y de dar forma, además alcanzan una aceptable resistencia mecánica, soportando golpes, retorcimientos, estiramientos y presiones, es muy resistente ante agentes atmosféricos y corrosivos, y son ligeros [25].

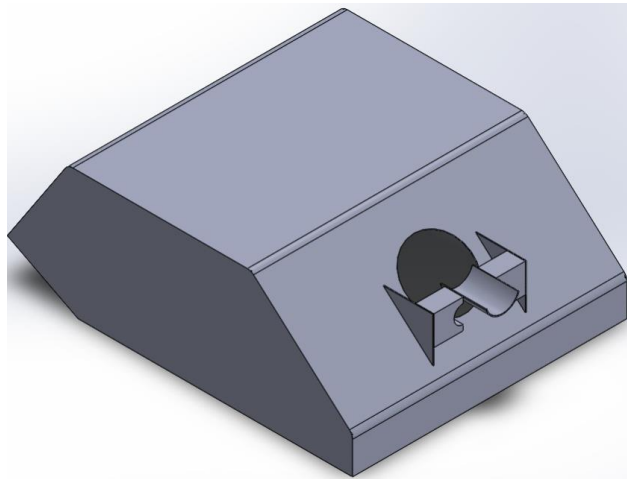
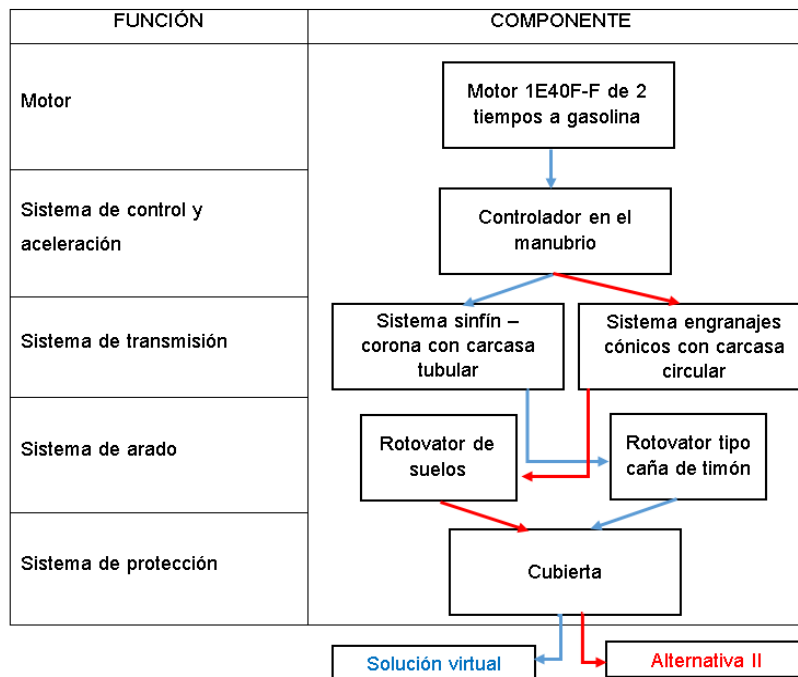


Figura 2.11. Cubierta.
(Fuente: Propia)

2.2.3 Matriz morfológica de solución final

La Tabla 2.8, indica la solución final, escogida de acuerdo a la valoración de criterios de cada módulo.

Tabla 2.8. Matriz morfológica de solución final



(Fuente: Propia)

Principio de funcionamiento

Se enciende el motor de forma manual mediante la empuñadura de arranque, posteriormente con la ayuda del controlador que se localiza en el manubrio, se acciona el sistema de transmisión el cual hace girar el eje en donde se encuentra acoplado el rotovator, mientras este realiza el objetivo de remover las hierbas, el sistema de protección a la planta cumple su función.

2.2.4 Solución virtual

Una vez realizada la evaluación de las alternativas mediante el método de criterios ponderados se obtiene la siguiente solución virtual.

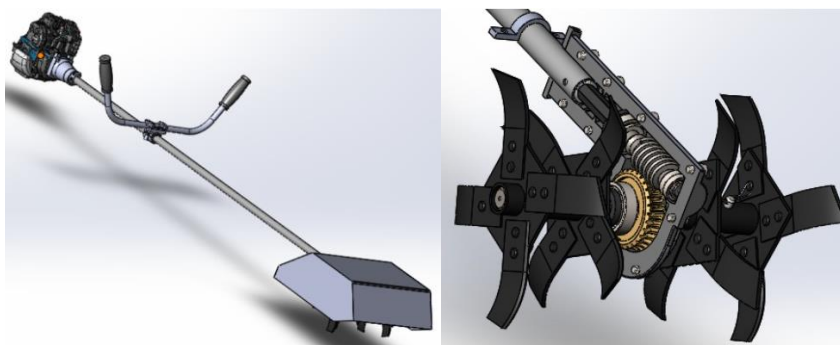


Figura 2.12. Solución virtual.
(Fuente: Propia)

2.3 Diseño mecánico

2.3.1 Cálculo de las cargas de diseño

Peso total del deshierbador

Para determinar el peso total del deshierbador se hace mediante el software CAD SolidWorks, en el que la masa es de 20 kg y su peso es 196 N.

Fuerza de tiro

Se emplea la Ec. (1.7), en el que los valores para la azada rotativa en suelos de texturas mediana son $T = 7$ cm y $W = 0.27$ m, adicionalmente se utiliza el ANEXO I con parámetros necesarios que ayudan al cálculo de la fuerza de tiro, teniendo como resultado:

$$D = 1[600](0.27)(7) = 1134 \text{ N}$$

2.3.2 Diseño del tornillo sinfín-corona

Para poder determinar la geometría del sistema es importante identificar los parámetros de entrada que se tienen de la motoguadaña, además de los parámetros de salida que se desean obtener, como se señala en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Parámetros de entrada de la motoguadaña.

Parámetros de entrada
Potencia motor: 2.5 hp
Velocidad transmisión motor: 7500 rpm

(Fuente: Propia)

Como parámetros de salida se tiene la velocidad a la que se quiere que giren las cuchillas con un valor de $n_G = 260$ rpm, indicado en el apartado 1.5.

Con la geometría, y los datos de entrada y salida asumidos, se verifica la resistencia del sistema de acuerdo a la potencia que transmite el motor.

Primero se obtiene la relación de transmisión, en base a la Ec. (2.1):

$$Rt = \frac{n_w}{n_G} = \frac{7500 \text{ rpm}}{260 \text{ rpm}} = 29 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Como el número de entradas en el tornillo sinfín es 1 podemos obtener el número de dientes que se necesitan en la corona con la siguiente expresión:

$$N_G = Rt(N_W) = 29 * 1 \approx 29 \text{ dientes}$$

Con este número de dientes se escoge una geometría del engrane (corona) envolvente con dientes helicoidales cóncavos ya que disminuye la posibilidad de una fractura y aumenta el rendimiento, como se indica en la figura 2.12.

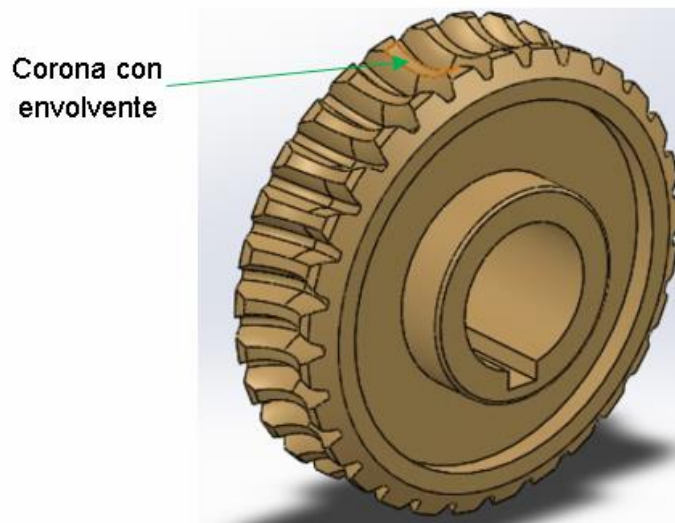


Figura 2.13. Geometría de la corona.
(Fuente: Propia)

Como parámetros de salida se tiene la velocidad a la que se quiere que giren las cuchillas con un valor de $n_G = 260 \text{ rpm}$, indicado en el apartado 1.5.

Con la geometría, y los datos de entrada y salida asumidos, se verifica la resistencia del sistema de acuerdo a la potencia que transmite el motor.

Primero se obtiene la relación de transmisión, en base a la Ec. (2.1):

$$Rt = \frac{n_W}{n_G} = \frac{7500 \text{ rpm}}{260 \text{ rpm}} = 29 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Como el número de entradas en el tornillo sinfín es 1 podemos obtener el número de dientes que se necesitan en la corona con la siguiente expresión:

$$N_G = Rt(N_W) = 29 * 1 \approx 29 \text{ dientes}$$

Para el diseño del sistema es importante definir un factor de seguridad que permite un correcto funcionamiento del acople de tornillo sinfín y corona con un valor de $n_d = 1$ [27].

Se define al acero AISI 4340 como material para la fabricación del tornillo sinfín y bronce naval para la corona.

En la Tabla 2.10, se encuentra el valor del ángulo normal de presión $\phi_n = 14.5^\circ$

Tabla 2.10. Valores para ángulo normal de presión.

ϕ_n	$(N_G)_{min}$
14.5	40
17.5	27
20	21
22.5	17
25	14
27.5	12
30	10

(Fuente: Shigley, T. Herlambang, E. B. Djatmiko, y H. Nurhadi, Mechanical Engineering)

Se elige un valor típico de paso axial del tornillo sinfín según AGMA $p_x = 0.25 \text{ pulg} \approx 6.35 \text{ mm}$.

Con este valor se calcula el paso tangencial de la corona $P_t = \frac{\pi}{p_x} = 12.56 \approx 0.49$

Posteriormente se analiza la geometría del acoplamiento del tornillo sinfín y la corona, según AGMA. La cabeza (addendum) a , la raíz (dedendum) b , la altura total h_t y la altura de trabajo h_k , respectivamente.

$$a = 0.3183 * p_x = 0.08 \text{ pulg} \approx 2.03 \text{ mm (addendum)}$$

$$b = 0.3683 * p_x = 0.09 \text{ pulg} \approx 2.29 \text{ mm (dedendum)}$$

$$h_t = 0.6866 * p_x = 0.17 \text{ pulg} \approx 4.37 \text{ mm}$$

$$h_k = \frac{2}{P_t} = 0.16 \text{ pulg} \approx 4.08 \text{ mm}$$

Con las Ec. (2.2), Ec. (2.3) y Ec. (2.4), se encuentra el diámetro de paso de la corona, diámetro de garganta y el diámetro de raíz, respectivamente.

$$D = \frac{N_G}{P_t} = \frac{29}{12.56} = 2.31 \text{ pulg} \approx 58.67 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

$$D_{tG} = D + 2a = 2.31 + 2(0.08) = 2.47 \text{ pulg} \approx 62.74 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$D_{rG} = D - 2b = 2.31 - 2(0.09) = 2.12 \text{ pulg} \approx 53.85 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

A continuación, se elige un diámetro medio del tornillo sinfín, y debido a que no es un engrane de cabeza estándar $d = 1.5$ pulg y con el que se calcula la distancia entre centros C.

$$C = \frac{d + D}{2} = \frac{1.5 + 2.31}{2} = 1.90 \text{ pulg} \approx 48.26 \text{ mm}$$

Para seleccionar el diámetro medio de paso del tornillo sinfín de forma correcta se calcula el d_{bajo} y d_{alto} , respectivamente.

$$d_{bajo} = \frac{C^{0.875}}{3} = 0.58 \text{ pulg} \approx 14.73 \text{ mm}$$

$$d_{alto} = \frac{C^{0.875}}{1.6} = 1.1 \text{ pulg} \approx 27.94 \text{ mm}$$

Como se puede observar el diámetro medio escogido no se encuentra dentro del intervalo $0.58 \leq d \leq 1.1$ pulg, esto es para que el tornillo sinfín controle a la corona y no al revés, por lo que, para obtener un resultado óptimo se escoge un diámetro $d = 0.84$ pulg y se vuelve a recalcular.

$$C = \frac{d + D}{2} = \frac{0.84 + 2.31}{2} = 1.57 \text{ pulg} \approx 39.88 \text{ mm}$$

El nuevo diámetro calculado se encuentra dentro del intervalo $0.5 \leq d \leq 0.93$ pulg, de modo que es un diámetro satisfactorio.

Con las Ec. (2.5) y Ec. (2.6), se encuentra el diámetro exterior y el diámetro de la raíz del tornillo sinfín, respectivamente.

$$D_{eW} = d + 2a = 1.03 \text{ pulg} \approx 26.16 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

$$D_{rW} = d - 2b = 0.68 \text{ pulg} \approx 17.27 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Después se calcula el avance del tornillo Ec. (2.7), el ángulo de avance del sinfín Ec. (2.8) y el ángulo de hélice Ec. (2.9).

$$L = p_x * N_W = 0.25 * 1 = 0.25 \text{ pulg} \approx 6.35 \text{ mm} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi * d} = \tan^{-1} \frac{0.25}{\pi * 0.84} = 5.41^\circ \quad \text{Ec. (2.9)}$$

$$\psi = 90 - \lambda = 90 - 5.41 = 84.59^\circ \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Mediante la Ec. (2.10), se calcula la longitud del ancho de cara del tornillo sinfín.

$$F_W = 2\sqrt{\left(\frac{1}{2}D_{tG}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}D - a\right)^2} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

$$F_W = 2\sqrt{\left(\frac{1}{2} * 2.47\right)^2 - \left(\frac{1}{2} * 2.31 - 0.08\right)^2} = 1.21 \text{ pulg} \approx 30.73 \text{ mm}$$

Para calcular el ancho de cara de la corona se utiliza la Ec. (2.11)

$$F_G = \sqrt{(D_{eW})^2 - (d)^2} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

$$F_G = \sqrt{(1.03)^2 - (0.84)^2} = 0.60 \text{ pulg} \approx 15.24 \text{ mm}$$

Cálculo de fuerzas en el tornillo sinfín y corona

Con la Ec. (2.12), se calcula la velocidad de deslizamiento del sinfín de cilindro de paso.

$$V_s = \frac{\pi * d * n_W}{12 * \cos \lambda} \quad \text{Ec. (2.13)}$$

$$V_s = \frac{\pi * 0.84 * 7500}{12 * \cos(5.41)} = 1656.71 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \approx 8.42 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la Ec. (2.13), se calcula la velocidad de la línea de paso del sinfín.

$$V_w = \frac{\pi * d * n_W}{12} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

$$V_w = \frac{\pi * 0.84 * 7500}{12} = 1649.34 \text{ pies/min} \approx 8.38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la Ec. (2.14), se calcula la velocidad de la línea de paso de la corona.

$$V_G = \frac{\pi * D * n_G}{12} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

$$V_G = \frac{\pi * 2.31 * 260}{12} = 157.24 \text{ pies/min} \approx 0.80 \text{ m/s}$$

La Ec. (2.15) permite calcular el factor de materiales para un $C \leq 3$ pulg

$$C_s = 270 + 10.37C^3 \quad \text{Ec. (2.16)}$$

$$C_s = 270 + 10.37(1.57)^3 = 310.44$$

La Ec. (2.16) permite calcular el factor de corrección de relación para un $20 < m_G \leq 76$.

$$C_m = 0.0107\sqrt{-m_G^2 + 56m_G + 5145} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

$$C_m = 0.0107\sqrt{-29^2 + 56 * 29 + 5145} = 0.82$$

Para hallar el factor de velocidad C_v se usa la Ec. (2.17). Para $700 < V_s \leq 3000$ pies/min

$$C_v = 13.31 * V_s^{-0.571} \quad \text{Ec. (2.18)}$$

$$C_v = 13.31 * 1656.71^{-0.571} = 0.19$$

Con la Ec. (2.18), se encuentra el coeficiente de fricción para $V_s > 10$ pies/min

$$f = 0.103 \exp[-0.11V_s^{0.450}] + 0.012 \quad \text{Ec. (2.19)}$$

$$f = 0.103 \exp[-0.11(1656.71)^{0.450}] + 0.012 = 0.017$$

La eficiencia mecánica del sinfín está dada por la Ec. (2.19).

$$e_w = \frac{\cos\phi_n - f * \tan\lambda}{\cos\phi_n + f * \cot\lambda} \quad \text{Ec. (2.20)}$$

$$e_w = \frac{\cos(14.5^\circ) - (0.017) * \tan(5.41^\circ)}{\cos(14.5^\circ) + (0.017) * \cot(5.41^\circ)} = 0.84$$

Siendo $e_G = 0.81$ se asegura que el tornillo sinfín controla a la corona y no al contrario.

Cálculo de la fuerza tangencial

Para encontrar la fuerza tangencial en la corona se utiliza la Ec. (2.20)

$$W_G^t = \frac{33000 n_d * H_0 * K_a}{V_G * e} \quad \text{Ec. (2.21)}$$

$$W_G^t = \frac{33000 (1) * 2.5 * 1.2}{157.24 * 0.84} = 749.54 \text{ lbf} \approx 3334.12 \text{ N}$$

Con este valor se encuentra la fuerza tangencial en el tornillo sinfín.

$$W_w^t = W_G^t \frac{\cos\phi_n \text{sen}\lambda + f * \cos\lambda}{\cos\phi_n \cos\lambda - f * \text{sen}\lambda}$$

$$W_w^t = 749.54 * \frac{\cos(14.5) \text{sen}(5.41) + 0.017 * \cos(5.41)}{\cos(14.5) \cos(5.41) - 0.017 * \text{sen}(5.41)} = 84.28 \text{ lbf} \approx 374.9 \text{ N}$$

La Ec. (2.23), permite calcular la fuerza de fricción W_f

$$W_f = \frac{f * W_G^t}{f * \text{sen}\lambda - \cos\phi_n \cos\lambda} \quad \text{Ec. (2.22)}$$

$$W_f = \frac{0.017 * 749.54}{0.017 * \text{sen}(5.41) - \cos(14.5) \cos(5.41)} = -13.24 \text{ lbf} \approx 58.9 \text{ N}$$

Cálculo del esfuerzo de flexión en los dientes de la corona

Se tiene datos conocidos de, valor de carga $K=1$ y coeficiente de forma de diente $Y_F = 1.521$ [27].

De acuerdo a las Ec. (2.22), Ec. (2.23) y Ec. (2.24), se calcula el par torsional, el coeficiente de factor de diámetro del tornillo y el módulo, respectivamente.

$$T = \frac{W_G^t * D}{2} \quad \text{Ec. (2.23)}$$

$$T = \frac{749.54 * 2.31}{2} = 865.72 \text{ lbf} * \text{pulg} \approx 97.81 \text{ Nm}$$

$$q = \frac{N_W}{\tan \lambda} \quad \text{Ec. (2.24)}$$

$$q = \frac{1}{\tan(5.41)} = 10.56$$

$$m = \frac{2C}{q + N_G} \quad \text{Ec. (2.25)}$$

$$m = \frac{2(1.57)}{10.56 + 29} = 0.079 \text{ pulg} \approx 2 \text{ mm}$$

Se calcula el esfuerzo de flexión mediante la Ec. (2.25).

$$\sigma_\tau = \frac{1.5KT Y_F \cos \lambda}{m^3 q N_G} \quad \text{Ec. (2.26)}$$

$$\sigma_\tau = \frac{1.5 (1)(865.72)(1.521) \cos(5.41)}{(0.079)^3 (10.56)(29)} = 13.02 \text{ ksi} \approx 89.77 \text{ MPa}$$

El esfuerzo permisible de flexión de la corona según su material Bronce naval es:

$$\sigma_{perm} = \frac{13.3}{n_d} \text{ ksi}$$

$$\sigma_{perm} = 13.3 \text{ ksi} \approx 91.7 \text{ MPa}$$

Puesto que $\sigma_\tau = 89.77 \text{ MPa} < \sigma_{perm} = 91.7 \text{ MPa}$, el diseño del sistema sinfín corona es seguro.

Una vez obtenido los resultados, se resumen en la Tabla 2.11 y Tabla 2.12.

Tabla 2.11. Resumen de parámetros del tornillo sinfín.

Parámetros tornillo sinfín						
Número de entradas	Paso axial [mm]	Diámetro exterior [mm]	Diámetro de paso [mm]	Diámetro interior [mm]	Cabeza [mm]	Raíz [mm]
1	6.35	26.16	21.34	17.27	2.03	2.29
Altura de trabajo [mm]	Altura total [mm]	Ancho de cara [mm]	Avance [mm]	Ángulo de presión	Ángulo de avance	Ángulo de hélice
4.08	4.37	30.73	6.35	14.5°	5.41°	84.59°

(Fuente: Propia)

Tabla 2.12. Resumen de parámetros de la corona.

Parámetros de la corona						
Número de dientes	Paso tangencial [mm]	Diámetro de garganta [mm]	Diámetro de paso [mm]	Diámetro de raíz [mm]	Cabeza [mm]	Raíz [mm]
29	0.49	62.74	58.67	53.85	2.03	2.29
Altura de trabajo [mm]	Altura total [mm]	Ancho de cara [mm]	Fuerza tangencial [N]			
4.08	4.37	0.543	3334.12			

(Fuente: Propia)

2.3.3 Diseño de ejes

Eje de entrada (tornillo sinfín)

La Figura 2.13, indica un esquema del sistema tornillo sinfín corona, el cual permite obtener un análisis de las fuerzas que intervienen en el sistema. El eje de entrada está soportado sobre dos apoyos en los puntos A y B.

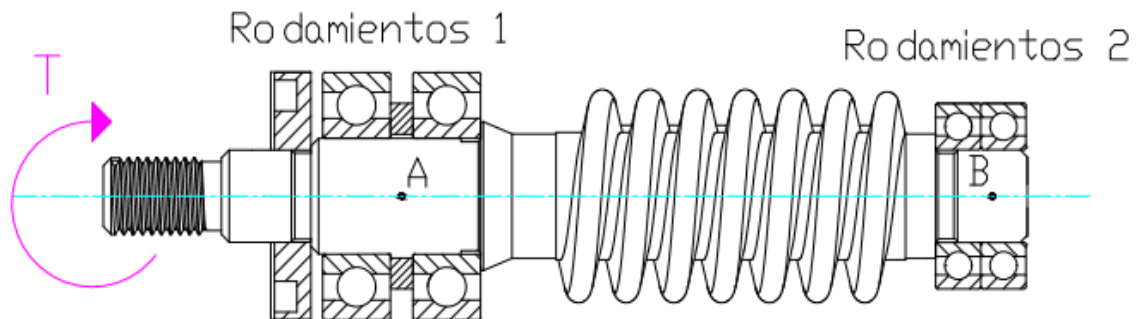


Figura 2.14. Configuración del eje de entrada con sus componentes.

(Fuente: Propia)

Con la configuración de los elementos y las cargas que actúan sobre el eje sinfín se puede observar en la figura 2.14 el diagrama de cuerpo libre.

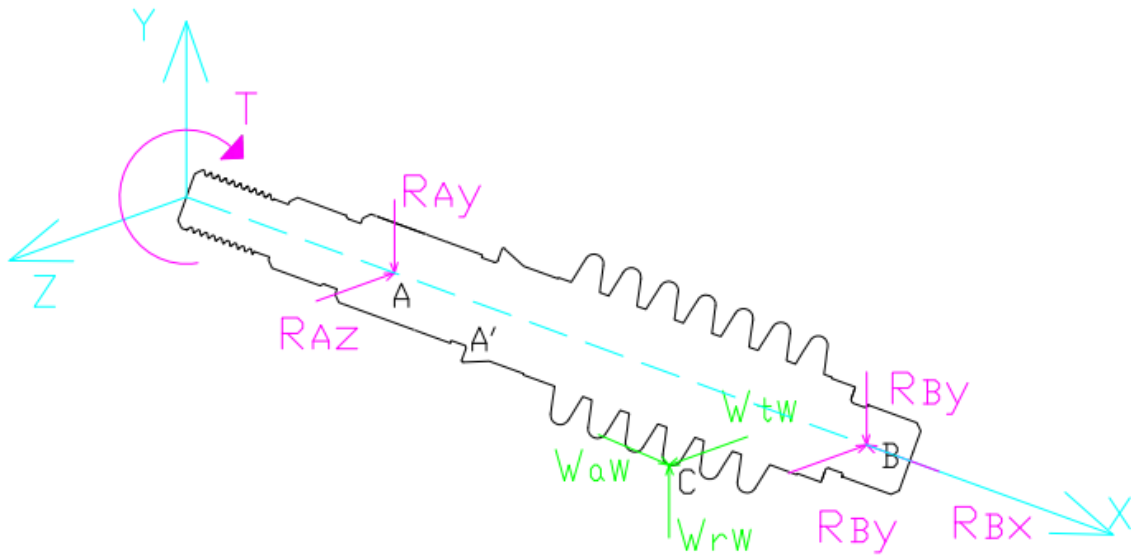


Figura 2.15. Diagrama de cuerpo libre del eje sinfín.
(Fuente: Propia)

Donde:

T = Par de torsión en el eje de entrada, [Nm]

W_{tw} = Fuerza tangencial en el tornillo sinfín, [N]

W_{aw} = Fuerza axial en el tornillo sinfín, [N]

W_{rw} = Fuerza radial en el tornillo sinfín, [N]

Conociendo $W_{tw} = 374.9 \text{ N}$ se puede encontrar las fuerzas axial y radial que actúan en el tornillo sinfín.

$$W = \frac{W_{tw}}{\cos\phi_n \sin\lambda + f * \cos\lambda} = 3464.78 \text{ N}$$

$$W_{rw} = W * \sin\phi_n$$

$$W_{rw} = 3464.78 * \sin(14.5) = 867.51 \text{ N}$$

$$W_{aw} = W(\cos\phi_n \cos\lambda - f * \sin\lambda)$$

$$W_{aw} = 3333.92 \text{ N}$$

Con las fuerzas que se producen en el eje de entrada y según la Tabla 2.11, se puede calcular las reacciones en los puntos A y B correspondientes a la ubicación de los rodamientos, además del par torsional que actúa en el eje.

$$T = \frac{63025 * 2.5 \text{ HP}}{260 \text{ RPM}}$$

$$T = 607 \text{ lb} * \text{in} \approx 68.46 \text{ N} * \text{m}$$

Se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje x.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ W_{aw} - R_{Bx} &= 0 \\ R_{Bx} &= 3333.92 \text{ N}\end{aligned}$$

Se realiza una sumatoria de momentos en el punto B con respecto al eje z.

$$\begin{aligned}\sum_B M_z &= 0 \\ W_{rw} * 0.036 - R_{Ay} * 0.079 &= 0 \\ R_{Ay} &= 412.06 \text{ N}\end{aligned}$$

Se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -R_{Ay} - R_{By} + W_{rG} &= 0 \\ R_{By} &= 412.06 \text{ N}\end{aligned}$$

Se realiza una sumatoria de momentos en el punto B con respecto al eje y.

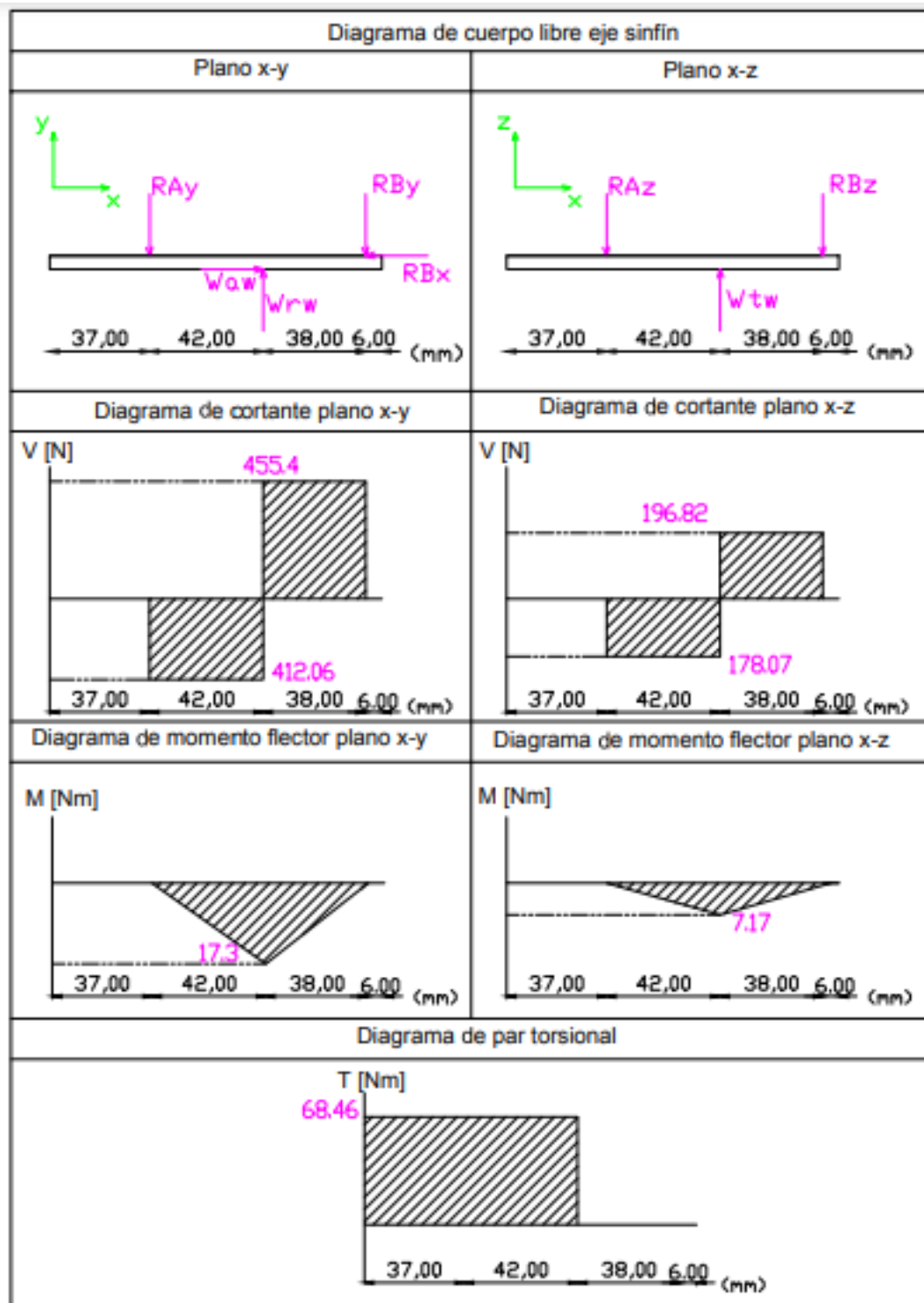
$$\begin{aligned}\sum_B M_y &= 0 \\ W_{aw} * 0.036 - R_{Az} * 0.079 &= 0 \\ R_{Az} &= 178.07 \text{ N}\end{aligned}$$

Se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje z.

$$\begin{aligned}\sum F_z &= 0 \\ -R_{Bz} - R_{Fz} + W_{aw} &= 0 \\ R_{Bz} &= 742.67 \text{ N}\end{aligned}$$

En la Tabla 2.13, se indica los resultados de los diagramas para el eje de entrada (eje del sinfín).

Tabla 2.13. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos del eje de entrada.



(Fuente: Propia)

Una vez obtenidos los valores, se realiza el diseño del eje considerando el criterio de falla ASME-elíptica expresada en la Ec. (2.26), para el cálculo del diámetro del eje.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (2.27)}$$

Donde:

K_f Factor de concentración de esfuerzo a fatiga, para esfuerzos por flexión

K_{fs} Factor de concentración de esfuerzo por fatiga, para esfuerzos torsionales

M_a Momento flexionante alternante, Nm

M_m Momento flexionante medio, Nm

T_a Par de torsión alternante, Nm

T_m Par de torsión medio, Nm

S_e Límite de resistencia a la fatiga, MPa

S_y Resistencia a la fluencia del material, MPa

n Factor de seguridad para trabajo a fatiga

Como el eje trabaja bajo cargas dinámicas se propone un factor de seguridad $n=2$ para que el diseño sea confiable.

Para el análisis se considera la concentración de esfuerzos que se genera en el punto C en donde se encuentra la máxima concentración de momentos:

$$M_a = \sqrt{17.3^2 + 7.7^2} = 18.3 \text{ Nm}$$

$$S_y = 1080 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 1170 \text{ MPa}$$

Con la Ec. (2.27) se obtiene el límite a la resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f k_a S'_e \quad \text{Ec. (2.28)}$$

Donde:

k_a Factor de modificación de la condición superficial

k_b Factor de modificación de tamaño

k_c Factor de modificación de la carga

k_d Factor de modificación de la temperatura

k_e Factor de modificación de confiabilidad

k_f Factor de modificación de modificación de efectos varios

S'_e Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria Ksi (MPa)

S_{ut} Resistencia última a la tensión Ksi (Mpa)

Se considera:

$$k_c = k_d = k_f = 1$$

$$k_e = 0.897(\text{Confiabilidad } 90\%)$$

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec. (2.29)}$$

Donde:

a Factor para un determinado acabado superficial según tabla 6.2, de [26]

b Exponente para un determinado acabado superficial según tabla 6.2, de [26]

$$k_a = 4.51 * 1170^{-0.265} = 0.69$$

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107} \quad \text{Ec. (2.30)}$$

$$k_b = 1$$

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec. (2.31)}$$

$$S'_e = 0.5 * 1170 = 585 \text{ MPa}$$

$$S_e = (0.69)(1)(0.897)(585) = 362.07 \text{ MPa}$$

Inicialmente se puede asumir para un factor teórico de concentración de esfuerzo normal

$$K_t = K_f = 2.7 ; K_{ts} = K_{fs} = 2.2.$$

$$M_m = T_a = 0$$

$$T_m = 68.4 \text{ Nm}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$d = \left\{ \frac{16(2)}{\pi} \left[4 \left(\frac{(2.7)(18.93)}{362.07 * 10^6} \right)^2 + 3 \left(\frac{(2.2)(68.4)}{1080 * 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 15.59 \text{ mm}$$

Para seleccionar correctamente los rodamientos se considera un diámetro de 15 mm, en donde una relación típica para el soporte en un hombro $D/d=1,2$.

Asumiendo un radio de filete $r = 0.4 \text{ mm}$ se tiene un valor de $K_t = 2,4$ obtenido de la Figura A-15-9, ANEXO IV, un valor de $q = 0.85$ obtenido de la Figura 6-20, ANEXO V, un valor de $K_{ts} = 1.95$ obtenido de la Figura A-15-8, ANEXO IV y un valor de $q_{cortante} = 0.83$ de la Figura 6-21, ANEXO V.

Para calcular los valores de los factores de concentración de esfuerzo por fatiga para esfuerzos por flexión y torsionales se utiliza la Ec. (2.31)

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \text{ o } K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. (2.32)}$$

$$K_f = 1 + 0.85(2.4 - 1) = 2.19$$

$$K_{fs} = 1 + 0.83(1.95 - 1) = 1.79$$

Se calcula el valor real del factor de modificación de tamaño k_b con un diámetro de 15.59 mm.

$$k_b = 1.24 * (13.82)^{-0.107} = 0.924$$

$$S_e = (0.69)(0.936)(0.897)(585) = 334.5 \text{ MPa}$$

A continuación, se calcula el factor de seguridad con la Ec. (2.32)

$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2 \quad \text{Ec. (2.33)}$$

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'_m = \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

σ'_a Esfuerzo combinado alternante, Mpa

σ'_m Esfuerzo combinado medio, Mpa

$$\sigma'_a = \left[\left(\frac{32(2.19)(18.93)}{\pi * 0.015^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 125.11 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16(1.79)(43.6)}{\pi * 0.015^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 203.98 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{64.98}{339}\right)^2 + \left(\frac{491.59}{1080}\right)^2$$

$$n = 2.38$$

Se realiza el procedimiento anteriormente detallado para cada uno de los concentradores de esfuerzos y sus resultados se indican en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14. Resumen de concentradores de esfuerzo del eje de entrada.

Punto en el eje	Concentrador de esfuerzo	Factor de concentración de esfuerzos		Momento flexionante [Nm]	Par torsional [Nm]	Factor de seguridad n	Diámetro		
		K_f	K_{fs}				ϕ	Min	Selec. [mm]
A	Hombro	2.19	1.79	6.4	68.4	2.02	d1	13.82	15
A'	Hombro	2.19	1.67	10.95	68.4	2.35	d2	13.17	16
C	Espiras	2.10	1.79	50.72	68.4	1.79	d3	20.21	26
B	Hombro	1.85	0	3.84	0	2.53	d4	8.35	12

(Fuente: Propia)

Eje de salida (Corona)

Para saber los valores del eje de salida se utiliza el ejemplo de cálculo antes realizado en el eje de entrada, por lo que primero se define la geometría (ver Figura 2.15). En la Tabla 2.15 se indica las cargas que actúan sobre este y en la Tabla 2.16 los resultados obtenidos.

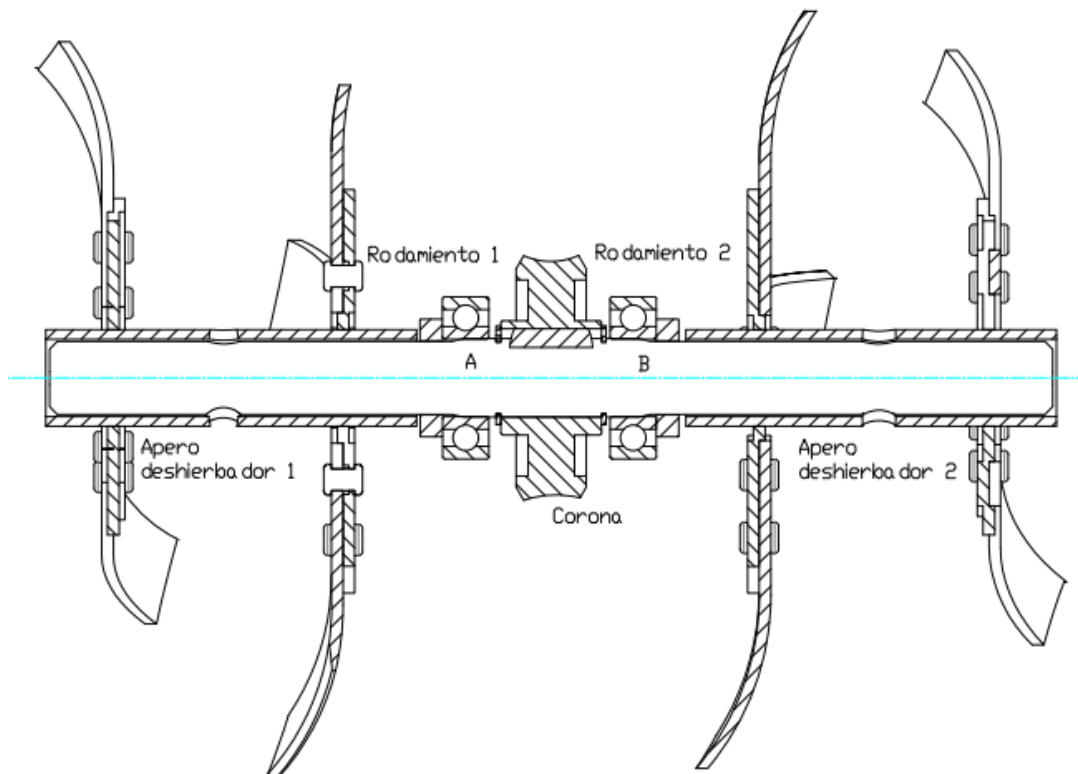


Figura 2.16. Configuración del eje de salida con sus componentes.

(Fuente: Propia)

Con la configuración de los elementos y las cargas que actúan sobre el eje de salida se puede observar en la figura 2.16 el diagrama de cuerpo libre.

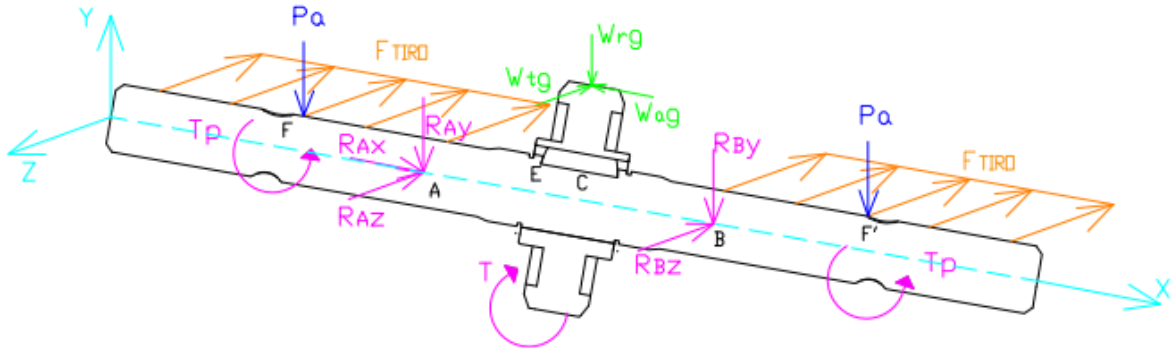


Figura 2.17. Diagrama de cuerpo libre del eje de salida.
(Fuente: Propia)

Donde:

T = Par de torsión en el eje de salida, [Nm]

T_p = Torque producido por los pasadores

W_{tg} = Fuerza tangencial en la corona, [N]

W_{ag} = Fuerza axial en la corona, [N]

W_{rg} = Fuerza radial en la corona, [N]

F_{tiro} = Fuerza de tiro, [N]

P_a = Peso del apero deshierbador, [N]

Conociendo que la masa del apero es 3.5 kg se obtiene el peso con un valor de 35 N, la fuerza de tiro con un valor de 1114N obtenido en el apartado 2.3.1

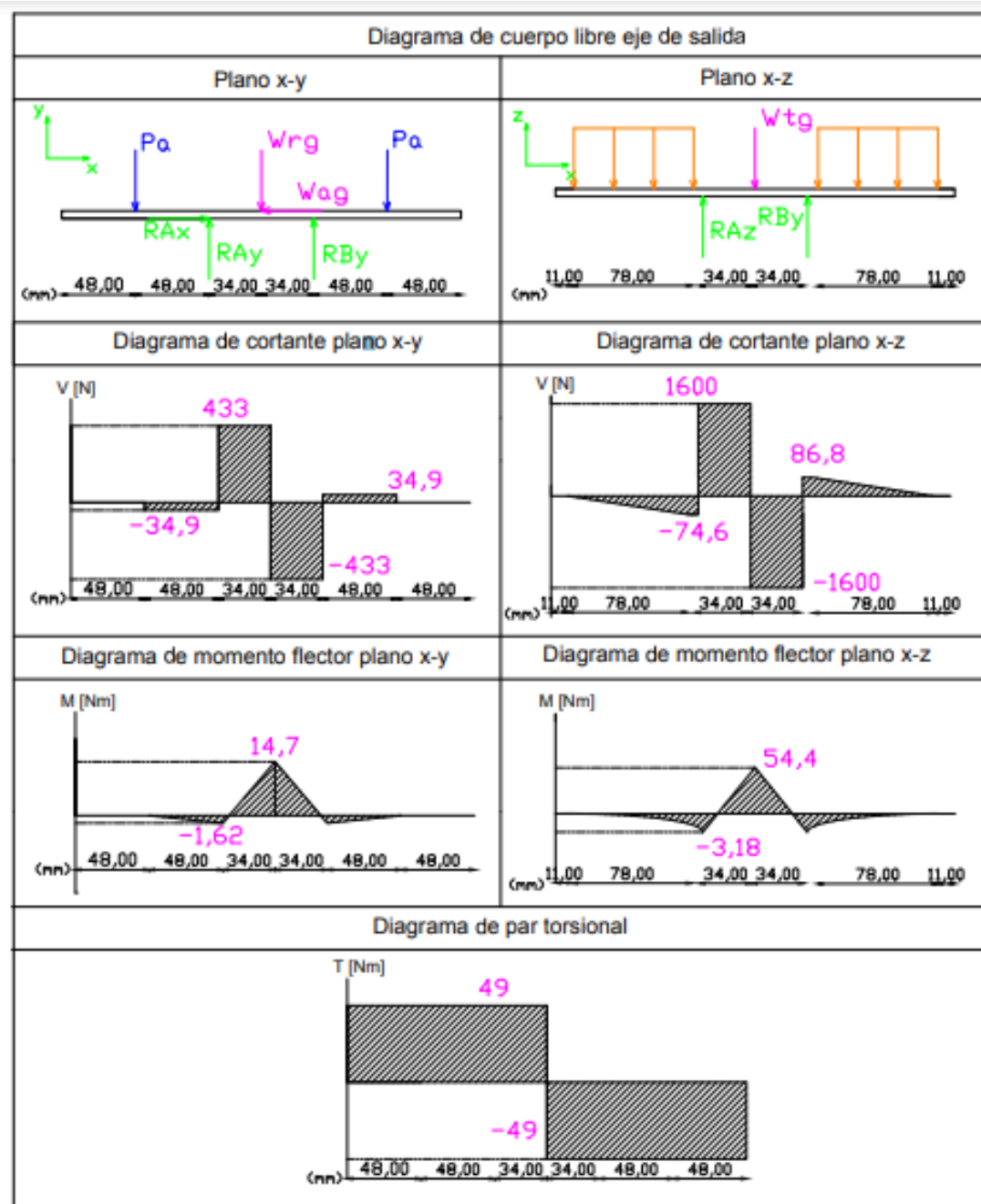
$$T = \frac{W_G^t * D}{2}$$

$$T = \frac{749.54 * 2.31}{2} = 865.72 \text{ lbf} * \text{pulg} \approx 97.81 \text{ Nm}$$

$$T_p = \frac{T}{2} = 49 \text{ Nm}$$

En la Tabla 2.15, se indica los resultados de los diagramas para el eje de salida (eje de la corona).

Tabla 2.15. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos del eje de salida.



(Fuente: Propia)

La sección crítica se encuentra dónde está colocado el chavetero para sujetar la corona, además se coloca un anillo de retención para mantener fija la chaveta, considerando las siguientes especificaciones para un eje de 21 mm; a (ancho)=1.2mm; t (profundidad)=0.5mm; y radio de la esquina en el fondo de la ranura r=0.2mm.

De acuerdo al procedimiento descrito para el eje sinfín se resume en la Tabla 2.16 los diferentes valores de diámetro para el eje de salida.

Tabla 2.16. Resumen de concentradores de esfuerzo del eje de salida

Punto en el eje	Concentrador de esfuerzo	Factor de concentración de esfuerzos		Momento flexionante [Nm]	Par torsional [Nm]	Factor de seguridad n	Diámetro		
		K_f	K_{fs}				ϕ	Min	Selec. [mm]
F	Agujero pasante	2.4	2.99	1.46	49	1.4	d1	15.3	19
A	Hombro	2.02	1.75	13.46	49	2.5	d2	15.96	20
E	Ranura	2.87	2.16	43,45	49	1.78	d3	20.76	21
C	Cuñero	2.14	3	54.18	49	1.76			
B	Hombro	2.02	1.75	13.46	49	2.5	d4	15.96	20
F'	Agujero pasante	2.4	2.99	1.46	49	1.4	d5	15.3	19

(Fuente: Propia)

2.3.4 Selección cuñas

Hay varios tipos de cuñas, pero la figura típica para ejes es el tipo cuadradas y su dimensión depende del tamaño del eje.

Como se trata de un eje de acero con una resistencia a la fluencia de $S_y = 1080$ MPa y un diámetro de 20 mm (ver Figura 2.17). El eje está sometido a un par torsional de $T = 97.80$ Nm.

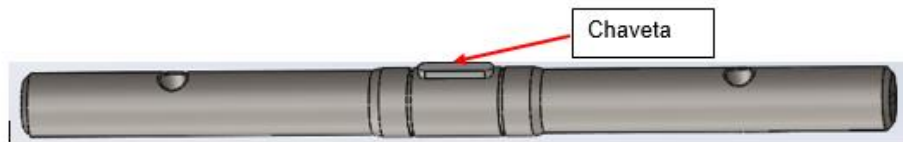


Figura 2.18. Eje de salida con chaveta.
(Fuente: Propia)

Para empezar con el diseño se selecciona una cuña cuadrada de 6 mm, de AISI 4340 con una resistencia la fluencia $S_y = 1080$ MPa, además de un factor de seguridad de 2.5 ya que no se conoce con precisión cómo actúa la carga [28].

La cuña (ver Figura 2.18) puede fallar de dos formas ya sea por corte eje/cubo y por compresión, por lo tanto, se utiliza la Ec. (2.33) y Ec. (2.34).

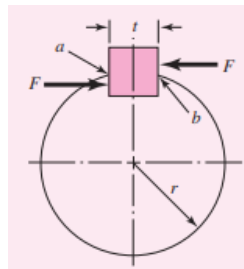


Figura 2.19. Diagrama de cuerpo libre de la cuña.
(Fuente: Shigley, T. Herlambang, E. B. Djatmiko, y H. Nurhadi, Mechanical Engineering)

Falla por corte eje/cubo

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{t * l} \quad \text{Ec. (2.34)}$$

Donde:

S_{sy} Resistencia al cortante, *Ksi (MPa)*

F Fuerza en la superficie del eje, *lbf (N)*

l longitud mínima de la cuña, *pulg (mm)*

$$F = \frac{T}{r}$$
$$F = \frac{97.80}{0.01} = 9780 \text{ N}$$

La resistencia al cortante se puede calcular con la ecuación de la teoría de la energía de distorsión, Ec. (2.38).

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad \text{Ec. (2.35)}$$
$$S_{sy} = 0.577 (1080) = 623.16 \text{ MPa}$$

Así, se tiene:

$$\frac{623.16 * 10^6}{2.5} = \frac{9780}{0.006 * l}$$
$$l = 6.53 \text{ mm}$$

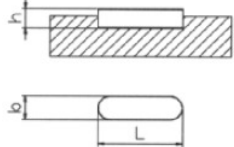
Falla por compresión

Se utiliza el área de la mitad de la cara de la cuña para que resista la compresión:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{\frac{t}{2} * l}$$
$$\frac{623.16 * 10^6}{2.5} = \frac{9780}{\frac{(0.006)}{2} * l}$$
$$l = 13.07 \text{ mm}$$

En la Tabla 2.17 se especifica las dimensiones de la cuña.

Tabla 2.17. Característica de la cuña del eje de salida

Característica de la cuña					
Material	Dimensiones [mm]	Tipo	Longitud [mm]		Gráfico
			Min.	Seleccionado	
Acero 4340	6 x 6	A	13.07	22.4	<p>FORMA A (redondeada)</p> 

(Fuente: Propia)

(Fuente gráfico: Rodavigo. S.A, Chaveta según la normativa UNI 6604-69-din 6885)

2.3.5 Selección de rodamientos

Debido a las condiciones de operación de la máquina en una aplicación para servicio corto e intermitente, se considera la siguiente Ec. (2.35) según la normativa ISO 281, para el cálculo de la vida nominal de un rodamiento; con una confiabilidad del 90%. Se considera dos rodamientos a cada lado en el eje de entrada con la finalidad de soportar las cargas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ec. (2.36)}$$

Donde:

L_{10} Vida nominal básica, millones de revoluciones

C Capacidad de carga dinámica básica, kN

P Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

p Exponente de vida útil de la ecuación (para cojinete de bolas $p=3$)

Al ser constante la velocidad, se utiliza la Ec. (2.36) para el cálculo de la vida en horas de funcionamiento.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n_D} L_{10} \quad \text{Ec. (2.37)}$$

Donde:

L_{10h} : Vida nominal, horas de funcionamiento

n_D : Velocidad de giro, rpm

Se considera una vida nominal mínima según la tabla 11.4 [26], $L_{10h} = 4kh$; $d = 20mm$; $n_D = 260 rpm$; $F_{rA} = 448.9$; $F_{rB} = 849.32 N$

$$L_{10} = \frac{4000(260)(60)}{10^6} = 62.4 \text{ millones de revoluciones}$$

Para el cálculo de la carga equivalente P (Punto A del apoyo del rodamiento), se utiliza la Ec. (2.37); la carga axial $F_a = 3333.92 N$; y se considera un factor de carga radial $X = 0.56$ y un factor de carga axial $Y = 1.40$.

$$P = XF_r + YF_a \quad \text{Ec. (2.38)}$$

$$P = 0.56 * 448.9 + 1.40 * 3333.92 = 4918.8N$$

Se obtiene:

$$62.4 = \left(\frac{C}{2459.4} \right)^3 \Rightarrow C = 9.7 kN$$

Para el punto de apoyo del rodamiento en B, se tiene:

$$P = XF_r + YF_a$$

$$P = 1000.5 N$$

$$62.4 = \left(\frac{C}{500.25} \right)^3 \Rightarrow C = 1.9 kN$$

Según el catálogo de rodamientos SKF y de acuerdo al valor de C, se selecciona un par de rodamientos que cumplan con lo requerido. Rodamiento 15x32x9 (6002 2RSH), donde $C = 5.85 kN$.

Se verifica la vida nominal, utilizando la Ec. (2.35), por lo que se tiene:

$$L_{10} = \left(\frac{11.9 * 10^3}{2459.4} \right)^3 = 113.3$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60(260)} (113.3) = 7262.8 h > 4000h$$

Para determinar las dimensiones de cada rodamiento en los diferentes ejes, se emplea los cálculos anteriormente realizados, con esto se obtiene los rodamientos adecuados y se indica sus resultados en la Tabla 2.18 y Tabla 2.19.

Tabla 2.18. Especificaciones de rodamientos seleccionados para el eje de entrada.

EJE DE ENTRADA				
Punto de apoyo	Dimensiones [mm]	Código	Capacidad de carga	
			Equivalente (P) [N]	Dinámica (C) [N]
A	15 x 42 x 13	6302 2RSH	9700	11900
B	12 x 24 x 6	61901 2Z	1900	2910

(Fuente: Propia)

Tabla 2.19. Especificaciones de rodamientos seleccionados para el eje de salida.

EJE DE SALIDA				
Punto de apoyo	Dimensiones [mm]	Código	Capacidad de carga	
			Equivalente (P) [N]	Dinámica (C) [N]
A	20 x 42 x 12	6004 2RSH	4900	9950
B	20 x 42 x 12	6004 2RSH	8700	9950

(Fuente: Propia)

2.3.6 Diseño de aperos

Para el diseño del apero es necesario el cálculo para un eje hueco, el cual tiene las cuchillas soldadas como se indica en la figura 2.16, además se acopla con un pasador al eje de salida, mismo que permite un fácil montaje y desmontaje.

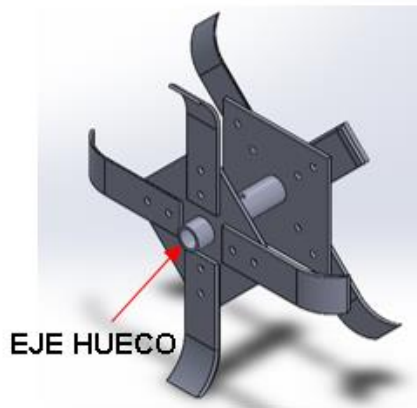


Figura 2.20. Eje hueco.
(Fuente: Propia)

Diseño del eje hueco

Para el cálculo del diámetro exterior del eje hueco se determina mediante la Ec. (2.26), donde se considera $d_i = 20\text{mm}$; $M_a = 52.6\text{ N} \cdot \text{m}$; $T_m = 24.5\text{ N} \cdot \text{m}$, este torque se debe a que hay dos juegos de cuchillas y a su vez al ser transmitido por medio de los pasadores que hay en cada lado al torque de 49Nm se divide para 2 (obtenido de la Tabla 2.17) $M_m = T_a = 0\text{ N} \cdot \text{m}$; $n = 2$, para un material K460 (AISI O1), $S_y = 1480\text{ MPa}$ y $S_{ut} = 1618.21\text{ MPa}$

$$\sigma = K_t \frac{M * c}{I} = \frac{32 K_t M d_e}{\pi (d_e^4 - d_i^4)} \quad \text{Ec. (2.39)}$$

$$\tau = K_{ts} \frac{T * c}{J} = \frac{16 K_{ts} T d_e}{\pi (d_e^4 - d_i^4)} \quad \text{Ec. (2.40)}$$

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

Por lo tanto

$$\sigma_a' = \sigma \quad \text{Ec. (2.41)}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3\tau^2} \quad \text{Ec. (2.42)}$$

Con la Ec. (2.26) a la Ec. (2.30), se puede determinar el límite de resistencia a la fatiga $S_e = 417.17 \text{ MPa}$. Se considera $K_t = 2,63$ y un valor de $K_{ts} = 1.78$ obtenidos de la Figura A-16 del ANEXO VI, por lo que se tiene que el diámetro exterior del eje hueco es $d_e = 24.89 \text{ mm}$

Una vez obtenido el diámetro exterior del eje se utiliza la Ec. (2.38) para calcular el esfuerzo de flexión y la Ec. (2.39) para el cálculo del esfuerzo de torsión, teniendo como resultado:

$$\sigma = \frac{32 * 2.63 * 52.6 * 0.0249}{\pi (0.0249^4 - 0.020^4)} = 156.3 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16 * 1.78 * 24.5 * 0.0249}{\pi (0.0249^4 - 0.020^4)} = 24.64 \text{ MPa}$$

Posteriormente se calcula los esfuerzo alternante y medio, utilizando la Ec. (2.40) y Ec. (2.41) respectivamente, obteniendo:

$$\sigma_a' = 156.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3 * 24.64^2} = 42.67 \text{ MPa}$$

Finalmente se calcula el factor de diseño con la Ec. (2.32), resultando:

$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{156.3}{406.2} \right)^2 + \left(\frac{42.67}{1480} \right)^2 \rightarrow n = 2.59$$

Diseño de cuchillas

Para obtener los esfuerzos que se generan en las cuchillas que se encuentran sujetas de un extremo a la placa del apero deshierbador, (Ver figura 2.20). Es necesario conocer la carga a la que se encuentra expuesta, en este caso, es la fuerza de tiro obtenida en el apartado 2.3.1.

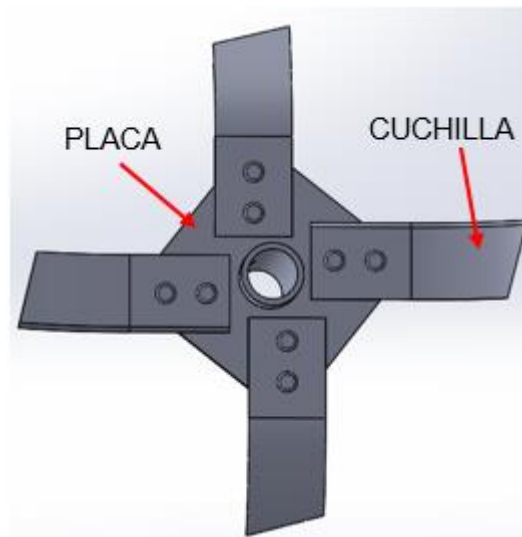


Figura 2.21. Configuración de la cuchilla.
(Fuente: Propia)

En la figura 2.21 se puede observar la carga que interviene en el sistema y se puede simplificar como si se tuviera una viga de sección rectangular (30,72 mm X 3mm) de acero k460 con una resistencia última de 1618 MPa que se encuentra empotrada en voladizo en B, además, con una carga en el filo de la cuchilla.

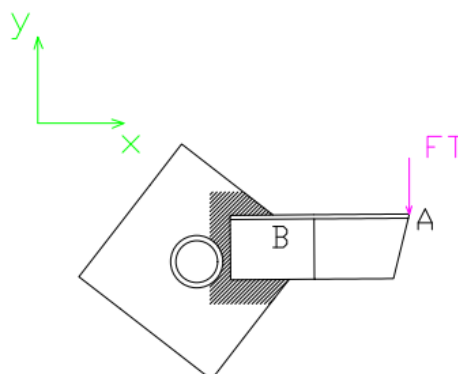
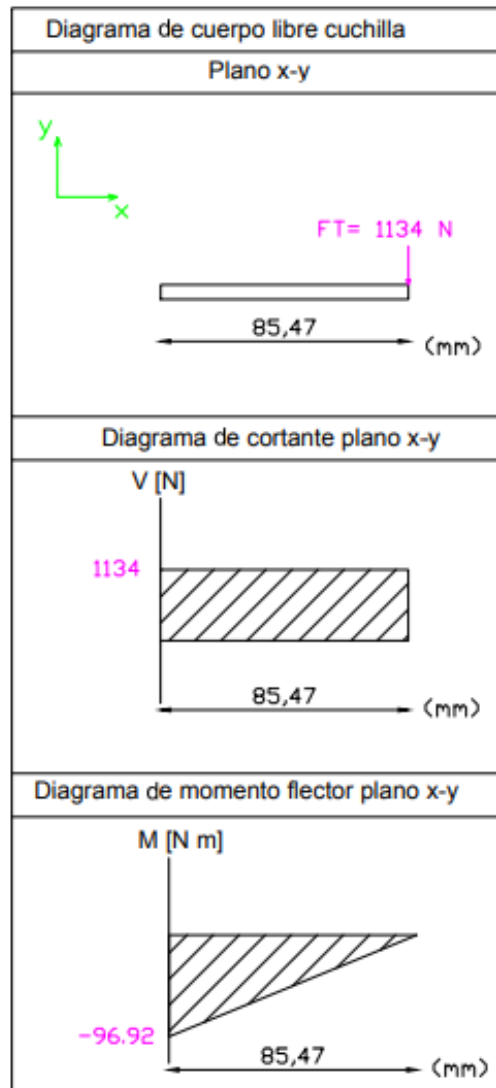


Figura 2.22. Diagrama de cuerpo libre de la cuchilla.
(Fuente: Propia)

En la Tabla 2.20., se detalla los valores del cortante y el momento flector al que se encuentra sometido la cuchilla.

Tabla 2.20. Diagrama de fuerzas, cortantes y momentos en la cuchilla.



La sección crítica se encuentra en la unión entre las cuchillas y la placa ya que se tiene el momento flector máximo, es por eso que se realiza un análisis en el punto B.

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

$$\sigma = 215.37 \text{ MPa}$$

$$T = \frac{63025 * 2.5 \text{ HP}}{200 \text{ RPM}} = 88 \text{ N} * \text{m}$$

$$\tau = \frac{T * c}{J}$$

$$\tau = 47.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 231 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3\tau^2}$$

$$\sigma_m' = 81.6 \text{ MPa}$$

$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{231}{809}\right)^2 + \left(\frac{81.6}{1480}\right)^2 \rightarrow n = 3.43$$

Diseño de sujetadores

Para obtener los esfuerzos que se generan en los dos sujetadores que sirven para unir a la cuchilla con la placa, (Ver figura 2.20). Es necesario conocer la carga a la que se encuentra expuesta. En la figura 2.22 se observa las cargas que actúan en los sujetadores de acero k460, $S_y = 1480 \text{ MPa}$ y $S_{ut} = 1618.21 \text{ MPa}$. El diámetro del sujetador es de 8mm y su área de $5.02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

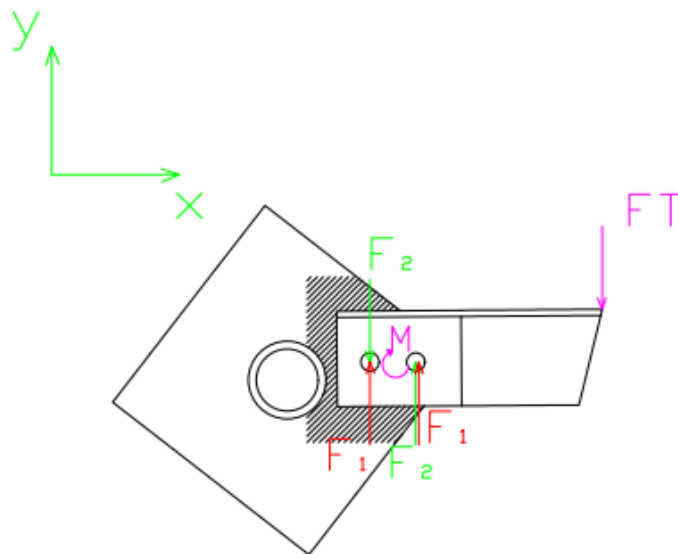


Figura 2.23. Diagrama de cuerpo libre del sujetador.
(Fuente: Propia)

Con las fuerzas que se producen en los sujetadores, se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje y.

$$\sum F_y = 0$$

$$FT - 2F_1 = 0$$

$$F_1 = 567 \text{ N}$$

Se realiza una sumatoria de momentos

$$\begin{aligned}\sum M &= 0 \\ -1134(0.068) + M &= 0 \\ M &= 71.11 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Se realiza el cálculo para carga por momento

$$\begin{aligned}M - F_2(0.016) &= 0 \\ F_2 &= 4819.5 \text{ N}\end{aligned}$$

Una vez obtenidos estos valores, se realiza el cálculo de fuerza para el sujetador 1 y el sujetador 2, respectivamente

$$\begin{aligned}F_{r1} &= 567 - 4819.5 = -4252.5 \text{ N} \\ F_{r2} &= 567 + 4819.5 = 5386.5 \text{ N}\end{aligned}$$

Por lo tanto se determina que el sujetador 2 es el más crítico, y se procede a realizar el análisis para falla por cortante y falla por aplastamiento, respectivamente:

$$\tau = \frac{F_{r2}}{A} = \frac{5386.5}{5.02 * 10^{-5}} = 107.31 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{0.5 S_y}{\tau} = \frac{0.5 * 1480}{107.31} = 6.89$$

$$A_b = 0.008 * 0.003 = 2.4 * 10^{-5}$$

$$\sigma_b = \frac{F_{r2}}{A_b} = \frac{5386.5}{2.4 * 10^{-5}} = 224.4 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{0.9 S_y}{\sigma_b} = 5.94$$

Diseño del pasador

Para la sujeción del apero al eje de salida se utiliza un pasador (ver figura 2.23) de acero AISI 1045 ($S_y = 310 \text{ MPa}$), que soporta esfuerzos cortantes generados por el par de torsión ($T = 98 \text{ N m}$), por lo que se calcula el diámetro mínimo con la Ec. (2.42) considerando $n = 2$ y $d = 20 \text{ mm}$.

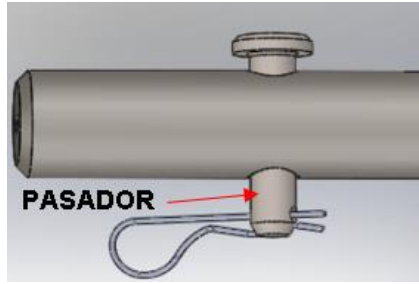


Figura 2.24. Pasador.
(Fuente: Propia)

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * T}{\pi * d * 0.5 * \frac{S_y}{n}}} \quad \text{Ec. (2.43)}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{4 * 97.8}{\pi * 0.02 * 0.5 * \frac{310 * 10^6}{2}}}$$

$$D_p = 0.008 \text{ m}$$

2.3.7 Diseño del acople del rotovalor

Para que exista una buena transmisión del movimiento entre la máquina y el rotovalor se utiliza un acople rápido como se indica en la figura 2.24, mismo que será diseñado como un eje hueco.

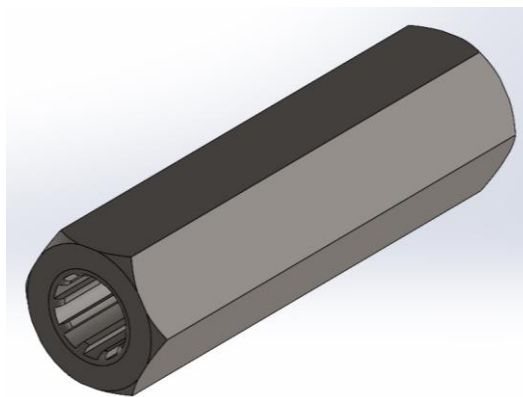


Figura 2.25. Cubo estriado.
(Fuente: Propia)

Diseño del cubo estriado

Para el cálculo del diámetro exterior del cubo estriado que resista el esfuerzo cortante y esfuerzo normal que se generan, se determina con la Ec. (2.44) donde se considera que transmite una potencia de 2.5 Hp a una velocidad de giro de 7500 rpm, el diámetro interno

del eje es $d_i = 4.95$ mm; $n = 2$, para un material AISI 4340 $S_y = 1360$ MPa y $S_{ut} = 1470$ MPa

Primero se considera como un eje sólido para obtener el Esfuerzo cortante máximo y el Esfuerzo de flexión máximo, mediante la Ec. (2.43) y Ec. (2.44)

$$\tau_{max} = \frac{T * c}{J} \quad \text{Ec. (2.44)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M * c}{I} \quad \text{Ec. (2.45)}$$

Mediante la Ec. (2.26) a la Ec. (2.30), se determina el límite de resistencia a la fatiga $S_e = 428.54$ MPa. Se considera $K_t = 2,70$ y un valor de $K_{ts} = 2.2$ obtenidos de la Figura A-16 del ANEXO VI, por lo que se tiene que el diámetro exterior del cubo estriado es $d_e = 13$ mm.

2.4 Construcción y montaje

2.4.1 Construcción

Para la fabricación de los elementos que forman parte del deshierbador es indispensable el uso de una gama de herramientas e instrumentos de medición, que se detallan en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21. Lista de equipos, herramientas e instrumentos de medición.

Equipos	Herramientas	Instrumentos de medición
Torno	Porta cuchillas	Calibrador
Fresadora	Cuchillas	Flexómetro
Soldadora	Fresa	Escuadra
Amoladora	Brocas	
Dobladora	Machuelos	
Horno de fundición	Lima	
Taladro manual	Disco de corte	
Taladro de pedestal	Disco de desbaste	
Cizalla	Moldes	
	Entenalla	

(Fuente: Propia)

2.4.2 Proceso de construcción

Para llevar a cabo el proceso de construcción se identifica los elementos normalizados y los elementos por construir, que se detallan en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22. Lista de elementos normalizados y los elementos por construir.

Elementos normalizados	Elementos por construir
Motoguadaña con motor 2 tiempos de 2.5 HP.	Carcasa
Chaveta	Eje de entrada (sinfín)
Rodamientos	Eje de salida
Pasadores	Corona
Pernos y tuercas	Apero (cuchillas, eje hueco)
Anillo de retención	Cubierta
Abrazadera	Cubo estriado

(Fuente: Propia)

Se detalla en la Tabla 2.23 la materia prima que se requiere para la fabricación de los elementos por construir.

Tabla 2.23. Lista de materia prima.

Materia prima
Eje sólido AISI 4340 \varnothing 38.1 mm; L= 122 mm
Eje sólido AISI 4340 \varnothing 25.4 mm; L= 300 mm
Eje sólido AISI 4340 \varnothing 13; L= 50,7 mm
Tubo redondo K460 \varnothing 25.4 mm; e= 3mm; L= 100mm
Plancha de tol galvanizado 0.9mm
Plancha de Acero K460
Bronce naval \varnothing 63mm
Aluminio
Pintura anticorrosiva color negro o barniz

(Fuente: Propia)

Para realizar la construcción de los elementos mencionados en la Tabla 2.22 es necesario de procesos de fabricación respectivos que se detallan en la Tabla 2.24, en donde se utilizan los equipos, herramientas e instrumentos de medición señalado en la Tabla 2.21.

Tabla 2.24. Proceso de fabricación

Fotografías	Descripción
	<p>Para la fabricación de la carcasa tubular, se realizó un molde de madera de acuerdo al plano AAJG-FIM-100-105 mediante un moldeo de tierra, para posteriormente ser sometido a un proceso de fundición con aluminio puro. Por último se utilizó machuelos para realizar el roscado de los agujeros donde se alojan los pernos de unión.</p>
	<p>La corona fue fabricada de acuerdo al plano AAJG-FIM-100-103, por medio de arranque de viruta con una fresadora desde un material en bruto de 63.5x150mm.</p>
	<p>El eje de salida, se realiza por medio de arranque de viruta utilizando un torno y para los agujeros pasantes se realiza con taladro de pedestal, siguiendo las medidas del plano de AAJG-FIM-100-102.</p>
	<p>Para la fabricación del eje de entrada, se realiza por medio de arranque de viruta utilizando un torno según el plano AAJG-FIM-100-101. y para el roscado se usa una terraja.</p>

	<p>Para la fabricación de las cuchillas se utilizó planchas de acero K460, para posteriormente con una cizalla cortar las dimensiones de acuerdo al plano AAJG-FIM-100-202, y con el uso de un taladro de pedestal se realiza los agujeros que servirán para unir a las placas fabricadas de acuerdo al plano AAJG-FIM-100-201, donde también se utilizó una cizalla para su corte, para dar la curvatura a la cuchilla se la realizó con una entenalla y un martillo; para el eje hueco se utilizó un tubo y se cortó con una amoladora las dimensiones según el plano AAJG-FIM-100-203, finalmente se soldó las placa al eje hueco como lo indica el plano subconjunto AAJG-FIM-100-200 y se pintó con pintura anticorrosiva.</p>
	<p>La cubierta fue realizada con tol galvanizado de 0.9mm como lo indica el plano AAJG-FIM-100-106, el soporte para unir la protección con el eje de la motoguadaña fue soldada y finalmente fue pintada.</p>

(Fuente: Propia)

2.4.3 Montaje

El montaje del deshierbador se procede a realizar una vez obtenidos los elementos normalizados y haber concluido la fabricación de los elementos por construir, tomando en consideración la secuencia modular, detallada en el apartado 2.2 y como se indica a continuación. Adicionalmente, en la figura 2.24 se puede verificar el montaje.

Módulo 3: Sistema de transmisión

- Tener todos los elementos normalizados y fabricados correspondientes a este módulo, para el montaje.
- Verificar que los elementos estén correctamente realizados de acuerdo a los planos AAJG-FIM-100-101, AAJG-FIM-100-102, AAJG-FIM-100-103, AAJG-FIM-100-104, AAJG-FIM-100-105.
- Alinear el sistema de transmisión (eje de entrada, eje de salida, rodamientos) en la carcasa y proceder a la unión con los pernos correspondientes.
- Ensamblar el sistema al eje de la motoguadaña por medio de un acople (cubo estriado)

Módulo 4: Sistema de arado

- Tener todos los elementos normalizados y fabricados correspondientes a este módulo, para el montaje.
- Verificar que los elementos estén correctamente realizados de acuerdo a los planos AAJG-FIM-100-201, AAJG-FIM-100-202, AAJG-FIM-100-203.
- Soldar las cuchillas a la placa del apero y posterior soldar al tubo redondo, en base al plano subconjunto AAJG-FIM-100-200.
- Recubrir el sistema con pintura negra anticorrosiva para evitar corrosión en el apero deshierbador.
- Ubicar el sistema de arado (cuchillas y eje hueco) en el eje de salida y proceder a la unión con pasadores.

Módulo 5: Sistema de protección

- Tener todos los elementos normalizados y fabricados correspondientes a este módulo, para el montaje.
- Verificar que el elemento esté correctamente realizado de acuerdo al plano AAJG-FIM-100-106
- Unir el soporte de la cubierta mediante soldadura, a la cubierta como lo indica el plano AAJG-FIM-100-106.
- Ubicar el sistema de protección en el eje de la motoguadaña utilizando una abrazadera.



Figura 2.26. Montaje de elementos que constituyen la deshierbadora mecánica.
(Fuente: Propia)

2.5 Protocolo de pruebas

Una vez finalizada la construcción de los componentes que conforman la máquina, enseguida se procede a colocar el arnés y unirlo con la máquina para verificar si estaba bien el punto de apoyo humano-máquina, pero se determinó que el peso no estaba bien centrado en la deshierbadora, por lo que, se procedió a mover las manceras ubicándolo en el centro de gravedad. Posteriormente para poner en marcha la deshierbadora contamos con un medidor de combustible, ya que, al ser un motor de 2 tiempos, es necesario la relación de mezcla 25:1, es decir, 1 litros de gasolina y 40 mililitros de aceite 2T, para que no presente ningún inconveniente el motor durante su uso. Al momento de encender la máquina hay que verificar que la mariposa del starter se encuentre en posición de arranque de motor en frío, para luego tirar de la cuerda de arranque del motor hasta que este se “ahogue”, una vez realizado este proceso se coloca la mariposa de starter en posición de motor en caliente y nuevamente se tira de la cuerda hasta que el motor encienda. Finalmente se realiza la prueba de funcionamiento, verificando los parámetros mencionados a continuación.

2.5.1 Dimensiones globales y peso total de la máquina

Con la ayuda de las herramientas de medición se logró obtener las medidas generales de la máquina, señaladas en la Tabla 2.25.

Tabla 2.25. Dimensiones generales de la deshierbadora.

Largo deshierbadora [mm]	1850
Diámetro eje motoguadaña [mm]	38
Ancho apero [mm]	300
Radio de giro cuchillas apero [mm]	202
Ancho cubierta [mm]	340
Peso total deshierbadora [kg]	20

(Fuente: Propia)

2.5.2 Inspección de los elementos

Para realizar las pruebas se verificó mediante inspección visual el estado de los componentes construidos y su correcto montaje para de esta manera certificar el buen funcionamiento del mecanismo. En el ANEXO VII se indica mediante una tabla el estado de la deshierbadora.

2.5.3 Velocidad

La prueba de deshierbado se realizó en un terreno de suelo franco con mala hierba de una altura aproximada de 5cm, y para ejecutar el trabajo se tomó una fracción de terreno de 3.50 m de largo, obteniendo una velocidad de 0.3 m/s.

2.5.4 Dimensiones del trabajo realizado por la deshierbadora mecánica

Una vez realizada la prueba en el terreno descrito anteriormente, se obtiene un ancho de deshierbe alrededor de 24cm, con una profundidad aproximada de 7 cm.

2.6 Análisis de costos

Es necesario realizar un análisis de costos para definir la viabilidad de la deshierbadora, sin embargo, el módulo 1 y 2 están definidos por el precio de la motoguadaña (ver Tabla 1.3).

Además, se ejecuta un estudio de costos modular (3, 4 y 5) en el cual se toma en cuenta 3 tipos de costos: costo de materia prima, costo de mano de obra y costo de elementos normalizados, que se detalla en las tablas 2.26 a 2.38.

Costo módulo 3: Sistema de transmisión

Tabla 2.26. Costo elementos normalizados Módulo 3.

Cant.	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Rodamiento de bolas 61901 2Z	\$ 4,45	\$ 8,90
2	Rodamiento de bolas 6302 2RSH	\$ 4,75	\$ 9,50
2	Rodamiento de bolas 6004 2RSH	\$ 5,75	\$ 11,50
1	Sello de aceite de eje de goma nitrilo 12x32x5	\$ 3,10	\$ 3,10
2	Retenedor de caucho	\$ 3,00	\$ 6,00
2	Anillos de retención	\$ 0,25	\$ 0,50
10	Juego de perno cabeza hueca hexagonal DIN912 y arandela 1/4	\$ 0,25	\$ 2,50
2	Perno cabeza hueca hexagonal M8x16 con arandela 5/16	\$ 0,25	\$ 0,50
1	Arandela 3/4	\$ 0,10	\$ 0,10
TOTAL			\$ 42,60

Tabla 2.27. Costo materia prima Módulo 3.

Cant.	Elemento	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Eje sólido de entrada (tornillo sinfín)	Acero AISI 4340 $\varnothing=38,1$ mm L=123 mm	\$ 5,80	\$ 5,80
1	Eje sólido de salida	Acero AISI 4340 $\varnothing=25,4$ mm L=300 mm	\$ 6,25	\$ 6,25
1	Corona de 29 dientes	Bronce naval $\varnothing=63$ mm	\$ 6,25	\$ 6,25
1	Chaveta Cuadrada	Acero AISI 4340 6 x 6 mm L=25,4 mm	\$ 0,54	\$ 0,54
1	Carcasa	Aluminio puro	\$ 6,58	\$ 6,58
1	Cubo estriado	Acero AISI 4340	\$ 5,80	\$ 5,80
TOTAL				\$ 31,22

Tabla 2.28. Costo Mano de obra Módulo 3.

Elemento	Proceso	Valor Mano de Obra
Eje sólido de entrada (tornillo sinfín)	Eliminación de material con herramienta de corte en el torno	\$ 34,20
Eje sólido de salida	Eliminación de material con herramienta de corte en el torno	\$ 14,75
Corona de 29 dientes	Eliminación de material con herramienta de corte en la fresadora	\$ 44,75
Chaveta Cuadrada	Eliminación de material con herramienta de corte en la limadora	\$ 1,00
Carcasa	Proceso de fundición incluido molde en madera	\$ 133,42
Cubo estriado	Eliminación de material con herramienta de corte en el torno	\$ 34,20
TOTAL		\$ 262,32

Tabla 2.29. Costo Total Módulo 3.

Costo elementos normalizados	\$	42,60
Costo de materia prima	\$	31,22
Costo de mano de obra	\$	262,32
TOTAL	\$	336,14

Costo módulo 4: Sistema de arado

Tabla 2.30. Costo elementos normalizados Módulo 4.

Cant.	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Pasadores de horquilla con cabeza plana M8	\$ 2,75	\$ 5,50
2	Broche de presión	\$ 1,50	\$ 3,00
TOTAL			\$ 8,50

Tabla 2.31. Costo materia prima Módulo 4.

Cant.	Elemento	Descripción	Valor unitario	Valor total
2	Tubo redondo	Acero AISI O1 $\varnothing=25,4$ mm L=100 mm	\$ 5,70	\$ 11,40
1	Apero	Plancha de acero AISI O1 3mm	\$ 15,11	\$ 15,11
1	Spray de pintura	Pintura negra anticorrosiva	\$ 11,30	\$ 11,30
TOTAL				\$ 37,81

Tabla 2.32. Costo mano de obra Módulo 4.

Elemento	Proceso	Valor Mano de Obra
Herramienta de corte	Corte y soldadura	\$ 59,19
TOTAL		\$ 59,19

Tabla 2.33. Costo Total Módulo 4.

Costo elementos normalizados	\$	8,50
Costo de materia prima	\$	37,81
Costo de mano de obra	\$	59,19
TOTAL	\$	105,50

Costo módulo 5: Sistema de protección

Tabla 2.34. Costo elementos normalizados Módulo 5.

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Juego de abrazadera	\$ 6,68	\$ 6,68
2	tornillos	\$ 0,25	\$ 0,50
TOTAL			\$ 7,18

Tabla 2.35. Costo materia prima Módulo 5.

Cantidad	Elemento	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Cubierta	Plancha de tol galvanizado 0.9mm	\$ 14,50	\$ 14,50
TOTAL			\$ 14,50	\$ 14,50

Tabla 2.36. Costo mano de obra Módulo 5.

Elemento	Proceso	Valor Mano de Obra
Cubierta	Corte y plegado	\$ 35,50
TOTAL		\$ 35,50

Tabla 2.37. Costo Total Módulo 5.

Costo elementos normalizados	\$ 7,18
Costo de materia prima	\$ 14,50
Costo de mano de obra	\$ 35,50
TOTAL	\$ 57,18

Costo total de la máquina deshierbadora

Tabla 2.38. Costo Total Máquina deshierbadora.

Costo total módulo 1,2	\$ 220,00
Costo total módulo 3	\$ 336,14
Costo total módulo 4	\$ 105,50
Costo total módulo 5	\$ 57,18
SUBTOTAL	\$ 718,82
Imprevistos (5%)	\$ 35,94
Costos de diseño (10%)	\$ 71,88
TOTAL	\$ 826,64

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo hace referencia al análisis del diseño y estudio de la deshierbadora, así como también se detalla los resultados obtenidos en el protocolo de pruebas.

3.1 Resultados

Mediante el análisis funcional se seleccionó la alternativa más idónea, presentada en la matriz morfológica de solución virtual; la deshierbadora cuenta con un motor de 2.5 hp-2 tiempos, un sistema de control y aceleración ubicada en el manubrio, un sistema de transmisión (sinfín-corona con carcasa tubular), un sistema de arado (rotovator tipo caña de timón) y un sistema de protección (cubierta), estos tres últimos sistemas, conforman la herramienta de deshierbe, que con un acople estriado permite la unión entre la motoguadaña y la herramienta, permitiendo que remueva la mala hierba del terreno.

Se analizaron el eje sinfín y el eje de salida, se puede observar que la sección crítica se encuentra en el eje de salida en el punto C (ver figura 2.16) ya que actúa un momento flector máximo de 54.14 Nm y un par torsional de 49 Nm. Aunque se verifica que el diseño es conservador con un valor de factor de seguridad de 1.78.

Para las pruebas de funcionamiento, se realizaron en un terreno de suelo franco con borde duros, ubicado en Cocotog sector norte de Quito, en el cual se ocupó 600m² de terreno, área requerida por el usuario ya que existía mayor cantidad de malas hierbas de hasta 40cm de altura con una raíz aproximada de 3cm.

Para el costo total de la máquina, se consideró el costo de materiales y elementos normalizados, costo de mano de obra, imprevistos y costo de diseño, llegando a un valor de 826.64 USD, que al compararla con otras máquinas existentes en el mercado tiene un incremento de 37.04%, sin embargo, al tener un precio elevado está dentro del rango de aceptación, además, el costo elevado se debe a que se realiza un equipo personalizado.

Una vez puesta a punto la deshierbadora en un terreno de 600m², se pudo observar que la máquina realiza un trabajo eficiente con malas hierbas de 20cm, sin embargo, cuanto más frecuente trabajaba el deshierbador sufría problemas de giro debido a que colapsaba la mala hierba en el eje del apero, provocando el paro del mismo, con este inconveniente se debía retirar manualmente toda la mala hierba, para que pueda seguir con el trabajo.

Las cuchillas del apero al tener una longitud de 85mm, permiten remover la mala hierba de raíz con mayor eficiencia. Con la ayuda de un flexómetro se verifica que la profundidad de deshierbe es de 70mm, comprobando que la longitud de las cuchillas son lo suficientemente favorables para arrancar de raíz la mala hierba.

Finalmente, en el ANEXO IX se presenta las fotografías del resultado final obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

3.2 Discusión

La deshierbadora mecánica permite remover la mala hierba del suelo cultivado, mediante un rotovator tipo caña de timón. La geometría del apero deshierbador (ver Figura 2.9) ayuda a retirar las malas hierbas desde la raíz de manera rápida, eficiente y fácil.

El largo de la deshierbadora es de 1850mm con un peso de 20kg, que comparando con el Multimotor MM56 (ver Tabla 1.4) existe una diferencia de peso del 60%, considerando que este diseño es más corto y no posee cubierta.

Durante las pruebas de funcionamiento, con la ayuda de un cronómetro se obtiene el tiempo en el que el operador dirige la máquina para realizar el trabajo en un área de 600m², dando como resultado una velocidad de 0.3m/s, que, comparado al trabajo manual realizado por un hombre con azadón, beneficia en un 65%, esto se debe a que el ancho del deshierbador es de 300mm abarcando mayor área que el azadón, además que reduce el esfuerzo físico durante el trabajo. Con respecto al sistema de protección (sección 2.2.2.4), su diseño y material fueron favorables, ya que no permitía que la herramienta choque con elementos externos como palos de cercas y alambres, y ni que la tierra se levante en diferentes direcciones, sin embargo, como se mencionó en los resultados, al realizar el trabajo frecuente para quitar malas hierbas, este se colmataba impidiendo continuar con el deshierbe, además, de que se producía altas temperaturas en el sistema de transmisión (sinfín-corona). La solución más factible que se le pudo dar, es trabajar en lapsos de 30min.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó una máquina para deshierbado cuya función principal es remover la mala hierba de sembríos de ciclo corto, verificando su funcionamiento por medio del protocolo de pruebas.

Se realizó una investigación de equipos relacionados a la deshierbadora disponibles en el mercado, determinando varios parámetros como los materiales, la forma y dimensiones de los diferentes elementos que conforman la máquina considerando, además, las condiciones de suelo y los requerimientos por parte del usuario.

Se analizó mediante diseño concurrente el estudio de cinco módulos, donde se obtuvo la mejor alternativa empleando el método de criterios ponderados, para garantizar la obtención de la solución global más idónea que permita el removimiento de las malas hierbas.

Se logró obtener dimensiones óptimas (ver Tabla 2.25) y selección del material correcto con la ayuda del análisis de los criterios de falla para la obtención de los elementos que conforman la máquina.

Se determinó las cargas que actúan en el sistema como la fuerza de tiro ya que esta provoca esfuerzos que afectan a la máquina en puntos críticos de los elementos que la conforman, asegurando un correcto funcionamiento de la deshierbadora y una larga vida útil.

Se presentó en un plano conjunto cada uno de los elementos que corresponden a la máquina, un plano de subconjunto que indica el apero con sus partes y por último ocho planos de taller indicando las dimensiones y tolerancias que tienen las piezas para ser ensambladas, con esto se garantiza la correcta fabricación de los elementos.

Se construyó un eje de entrada sinfín, un eje de salida, una corona, un acople de forma hexagonal, un apero deshierbador y una cubierta con sus respectivas tolerancias, con esto se logró el montaje de la máquina.

En la prueba de funcionamiento se determinó que al trabarse la herramienta de deshierbe con las malas hierbas acumuladas, el sistema de transmisión realiza un trabajo más forzado por lo que hace que se recalienten las piezas internas generando alta temperatura en la carcasa haciendo difícil el retiro manual de las hierbas. Por otro lado, las cuchillas del apero tienen una medida de 85 mm y con configuración tipo caña de timón, determinando que la profundidad del deshierbado es adecuada ya que arranca la mala hierba con gran facilidad.

Al analizar el costo de la máquina, se establece que su valor es de 826.64 USD, esto se debe a que los materiales utilizados tienen una alta resistencia a fatiga, a impactos y corrosión, otro factor de incremento del precio fue la mano de obra, debido a que los elementos tienen cierta complejidad en su diseño, sin embargo, el precio reduciría en caso de producirse en línea.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda ensamblar la máquina entre dos personas para centrar y ajustar correctamente las piezas en el sistema de transmisión ya que se encarga de mover los aperos, con esto se asegura que no exista desbalanceo en los elementos y permita un movimiento rotatorio estable.

Se sugiere verificar que los elementos del sistema de transmisión estén correctamente lubricados, con la finalidad de reducir la fricción entre ellos, alargando su tiempo de vida útil. Además, agregar al motor la mezcla correcta de gasolina y aceite 2T para motoguadaña, con esto se asegura que el motor no sufra daños.

Se recomienda no realizar trabajos en donde el terreno tenga mala hierba con altura superior a los 500 mm ya que al ser arrancada se envuelve en el apero y provoca que se sobrecaliente el sistema de transmisión y, además, hace que se detenga el movimiento rotatorio de la herramienta de corte.

Después de cada trabajo es recomendable desmontar y observar cómo se encuentran los elementos para posteriormente realizar una planificación de mantenimiento preventivo ya sea mensual o anual, dependiendo el uso de la máquina.

Como la máquina no posee soportes ni puntos de apoyo, el ser humano debe sobrellevar todo el peso de la deshierbadora con la ayuda de un arnés, por lo que se sugiere que las manceras deben estar colocadas de manera correcta equilibrando el centro de gravedad.

Referencias Bibliográficas

- [1] MAG, «PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA DE ECUADOR AÑO 2019 Resumen», p. 10, 2020.
- [2] A. García, «Maquinaria agrícola en Ecuador», pp. 1-9, 2015.
- [3] S. Martínez y P. Najera, «Diseño y construcción de un motocultor para cultivo de productos de ciclo corto en terrenos pequeños», Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020.
- [4] E. López Cárdenas, «Diseño de una planta para producción en serio de herramienta para el motocultivador», Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989.
- [5] M. Pumisacho y S. Sherwood, «El cultivo de la papa en Ecuador», Quito-Ecuador, 2002.
- [6] E. R. Basantes Morales, «Manejo de los cultivos del Ecuador», *ESPE (Universidad las Fuerzas Armadas)*, p. 145, 2015.
- [7] N. Gómez-Calderón, K. Villagra-Mendoza, y M. Solórzano-Quintana, «La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)», *Rev. Technol. en Marcha*, vol. 31, n.º 1, p. 170, 2018.
- [8] F. Shaxson y R. Barber, «Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo», *Boletín Suelos la FAO 79*, p. 111, 2005.
- [9] FAO, «Recomendaciones para el manejo de malezas», *FAO (Organización las Nac. Unidas para la Aliment. y la Agric.)*, vol. 1, pp. 1-61, 2008.
- [10] J. Borja Vivero y R. Valdivia Álvarez, *Atención Primaria: Introducción*, vol. 34, n.º 8. Quito, 2004.
- [11] B. Analuiza y C. Benavides, «Construcción Y Selección De Materiales De Aspas Para Motocultor Yto Df 15L Mediante Proceso De Forja Para Reducir La Tasa De Desgaste Respecto a Las Aspas De Acero Tradicional Para Uso Agrícola», 2017.
- [12] J. L. GUEVARA y V. SUQUILLO, «Diseño Y Construcción De Un Apero Para Desherbar La Tierra Aprovechando La Energía Mecánica Del Motocultor Yto Df», Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018.
- [13] J. E. Ashburner y B. G. Sims, *Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza*. San José, Costa Rica, 1984.
- [14] ASAE D497.4, «Agricultural Machinery Management Data», *Science (80-)*, vol. 85, n.º 2210, pp. 350-357, 2000.
- [15] J. . Iturri y C. Pérez de Larraya, «Maquinaria forestal», *Manual de Prevención de riesgos labores en el sector agrario*, pp. 1-19, 2000.
- [16] Ministerio de medioambiente medio rural y marino, «Rotocultivador- rotocultor», p.

- 3, 2008.
- [17] Supereli, «Motoguadaña de 2 tiempos», Quito-Ecuador, p. 6.
- [18] Stihl, «Multimotor MM 56», Quito-Ecuador, p. 200, 2019.
- [19] Supereli, «Ruedas deshierbadora», Quito-Ecuador, p. 6.
- [20] M. D. Barreno Barreno y J. M. Jácome Barrionuevo, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO ROBOTIZADO PARA EL DESHIERBE AUTOMÁTICO EN ZONAS PLANAS DE CULTIVOS DE MAÍZ EN SU ETAPA INICIAL, A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE VISIÓN ARTIFICIAL, PARA LA ASOCIACIÓN “UNIÓN Y PROGRESO” DEL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGUR», Escuela Superior Politécnica del Ejercito, 2017.
- [21] S. L. Young y F. J. Pierce, «Automation: The Future of Weed Control in Cropping Systems», *Springer*, pp. 125-131, 2014.
- [22] C. Riba Romeva, *Diseño concurrente*. 2002.
- [23] Songshun, «Acero 4340 • JIS SNCM439 • DIN 1.6563», 2012. [En línea]. Disponible en: <https://es.steelpurchase.com/4340-sncm439-16563-acero/>.
- [24] C. Designaci, H. B. Recocido, H. B. Recocido, H. B. Recocido, y T. Revenido, «Aceros de Herramientas Aceros rápidos».
- [25] A. Espinosa, «Tecnologías - Los plásticos I.E.S», *Tecnologías*, vol. 1, pp. 1-6, 2014.
- [26] Shigley, T. Herlambang, E. B. Djatmiko, y H. Nurhadi, «Mechanical Engineering Mechanical Engineering Mechanical Engineering Engineering», *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 9, n.º 6, pp. 553-560, 2015.
- [27] J. Arroyave Londoño, C. Romero Piedrahita, y C. Montilla Montaña, «Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín-corona», *Sci. Tech.*, vol. 1, n.º 52, pp. 204-210, 2012.
- [28] Rodavigo. S.A, «Chaveta según la normativa UNI 6604-69-din 6885», p. 9, 2019.

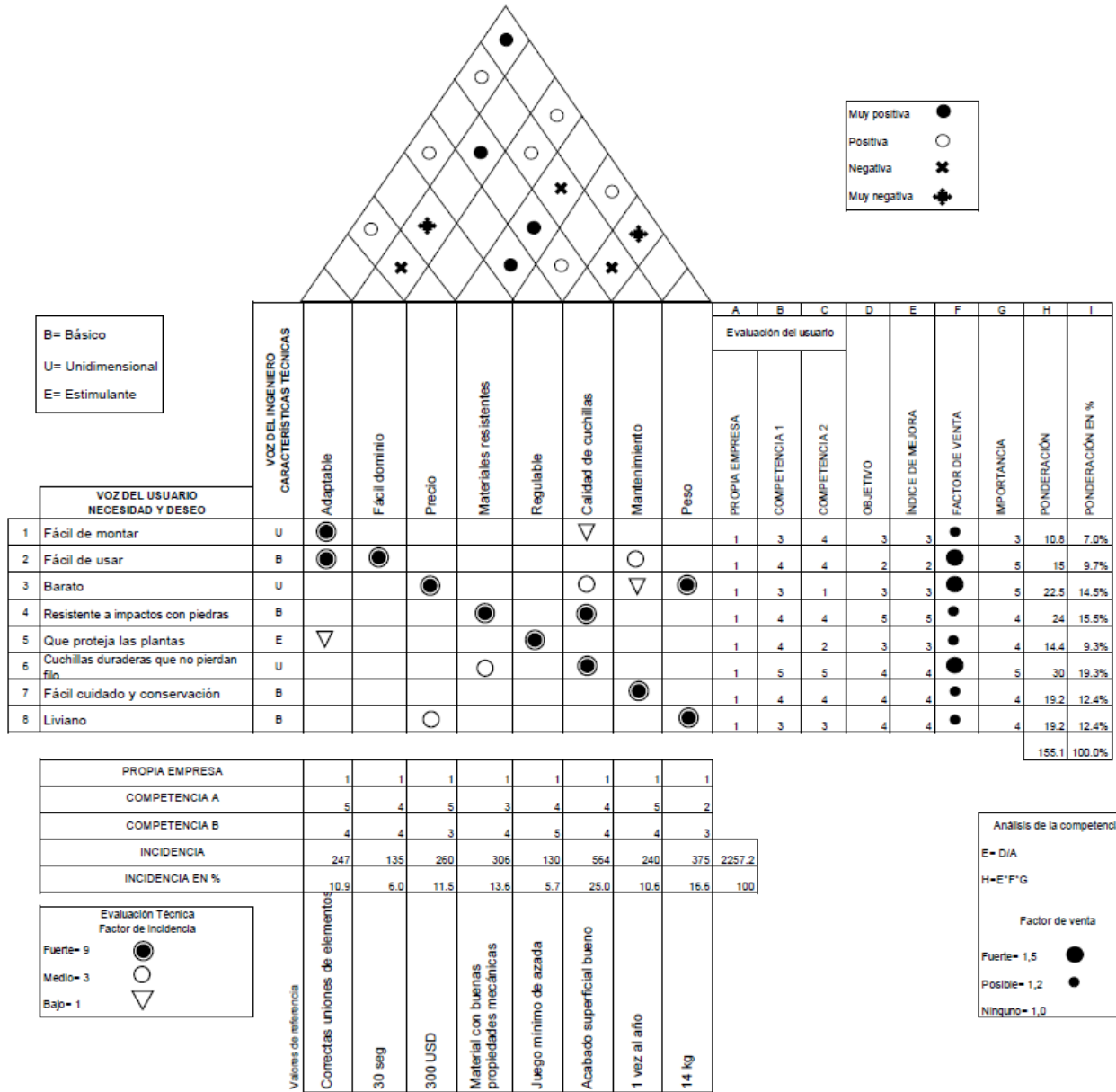
Anexos

ANEXO I

Parámetros de calado y rango esperado en calados estimados por los parámetros del modelo para implementos de labranza y siembra.

Implement	SI Units			English Units			Soil Parameters			Range ±%		
	Width units	Machine Parameters		Width units	Machine Parameters		F ₁	F ₂	F ₃			
		A	B		C	A					B	C
MAJOR TILLAGE TOOLS												
Subsoiler/Manure Injector												
narrow point	tools	226	0.0	1.8	tools	129	0.0	2.7	1.0	0.70	0.45	50
30 cm winged point	tools	294	0.0	2.4	tools	167	0.0	3.5	1.0	0.70	0.45	50
Moldboard Plow												
	m	652	0.0	5.1	ft	113	0.0	2.3	1.0	0.70	0.45	40
Chisel Plow												
5 cm straight point	tools	91	5.4	0.0	tools	52	4.9	0.0	1.0	0.85	0.65	50
7.5 cm shovel/35 cm sweep	tools	107	6.3	0.0	tools	61	5.8	0.0	1.0	0.85	0.65	50
10 cm twisted shovel	tools	123	7.3	0.0	tools	70	6.7	0.0	1.0	0.85	0.65	50
Sweep Plow												
primary tillage	m	390	19.0	0.0	ft	68	5.2	0.0	1.0	0.85	0.65	45
secondary tillage	m	273	13.3	0.0	ft	48	3.7	0.0	1.0	0.85	0.65	35
Disk Harrow, Tandem												
primary tillage	m	309	16.0	0.0	ft	53	4.6	0.0	1.0	0.88	0.78	50
secondary tillage	m	216	11.2	0.0	ft	37	3.2	0.0	1.0	0.88	0.78	30
Disk Harrow, Offset												
primary tillage	m	364	18.8	0.0	ft	62	5.4	0.0	1.0	0.88	0.78	50
secondary tillage	m	254	13.2	0.0	ft	44	3.8	0.0	1.0	0.88	0.78	30
Disk Gang, Single												
primary tillage	m	124	6.4	0.0	ft	21	1.8	0.0	1.0	0.88	0.78	25
secondary tillage	m	86	4.5	0.0	ft	15	1.3	0.0	1.0	0.88	0.78	20
Coulters												
smooth or ripple	tools	55	2.7	0.0	tools	31	2.5	0.0	1.0	0.88	0.78	25
bubble or flute	tools	66	3.3	0.0	tools	37	3.0	0.0	1.0	0.88	0.78	25
Field Cultivator												
primary tillage	tools	46	2.8	0.0	tools	26	2.5	0.0	1.0	0.85	0.65	30
secondary tillage	tools	32	1.9	0.0	tools	19	1.8	0.0	1.0	0.85	0.65	25
Row Crop Cultivator												
S-line	rows	140	7.0	0.0	rows	80	6.4	0.0	1.0	0.85	0.65	15
C-shank	rows	260	13.0	0.0	rows	148	11.9	0.0	1.0	0.85	0.65	15
No-till	rows	435	21.8	0.0	rows	248	19.9	0.0	1.0	0.85	0.65	20
Rod Weeder												
	m	210	10.7	0.0	ft	37	3.0	0.0	1.0	0.85	0.65	25
Disk-Bedder												
	rows	185	9.5	0.0	rows	106	8.7	0.0	1.0	0.88	0.78	40
MINOR TILLAGE TOOLS												
Rotary Hoe												
	m	600	0.0	0.0	ft	41	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	30
Coil Tine Harrow												
	m	250	0.0	0.0	ft	17	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	20
Spike Tooth Harrow												
	m	600	0.0	0.0	ft	40	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	30
Spring Tooth Harrow												
	m	2,000	0.0	0.0	ft	135	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	35
Roller Packer												
	m	600	0.0	0.0	ft	40	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50
Roller Harrow												
	m	2,600	0.0	0.0	ft	180	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50
Land Plane												
	m	8,000	0.0	0.0	ft	550	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	45
SEEDING IMPLEMENTS												
Row Crop Planter, prepared seedbed												
mounted												
seeding only	rows	500	0.0	0.0	rows	110	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25
drawn												
seeding only	rows	900	0.0	0.0	rows	200	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25
seed, fertilizer, herbicides	rows	1,550	0.0	0.0	rows	350	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25
Row Crop Planter, no-till												
seed, fertilizer, herbicides												
1 fluted coulters/row	rows	1,820	0.0	0.0	rows	410	0.0	0.0	1.0	0.96	0.92	25
Row Crop Planter, zone-till												
seed, fertilizer, herbicides												
3 fluted coulters/row	rows	3,400	0.0	0.0	rows	765	0.0	0.0	1.0	0.94	0.82	35
Grain Drill w/press wheels												
< 2.4 m drill width	rows	400	0.0	0.0	rows	90	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25
2.4 to 3.7 m drill width	rows	300	0.0	0.0	rows	67	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	25
> 3.7 m drill width	rows	200	0.0	0.0	rows	25	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	25
Grain Drill, no-till												
1 fluted coulters/row	rows	720	0.0	0.0	rows	160	0.0	0.0	1.0	0.92	0.79	35
Hoe Drill												
primary tillage	m	6,100	0.0	0.0	ft	420	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50
secondary tillage	m	2,900	0.0	0.0	ft	200	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50
Pneumatic Drill												
	m	3,700	0.0	0.0	ft	250	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	50

ANEXO II CASA DE LA CALIDAD



ANEXO III

MÓDULO 3

1. Evaluación de peso específico de cada criterio del módulo 3

CRITERIO	Costo	Complejidad de diseño	Transformación mov.	Fácil montaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0	0	0	1	0.1
Complejidad de diseño	1		1	1	4	0.4
Transformación de mov.	1	0		1	3	0.3
Fácil montaje	1	0	0		2	0.2
				SUMA	10	1

Complejidad de diseño > Transformación de mov. > Fácil montaje > Costo

Evaluación de pesos específicos de alternativas con cada criterio para módulo 3

1.1. Complejidad de diseño

Complejidad diseño	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.5
Alternativa 2	0.5		1.5	0.5
		SUMA	3	1

Alternativa 1 = Alternativa 2

1.2. Transformación de movimiento

Transformación mov.	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.67
Alternativa 2	0		1	0.33
		SUMA	3	1

Alternativa 1 > Alternativa 2

1.3. Fácil montaje

Fácil montaje	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.67
Alternativa 2	0		1	0.33
		SUMA	3	1

Alternativa 1 > Alternativa 2

1.4. Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5		1.5	0.50
		SUMA	3	1

Alternativa 1 = Alternativa 2

MÓDULO 4

2. Evaluación de peso específico de cada criterio del módulo 3

CRITERIO	Costo	Durabilidad herramienta	Fuerza de tracción	Fácil acople	Bajo peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0	0	0	0	1	0.07
Durabilidad herramienta	1		0	1	1	4	0.27
Fuerza de tracción	1	1		1	1	5	0.33
Fácil acople	1	0	0		1	3	0.20
Bajo peso	1	0	0	0		2	0.13
					SUMA	15	1

Fuerza de tracción > Durabilidad herramienta > Fácil acople > Bajo peso > Costo

Evaluación de pesos específicos de alternativas con cada criterio para módulo 3

2.1. Fuerza de tracción

Fuerza de tracción	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.5
Alternativa 2	0.5		1.5	0.5
		SUMA	3	1

Alternativa 1 = Alternativa 2

2.2. Durabilidad de herramienta

Durabilidad herramienta	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
		SUMA	3	1

Alternativa 2 > Alternativa 1

2.3. Fácil acople

Fácil acople	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5		1.5	0.50
		SUMA	3	1

Alternativa 1 = Alternativa 2

2.4. Bajo peso

Bajo peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
		SUMA	3	1

Alternativa 2 > Alternativa 1

2.5. Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.50
Alternativa 2	0.5		1.5	0.50
		SUMA	3	1

Alternativa 1 = Alternativa 2

ANEXO IV

Figura A-15-8: Eje redondo con filete en el hombro en torsión

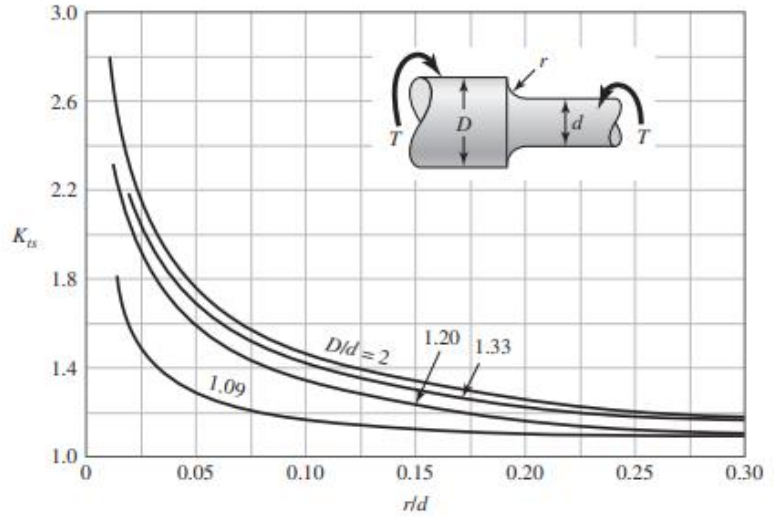


Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

Figura A-15-9: Eje redondo con filete en el hombro en flexión.

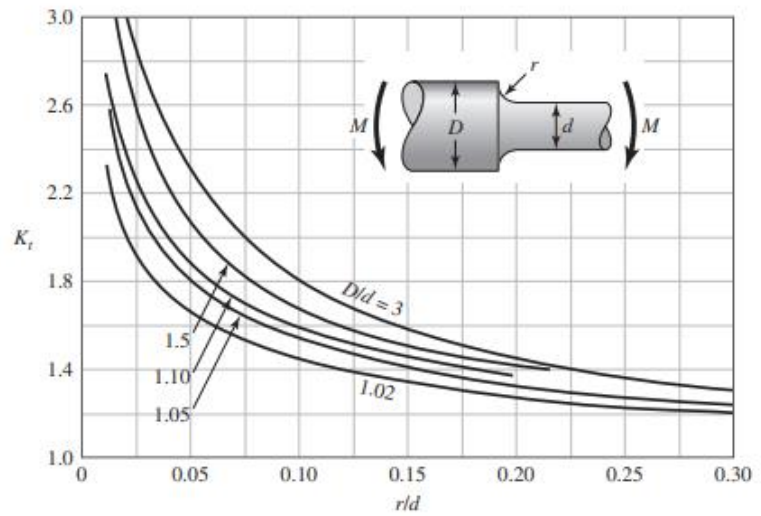


Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

ANEXO V

Figura 6-20: Sensibilidad a la muesca, sometidos a flexión

Figura 6-20

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de q correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm). [De George Sines y J.L. Waisman (eds.), *Metal Fatigue*, McGraw-Hill, Nueva York, Copyright© 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]

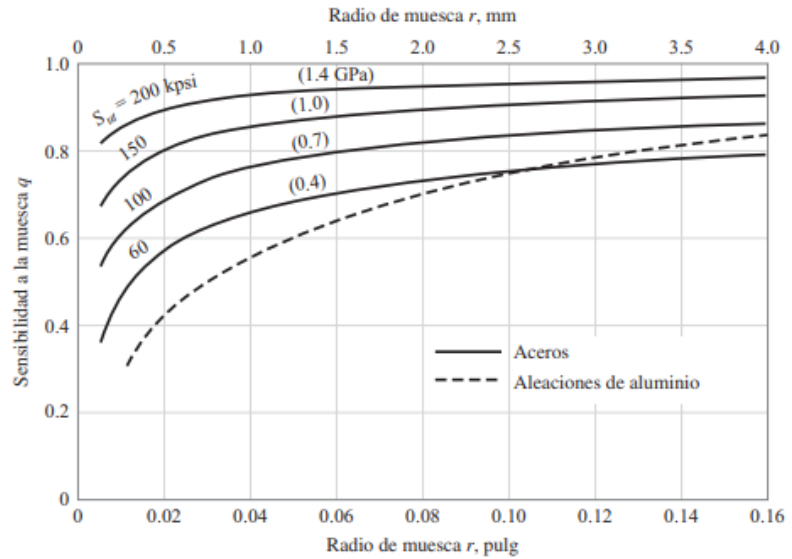
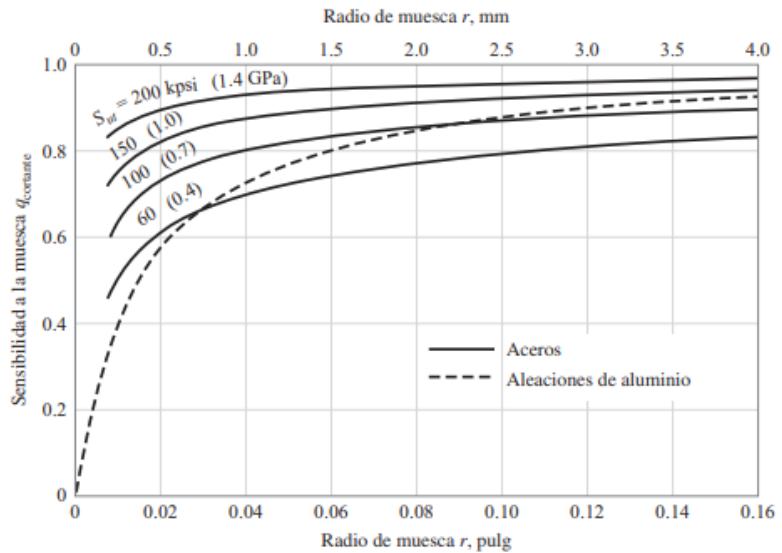


Figura 6-21: Sensibilidad a la muesca, sometidos a torsión

Figura 6-21

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de q_{cortante} correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm).



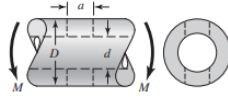
ANEXO VI

Tabla A-16: Factores aproximados de concentración del esfuerzo. K_t , de flexión de una barra redonda o un tubo con agujero redondo transversal

Tabla A-16

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_t , de flexión de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal.

Fuente: R.E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 146, 235.



El esfuerzo flexionante nominal es $\sigma_0 = M/Z_{\text{neto}}$, donde Z_{neto} es un valor reducido del módulo de sección y se define por

$$Z_{\text{neto}} = \frac{\pi A}{32D} (D^4 - d^4)$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

a/D	d/D					
	0.9		0.6		0	
	A	K_t	A	K_t	A	K_t
0.050	0.92	2.63	0.91	2.55	0.88	2.42
0.075	0.89	2.55	0.88	2.43	0.86	2.35
0.10	0.86	2.49	0.85	2.36	0.83	2.27
0.125	0.82	2.41	0.82	2.32	0.80	2.20
0.15	0.79	2.39	0.79	2.29	0.76	2.15
0.175	0.76	2.38	0.75	2.26	0.72	2.10
0.20	0.73	2.39	0.72	2.23	0.68	2.07
0.225	0.69	2.40	0.68	2.21	0.65	2.04
0.25	0.67	2.42	0.64	2.18	0.61	2.00
0.275	0.66	2.48	0.61	2.16	0.58	1.97
0.30	0.64	2.52	0.58	2.14	0.54	1.94

K_{ts} , de una barra redonda o un tubo con agujero redondo transversal, carga en torsión

Tabla A-16 (continuación)

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_{ts} , de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal, carga en torsión. Fuente: R.E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 148, 244.



El esfuerzo máximo ocurre en el interior del agujero, un poco debajo de la superficie del eje. El esfuerzo cortante nominal es $\tau_0 = TD/2J_{\text{neto}}$, donde J_{neto} es un valor reducido del segundo momento polar del área y se define por

$$J_{\text{neto}} = \frac{\pi A (D^4 - d^4)}{32}$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

a/D	d/D									
	0.9		0.8		0.6		0.4		0	
	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}
0.05	0.96	1.78							0.95	1.77
0.075	0.95	1.82							0.93	1.71
0.10	0.94	1.76	0.93	1.74	0.92	1.72	0.92	1.70	0.92	1.68
0.125	0.91	1.76	0.91	1.74	0.90	1.70	0.90	1.67	0.89	1.64
0.15	0.90	1.77	0.89	1.75	0.87	1.69	0.87	1.65	0.87	1.62
0.175	0.89	1.81	0.88	1.76	0.87	1.69	0.86	1.64	0.85	1.60
0.20	0.88	1.96	0.86	1.79	0.85	1.70	0.84	1.63	0.83	1.58
0.25	0.87	2.00	0.82	1.86	0.81	1.72	0.80	1.63	0.79	1.54
0.30	0.80	2.18	0.78	1.97	0.77	1.76	0.75	1.63	0.74	1.51
0.35	0.77	2.41	0.75	2.09	0.72	1.81	0.69	1.63	0.68	1.47
0.40	0.72	2.67	0.71	2.25	0.68	1.89	0.64	1.63	0.63	1.44

ANEXO VII

Inspección del estado de los elementos

PROTOCOLO DE PRUEBAS				
Responsables	Alejandra Analuisa - Juan Granja			
Tipo de terreno	Franco			
Estado terreno	Con mala hierba altura 5cm			
Fecha	12/6/2022			
Inspección de los elementos y montaje de piezas				
Elemento	Estado			Observaciones
	Malo	Bueno	Muy Bueno	
Motor			x	
Eje de entrada Sinfín			x	
Eje de salida			x	
Corona			x	
Herramienta de corte			x	
Carcasa			x	
Acople motoguadaña - Eje sinfín			x	

PROTOCOLO DE PRUEBAS				
Responsables	Alejandra Analuisa - Juan Granja			
Tipo de terreno	Franco- Arenoso			
Estado terreno	Con mala hierba altura			
Fecha	09/07/2022			
Inspección de los elementos y montaje de piezas				
Elemento	Estado			Observaciones
	Malo	Bueno	Muy Bueno	
Motor			x	
Eje de entrada Sinfín			x	
Eje de salida			x	
Corona			x	
Herramienta de corte			x	
Carcasa			x	
Acople motoguadaña - Eje sinfín			x	

ANEXO VIII

Resultados

Protocolo de pruebas 1

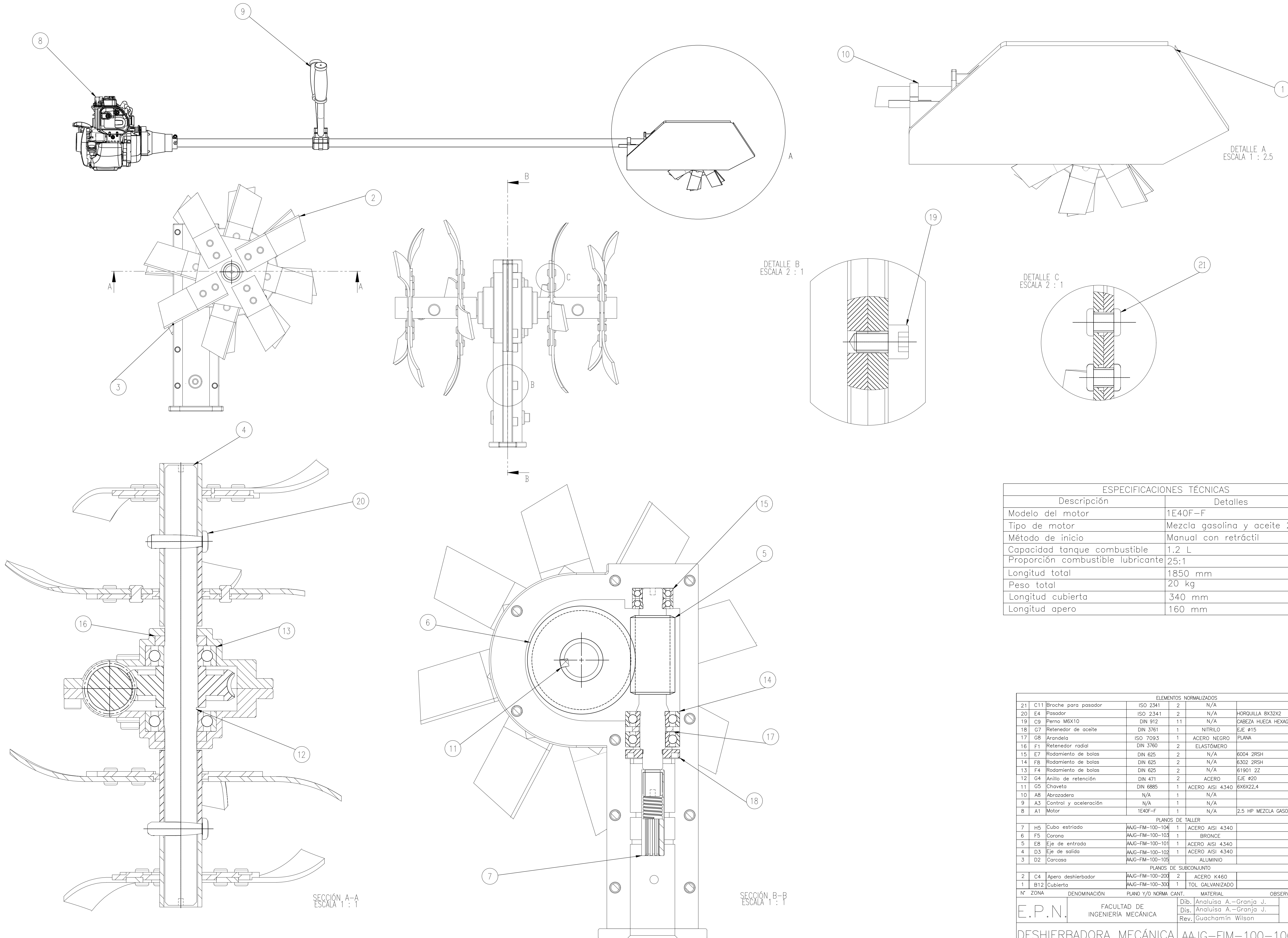


Ancho de deshierbe aproximadamente 300mm y profundidad de 70 cm

Protocolo de pruebas 2



Terreno de 30m x 20m



DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

DETALLE B
ESCALA 2 : 1

DETALLE C
ESCALA 2 : 1

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Descripción	Detalles
Modelo del motor	1E40F-F
Tipo de motor	Mezcla gasolina y aceite 2T
Método de inicio	Manual con retráctil
Capacidad tanque combustible	1.2 L
Proporción combustible lubricante	25:1
Longitud total	1850 mm
Peso total	20 kg
Longitud cubierta	340 mm
Longitud apero	160 mm

ELEMENTOS NORMALIZADOS					
21	C11	Broche para pasador	ISO 2341	2	N/A
20	E4	Pasador	ISO 2341	2	N/A
19	C9	Perno M6X10	DIN 912	11	N/A
18	G7	Retenedor de aceite	DIN 3761	1	NITRILO
17	G8	Arandela	ISO 7093	1	ACERO NEGRO
16	F1	Retenedor radial	DIN 3760	2	ELASTÓMERO
15	E7	Rodamiento de bolas	DIN 625	2	N/A
14	F8	Rodamiento de bolas	DIN 625	2	N/A
13	F4	Rodamiento de bolas	DIN 625	2	N/A
12	G4	Anillo de retención	DIN 471	2	ACERO
11	G5	Chaveta	DIN 6885	1	ACERO AISI 4340
10	A8	Abrazadera	N/A	1	N/A
9	A3	Control y aceleración	N/A	1	N/A
8	A1	Motor	1E40F-F	1	N/A

PLANOS DE TALLER					
7	H5	Cubo estriado	AAJG-FIM-100-104	1	ACERO AISI 4340
6	F5	Corona	AAJG-FIM-100-103	1	BRONCE
5	E8	Eje de entrada	AAJG-FIM-100-101	1	ACERO AISI 4340
4	D3	Eje de salida	AAJG-FIM-100-102	1	ACERO AISI 4340
3	D2	Carcasa	AAJG-FIM-100-105	1	ALUMINIO

PLANOS DE SUBCONJUNTO					
2	C4	Apero deshierbador	AAJG-FIM-100-200	2	ACERO K460
1	B12	Cubierta	AAJG-FIM-100-300	1	TOL GALVANIZADO

N° ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

E.P.N. FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 Dib. Análisis A.-Granja J.
 Dis. Análisis A.-Granja J.
 Rev. Guachamín Wilson
DESHIERBADORA MECÁNICA AAJG-FIM-100-100
 ESCALA: 1:5
 FECHA: 17-05-22

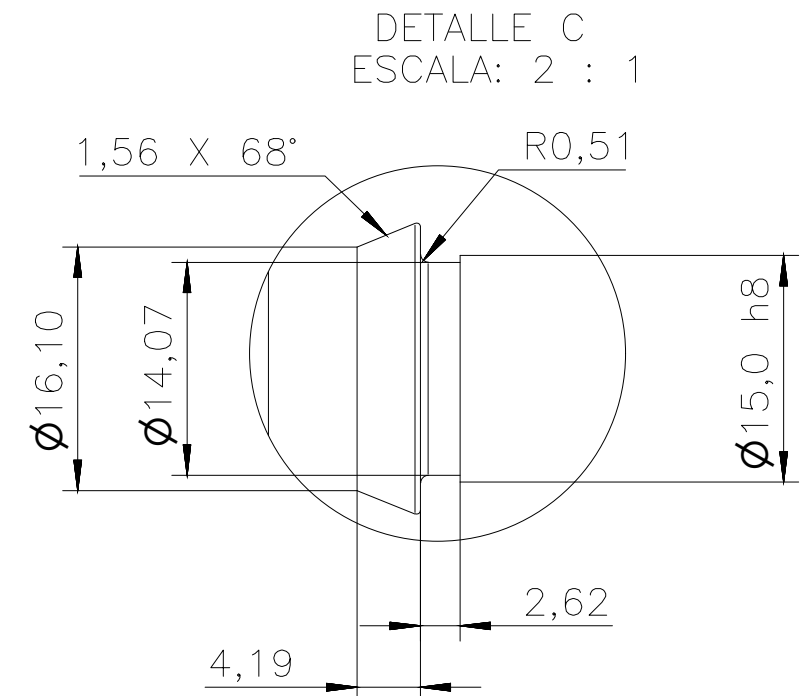
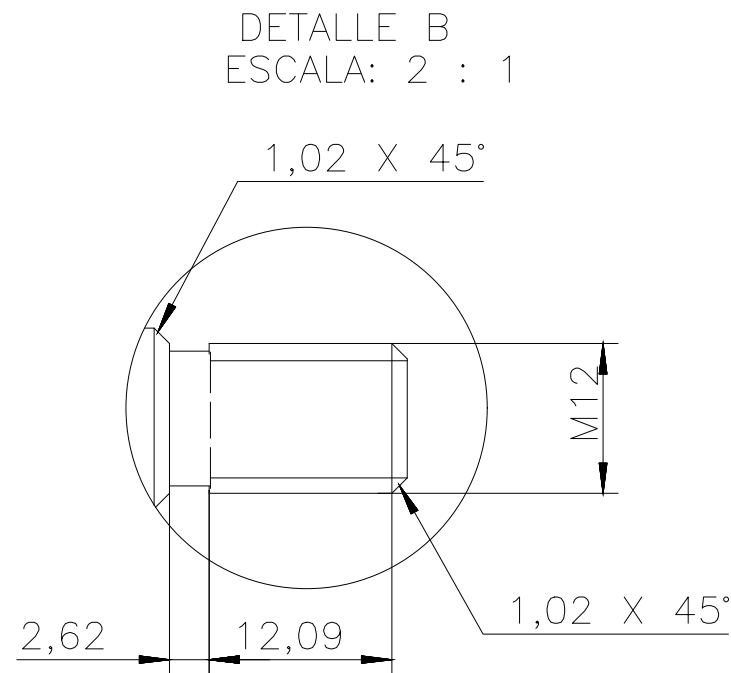
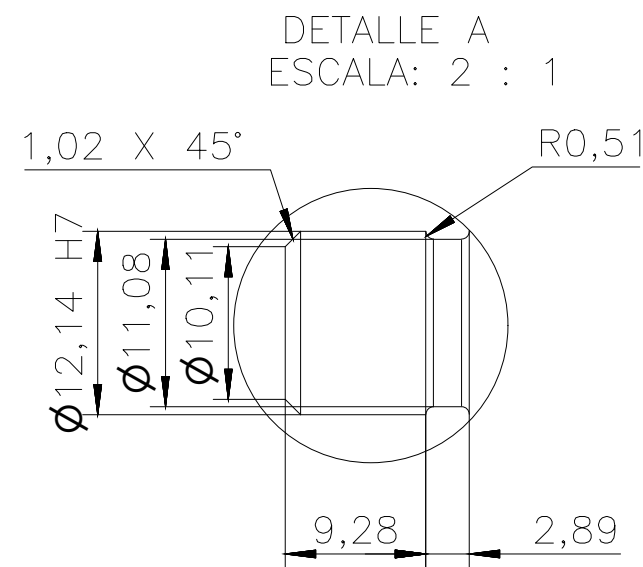
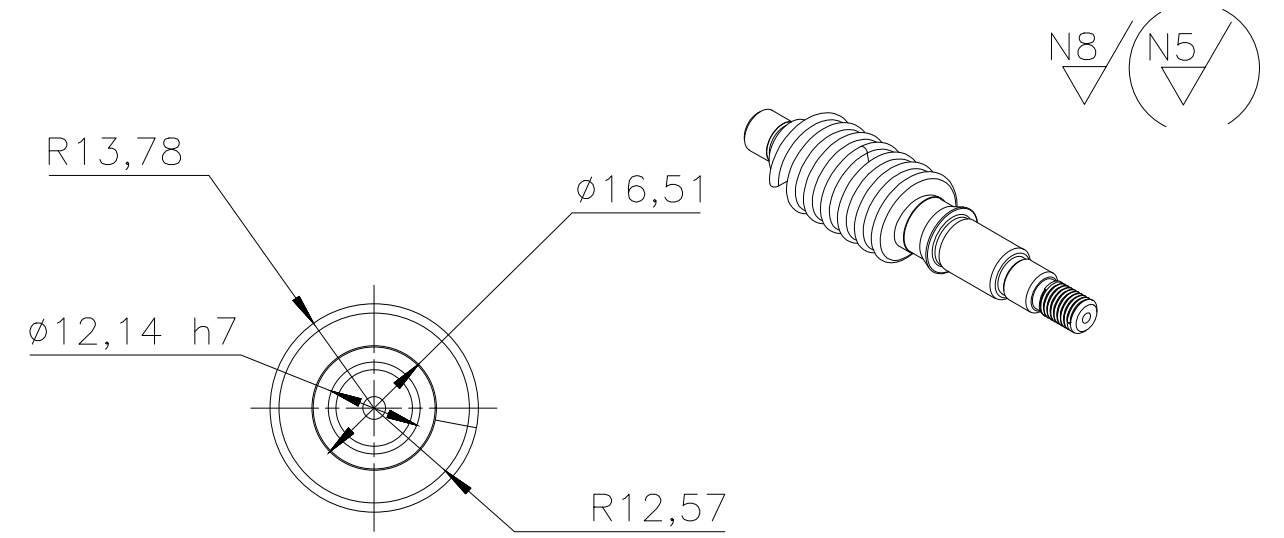
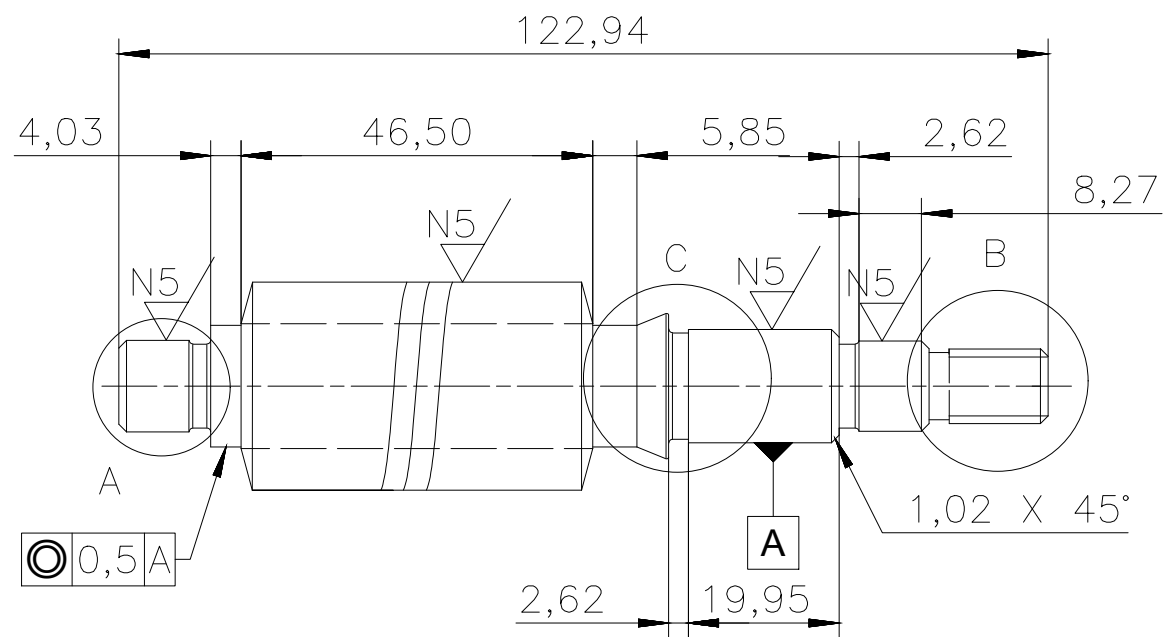
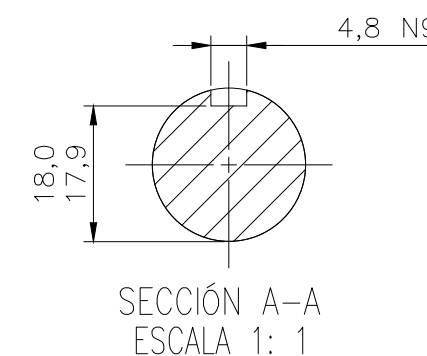
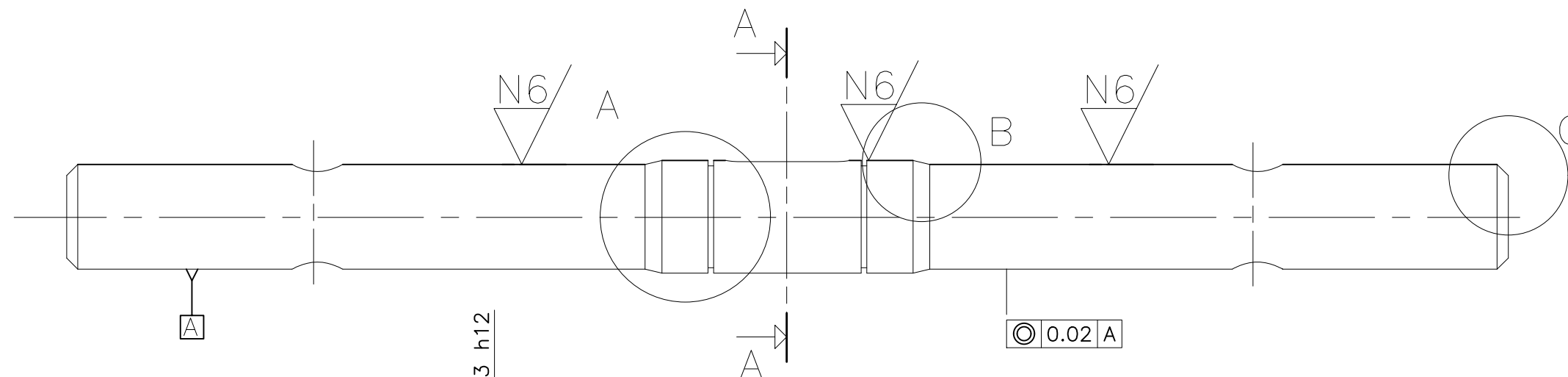


TABLA		
Descripción	Simbología	Medidas
Paso axial	px	6.35
Número de entradas	Z	1
Ángulo de presión		14.5°
Diámetro del sin fin	d	26.16
Dirección línea del hilo		Derecha

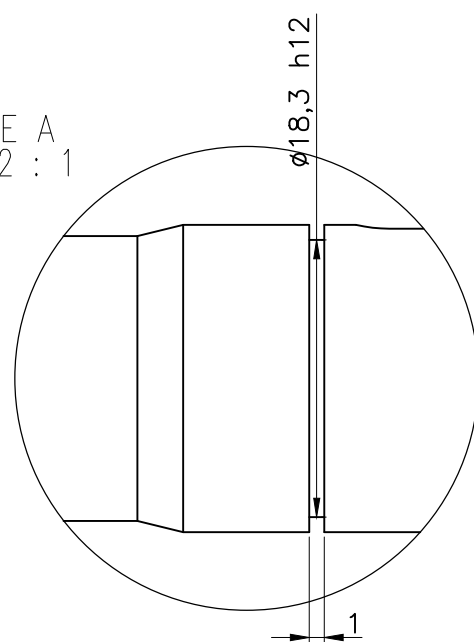
Tabla de Ajuste	
Valores	Límites
$\phi 12.14 h7$	12.14
	12.122
$\phi 15.0 h8$	15.0
	14.982

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.
MATERIAL:	ACERO AISI 4340	Escala: 1:1	Dis.	Analuisa A. Granja J.
Tol. Gral: ± 0.1			Rev.	Guachamín Wilson
EJE DE ENTRADA (SINFÍN)		AAJG-FIM-100-101	Fecha: 17/05/22	

N9/ (N6/)



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

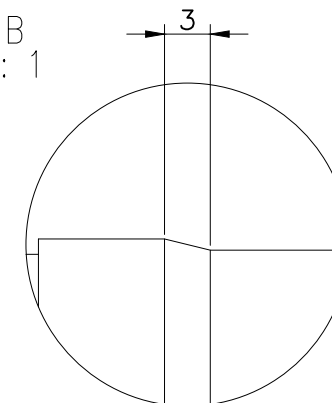
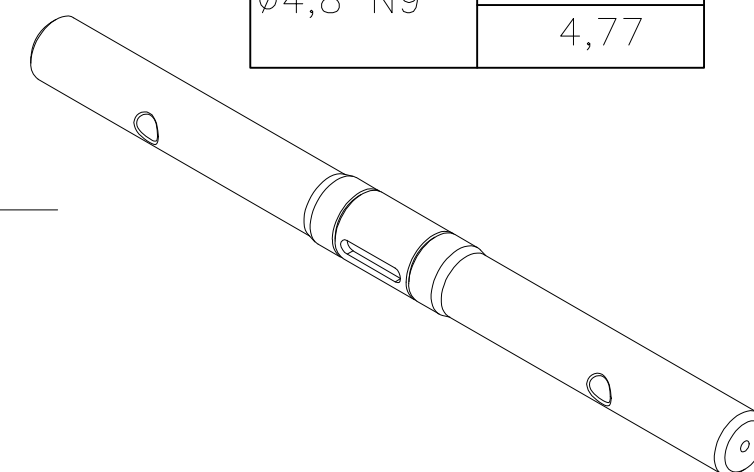
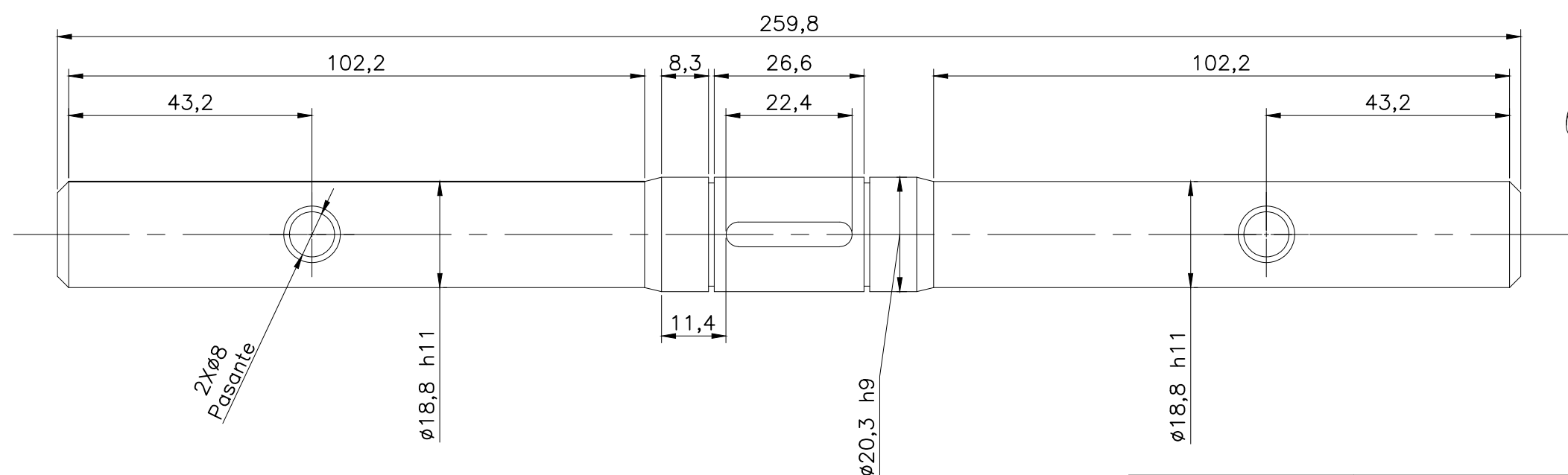


Tabla de Ajustes

Valor	Límite
ø20,3 h9	20,3
	20,248
ø18,3 h12	18,3
	18,279
ø18,8 h11	18,8
	18,67
ø4,8 N9	4,8
	4,77



Nota:

- Ranura para anillo de retención de 1 mm de profundidad.
- Eliminar filos cortantes a 2x45°

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.	
MATERIAL: ACERO AISI 4340		Tol. Gral: ± 0.1	Escala: 1:1	Dis.	Analuisa A. Granja J.
				Rev.	Guachamín Wilson
EJE DE SALIDA			AAJG-FIM-100-102		Fecha: 17/05/22

N7 / (N5)

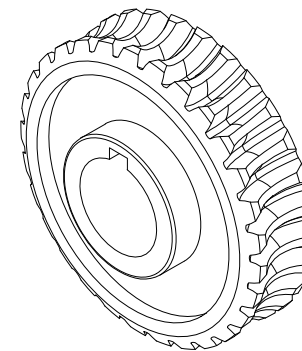
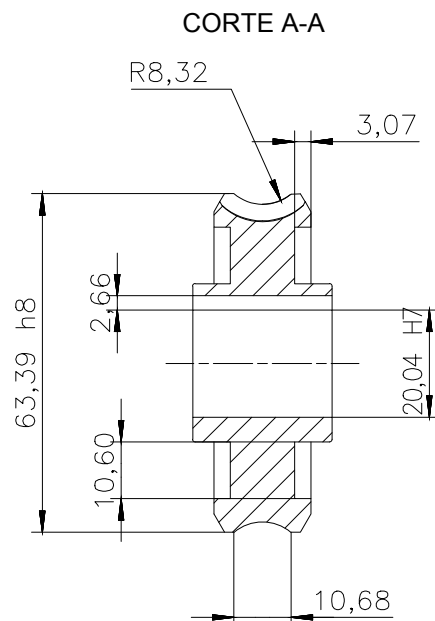
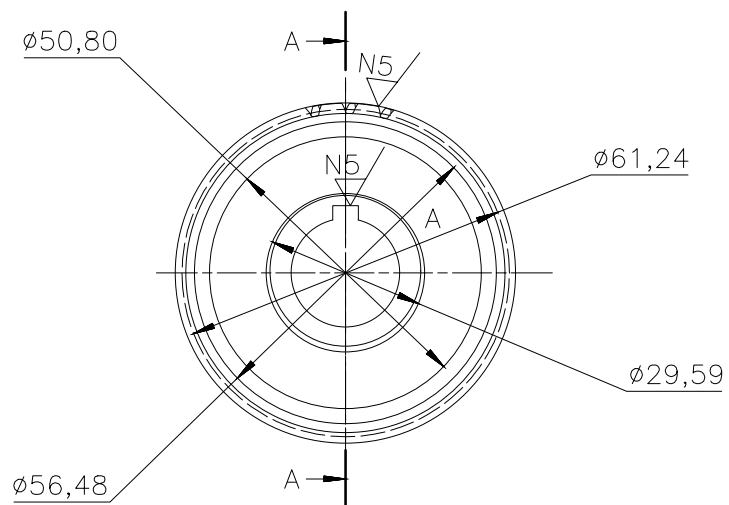
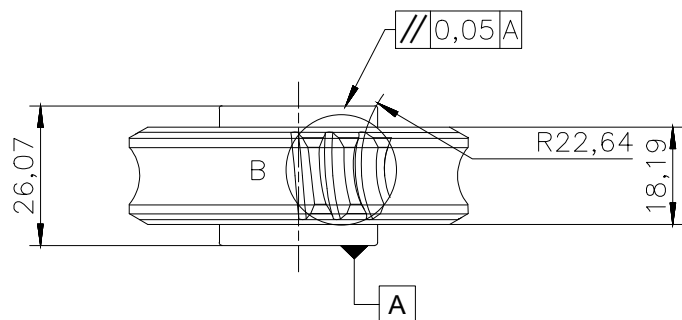
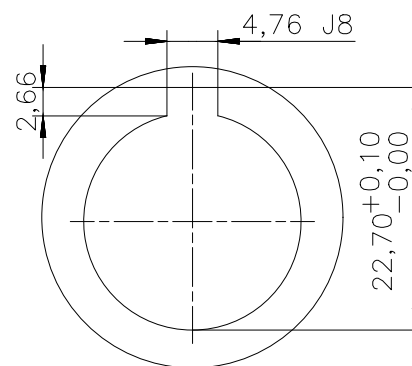


TABLA		
Descripción	Simbología	Dimensiones
Número de dientes	z	29
Paso tangencial		0.49
Diámetro de paso	D	58.67



DETALLE A
ESCALA: 2 : 1



DETALLE B
ESCALA: 2 : 1

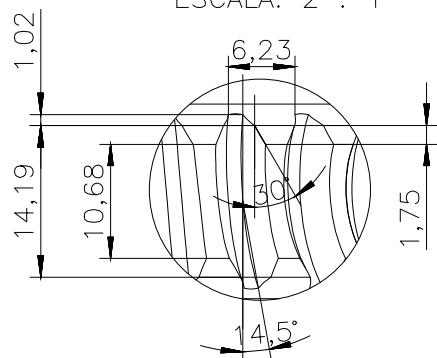
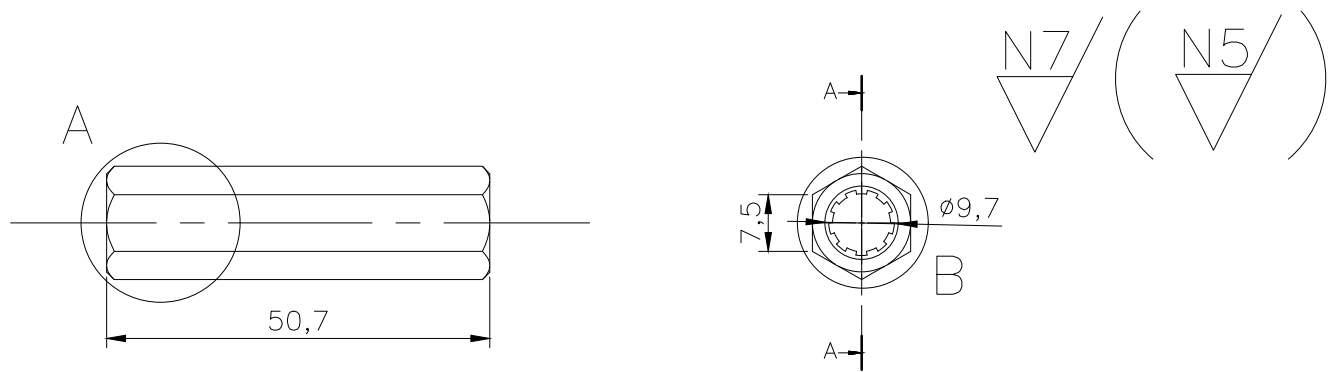
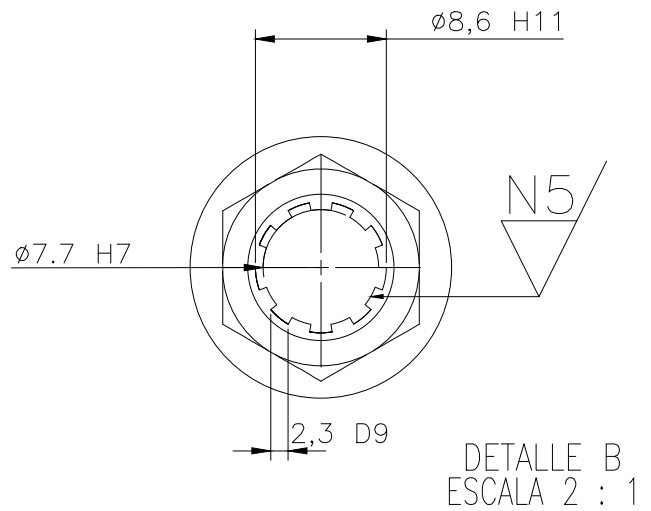
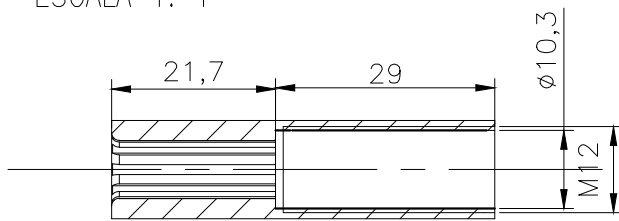


Tabla de Ajuste	
Valores	Límites
ø22.70	22.8
	22.7
ø20.04 H7	20.061
	20.04
ø63.39 h8	63.39
	63.344
ø4.76 J8	4.788
	4.752

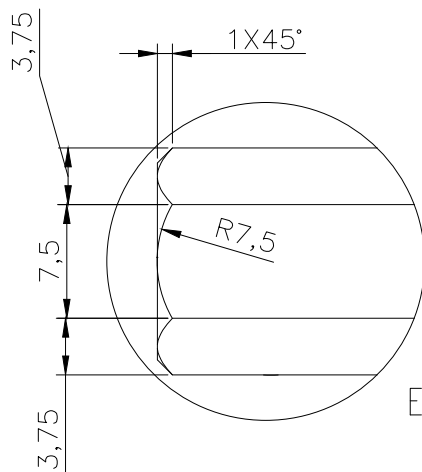
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.	
MATERIAL:	BRONCE NAVAL	Tol. Grat:	Escala:	Dis.	Analuisa A. Granja J.
		± 0.1	1:1	Rev.	Guachamín Wilson
CORONA			AAJG-FIM-100-103		Fecha:
					17/05/22



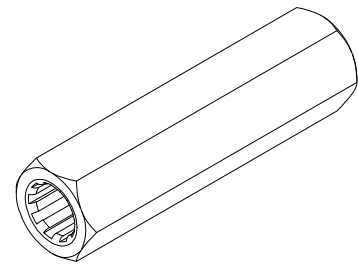
SECCIÓN A-A
ESCALA 1: 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1



DETALLE A
ESCALA 2 : 1



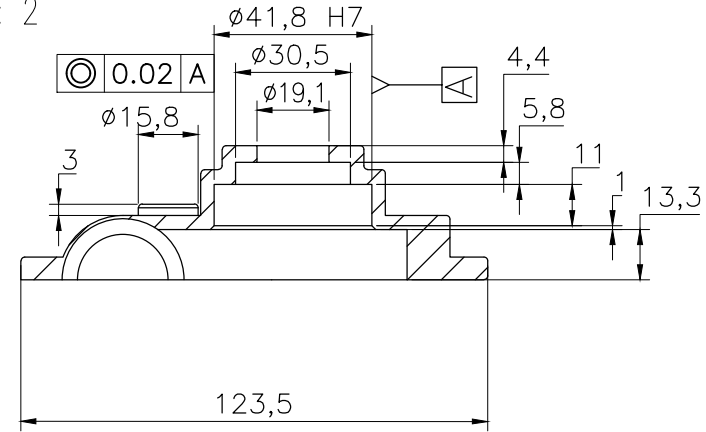
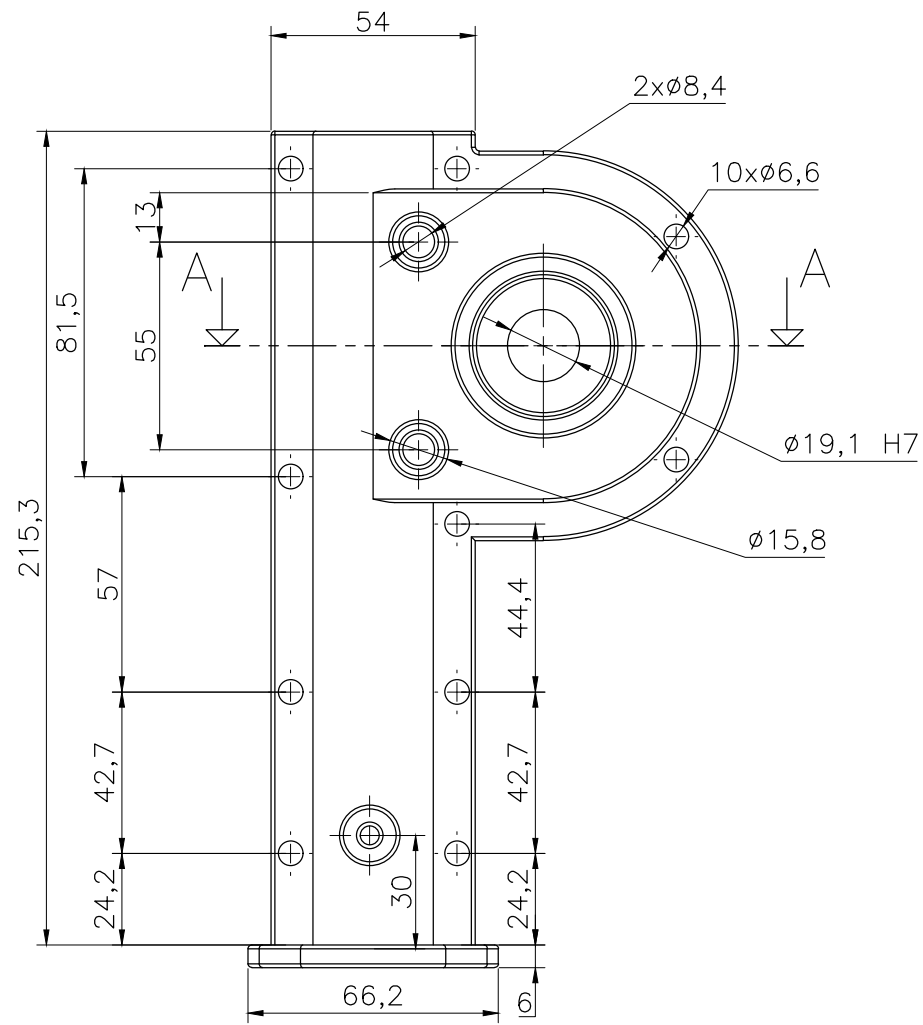
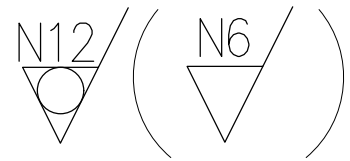
Nota:

- Eje con nervado interno, con 9 nervios en total.

Tabla de Ajustes	
Valor	Límite
ø8,6 H11	8,69
	8,6
ø7,7 H7	7,715
	7,7
ø2.3 D9	2,345
	2,325

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.
MATERIAL:	Tol. Gral:	Escala:	Dis.	Analuisa A. Granja J.
ACERO AISI 4340	± 0.1	1:1	Rev.	Guachamín Wilson
CUBO ESTRIADO		AAJG-FIM-100-104		Fecha: 17/05/22

SECCIÓN A-A
ESCALA 1: 2



DETALLE B
ESCALA 1: 2

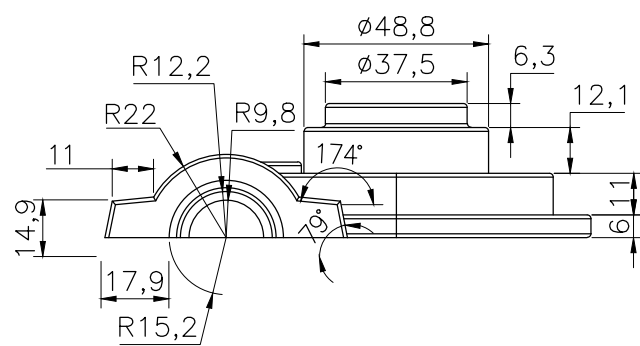
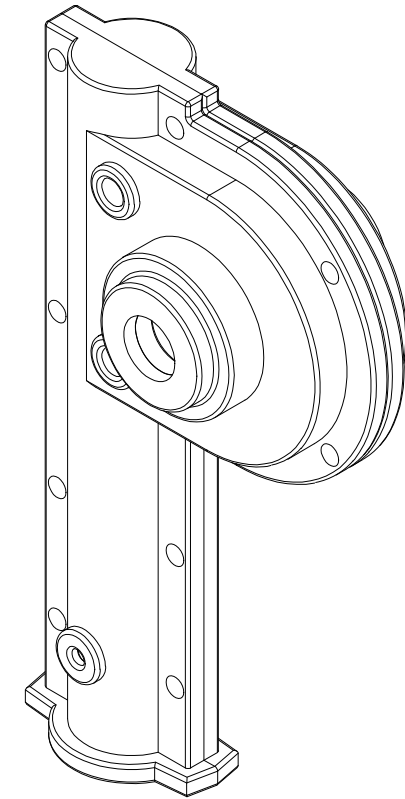
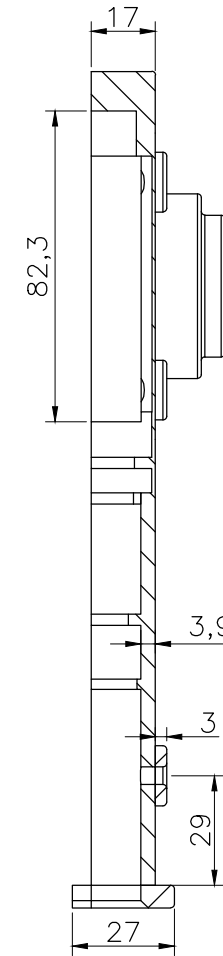
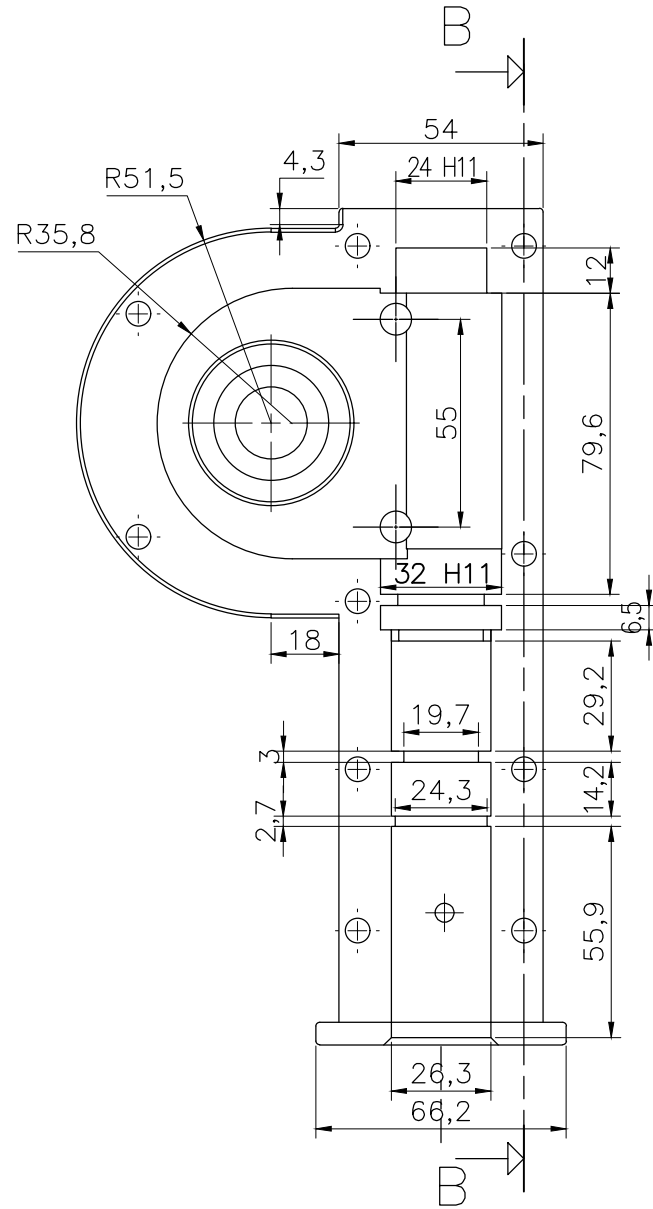
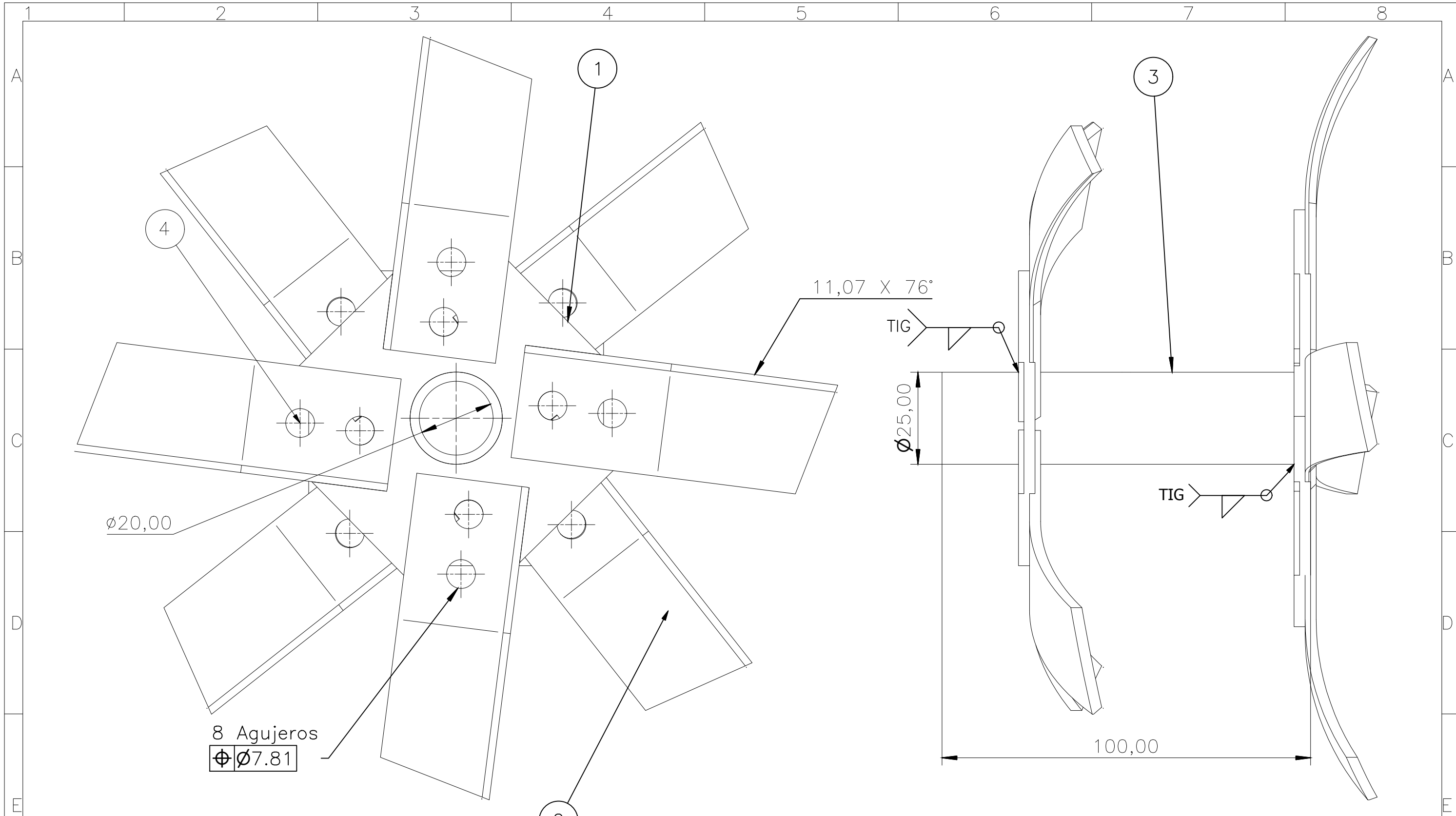


Tabla de Ajustes	
Valor	Límite
ø19,1 H7	19,121
	19,1
ø41,8 H7	41,839
	41,8
ø32 H11	32.160
	32
ø24 H11	24,13
	24

Nota:

- Proceso de fundición.
- Eliminar las aristas vivas.
- Proceso de rectificado en la parte interna con acabado superficial N6.

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.
MATERIAL:	ALUMINIO	Tol. Gral: ± 0.1	Dis.	Analuisa A. Granja J.
			Rev.	Guachamín Wilson
CARCASA		Escala: 1:2.5	AAJG-FIM-100-105	Fecha: 17/05/22



8 Agujeros
 $\varnothing 7.81$

$\varnothing 20,00$

11,07 X 76°

TIG

$\varnothing 225,00$

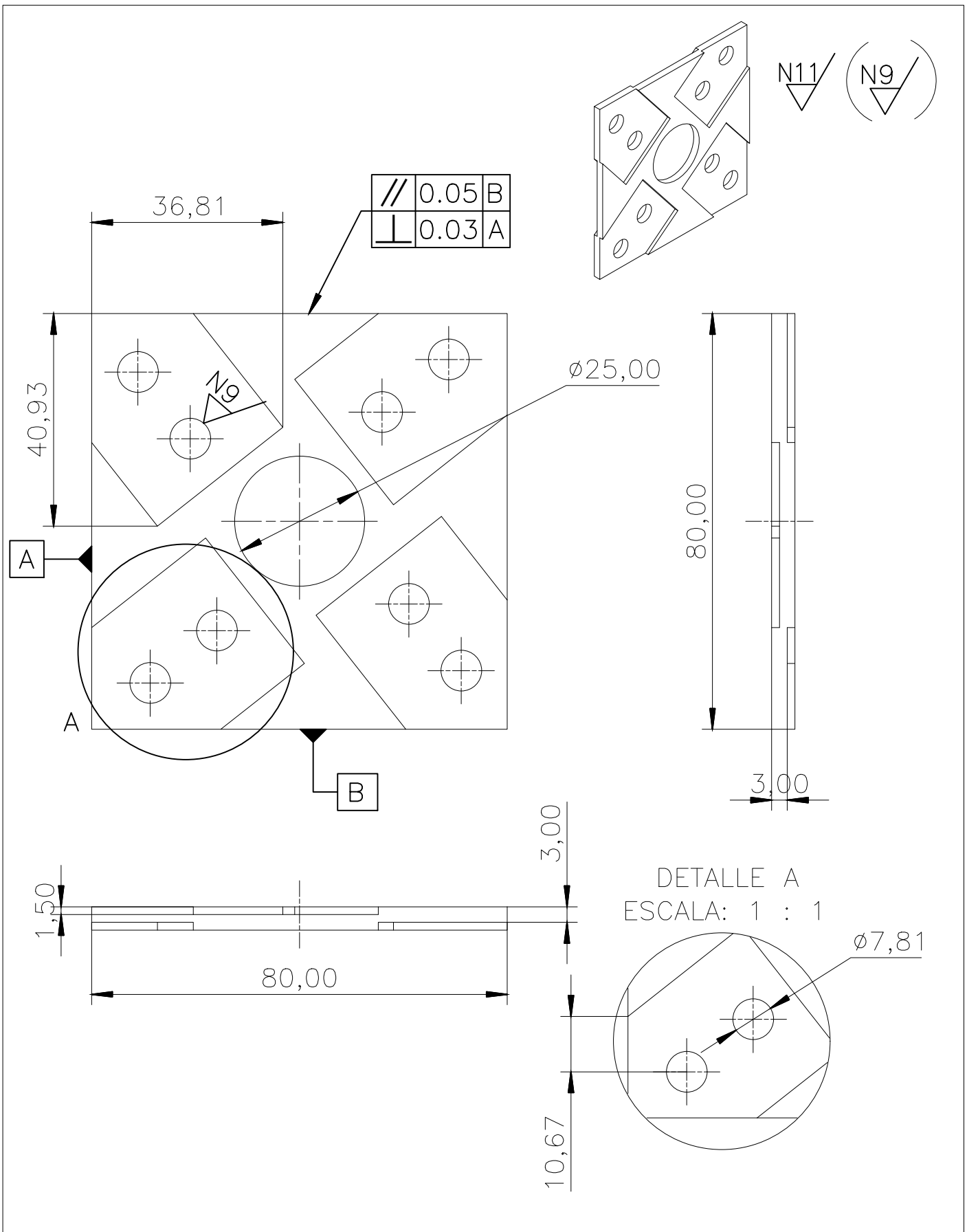
TIG

100,00

TABLA	
Descripción	Detalles
Aspas unidas con 2 pasadores	d=9mm
Cuchillas soldadas a eje hueco	TIG
Acabado	Pintura negra anticorrosiva

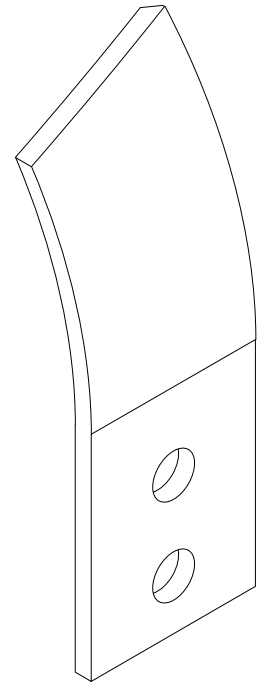
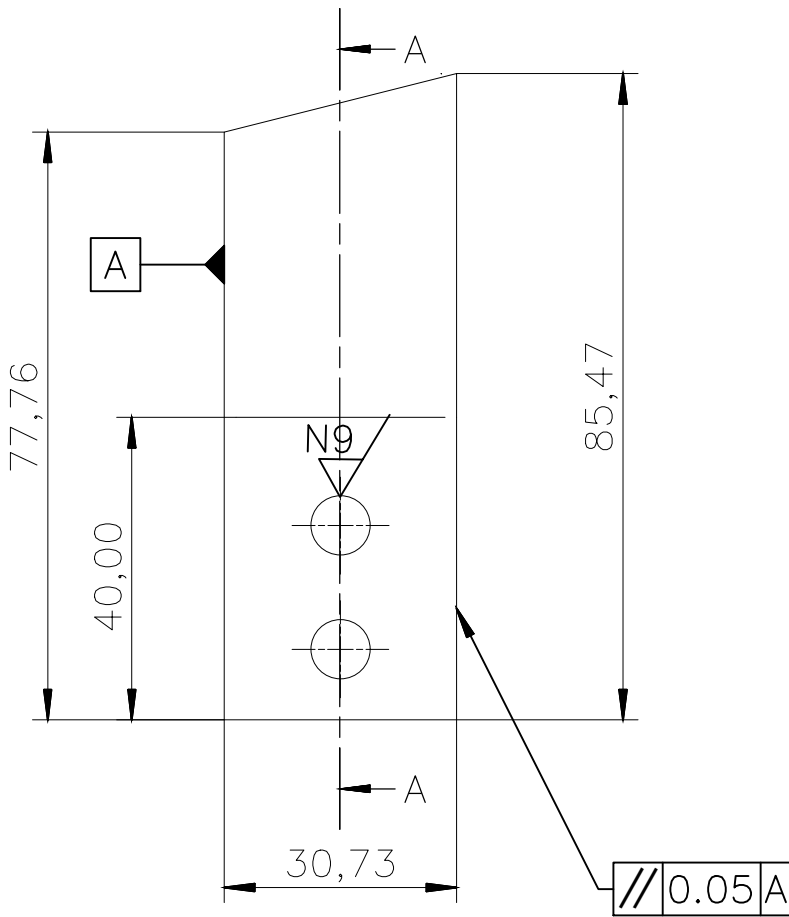
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
5	C7	Pasador de horquilla		2	Acero	$\varnothing 9$
4	C3	Remaches		32	Acero	$\varnothing 7.81$
3	C7	Eje apero	AAJG-FIM-100-203	2	Acero K460	
2	D4	Cuchillas	AAJG-FIM-100-202	16	Acero K460	
1	C4	Placa para cuchillas	AAJG-FIM-100-201	4	Acero K460	

E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. A. Analuisa- J. Granja	ESCALA: 1:2
		Dis. A. Analuisa- J. Granja	
APERO DESHIERBADOR		Rev. Guachamín Wilson	FECHA: 17/05/2022
		AAJG-FIM-100-200	



Trat.Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Recubrimiento:	Pintura negra		
MATERIAL:	ACERO K460	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1:1 Dib. A. Analuisa-J. Granja Dis. A. Analuisa-J. Granja Rev. Ing. Wilson Guachamín
PLACA PARA CUCHILLAS		AAJG-FIM-100-201	FECHA: 17/05/22

N9 (N11)



CORTE A-A

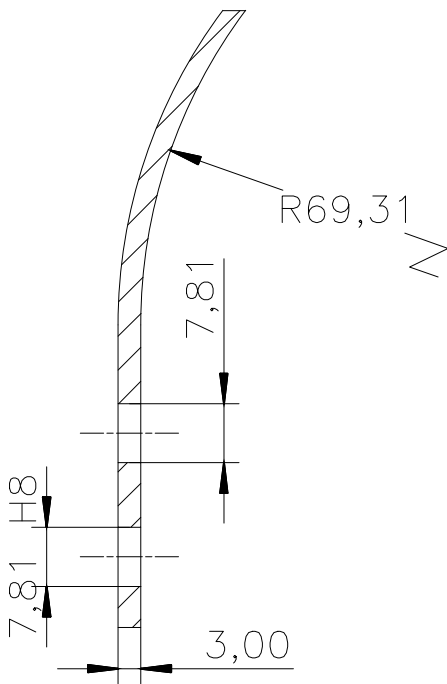


Tabla de Ajuste	
Valores	Límites
ø7.81 H8	7.832
	7.81

Trat.Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura negra		Dib. A. Analuisa-J. Granja	
MATERIAL:	ACERO K460	Tol. Gral. ±0.1	Escala: 1:1	Dis. A. Analuisa-J. Granja
				Rev. Ing. Wilson Guachamín
CUCHILLAS			AAJG-FIM-100-202	FECHA: 17/05/22

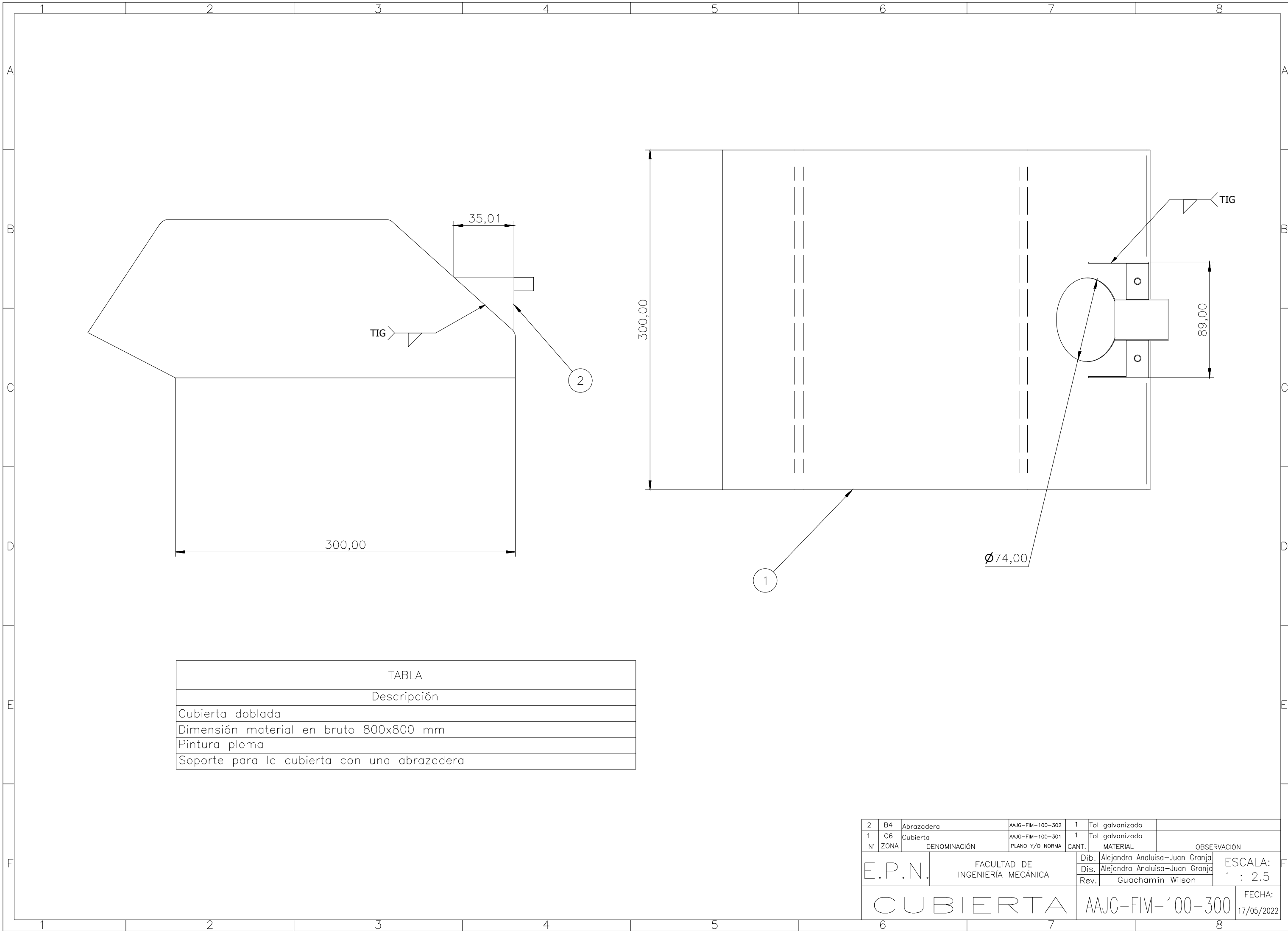
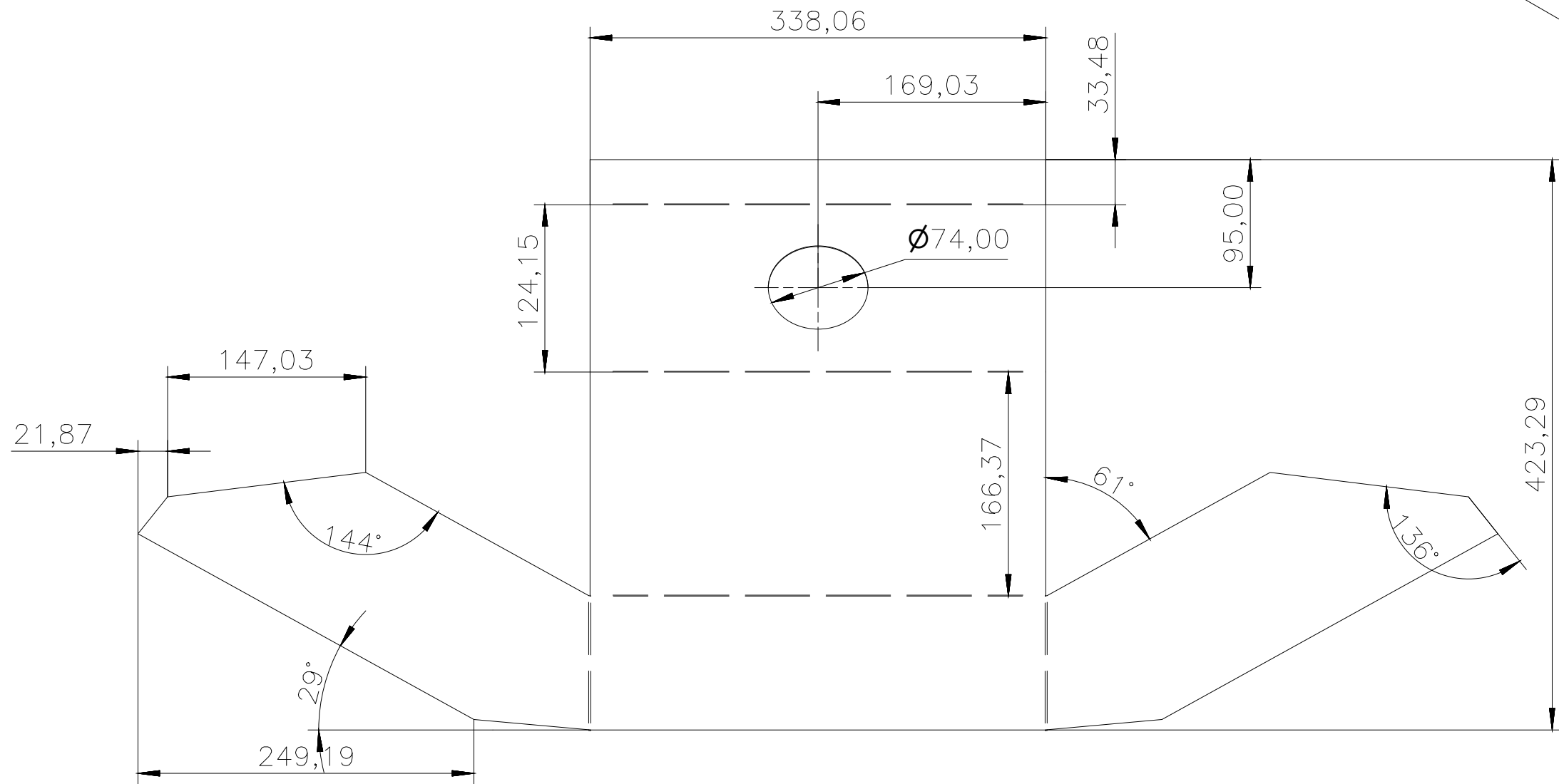
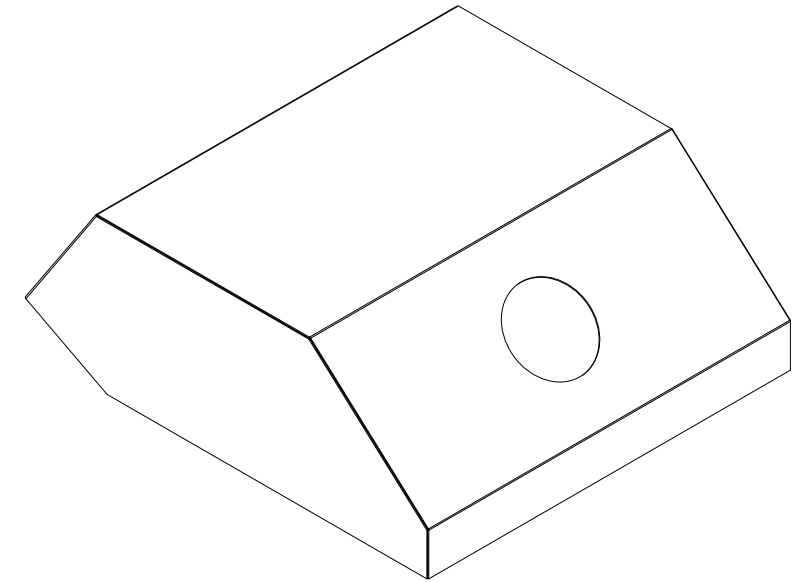


TABLA	
N°	Descripción
2	Abrazadera
1	Cubierta
Cubierta doblada	
Dimensión material en bruto 800x800 mm	
Pintura ploma	
Soporte para la cubierta con una abrazadera	

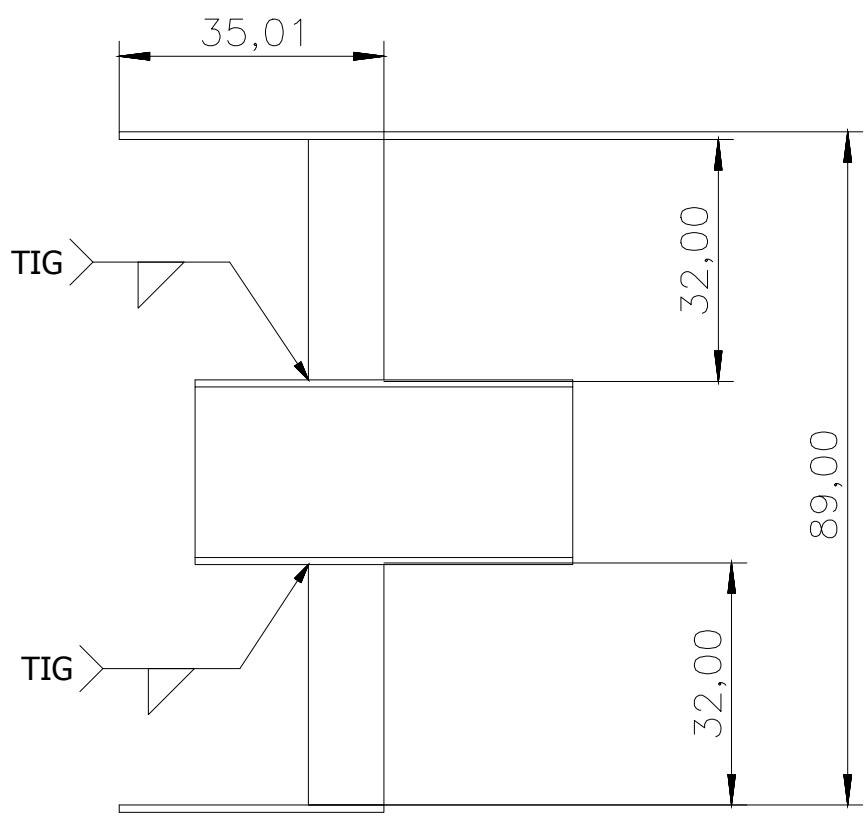
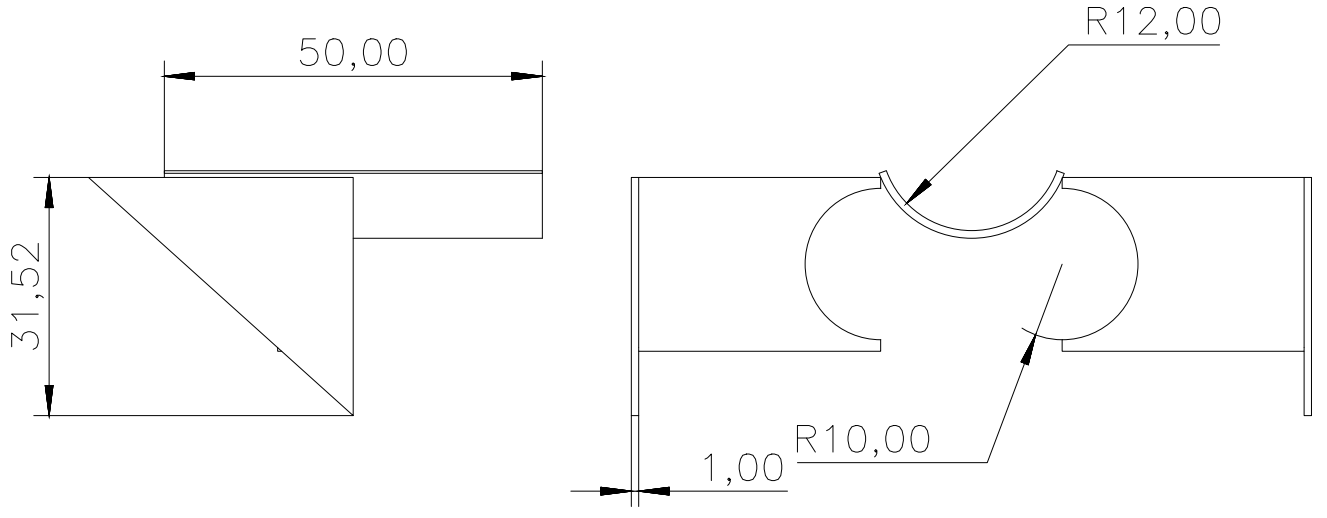
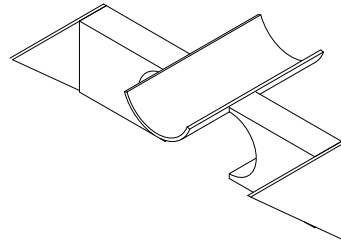
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
2	B4	Abrazadera	AAJG-FIM-100-302	1	Tol galvanizado	
1	C6	Cubierta	AAJG-FIM-100-301	1	Tol galvanizado	

E.P.N.	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Alejandra Analuisa-Juan Granja	ESCALA: 1 : 2.5
CUBIERTA		Dis. Alejandra Analuisa-Juan Granja	FECHA: 17/05/2022
		Rev. Guachamín Wilson	
AAJG-FIM-100-300			



Nota:
 - Realizar los dobleces hacia el interior

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.
MATERIAL:		Escala:	Dis.	Analuisa A. Granja J.
TOL GALVANIZADO			± 0.1	Rev.
CUBIERTA		1:2.5	AAJG-FIM-100-301	
			Fecha: 17/05/22	



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Analuisa A. Granja J.
MATERIAL: TOL GALVANIZADO		Tol. Gral: ± 0.1	Escala: 1:1	Dis. Analuisa A. Granja J.
			Rev.	Guachamín Wilson
ABRAZADERA		AAJG-FIM-100-302		Fecha: 17/05/22