



# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA DE RESIDUOS PRODUCTO DE LA PODA DE ÁRBOLES Y DESBROCES**

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

**FREDDY RICARDO CASTILLO ALVARADO**

**freddy.castillo@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. SOTOMAYOR GÁLVEZ OSCAR EFRAÍN**

**oscar.sotomayor@epn.edu.ec**

**Quito, diciembre de 2021**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Freddy Ricardo Castillo Alvarado**, bajo mi supervisión.

OSCAR  
EFRAIN  
SOTOMAYOR  
GALVEZ

Firmado digitalmente por OSCAR  
EFRAIN SOTOMAYOR GALVEZ  
Nombre de reconocimiento (DN):  
cn=OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR  
GALVEZ,  
serialNumber=190421184236,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION  
DE INFORMACION, o=SECURITY  
DATA S.A. 2, c=EC  
Fecha: 2021.12.14 12:12:48 -05'00'

---

Ing. Óscar Sotomayor, M.Sc

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Freddy Ricardo Castillo Alvarado**, 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.



Freddy Ricardo Castillo Alvarado

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada:

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza, brindarme amor, paz, salud y permitirme haber llegado de su mano a este momento tan importante en mi vida profesional.

A mis padres Sixto y Bereniza por su confianza, amor incondicional, esfuerzo y su entrega durante todo este proceso, gracias por enseñarme a no temer a la adversidad porque sus palabras, consejos y oraciones siempre me han llenado de valor para seguir adelante.

A mi hermano Diego por ser el apoyo más importante en mi formación profesional por demostrarme su cariño y estar siempre a mi lado para ayudarme en cualquier momento. Agradezco a Dios por haberme bendecido con mi hermano, sin él este logro no hubiese sido posible, gracias por alentarme a ser mejor persona y trabajar cada día más.

A mi hermano Xavier por acompañarme cuando empecé esta aventura, gracias por los consejos, las risas y estar presente en mi vida.

A toda mi familia que compartimos sueños de superación y de un futuro mejor.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Politécnica Nacional por formarme durante todos estos años. A cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica que además de transmitirnos sus conocimientos también compartieron sus experiencias y visiones que han sembrado en nuestros corazones un espíritu de constante superación y buscar siempre cumplir nuestras metas.

A mi familia, por enseñarme principios, valores que han sido parte fundamental para llevar una vida tranquila alejado de cualquier problema.

Al Ing. Óscar Sotomayor por confiar en mí para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto por estar siempre pendiente en mi progreso y bajo su tutela estoy convencido que hemos obtenido un gran trabajo y esto se ve reflejado en la máquina que construimos.

A mis amigos con quienes compartí y me acompañaron durante la carrera, en especial con quienes empecé esta aventura: Luis Boada, Kevin Quispe, Mauricio Rivera y Byron Ayala, también hago una mención especial a mi equipo de fútbol creado en las aulas de la facultad los "Chirifitis".

A Morelia Cuchipe por su apoyo incondicional y cariño. Por su paciencia y todas las enseñanzas que aprendimos dentro y fuera de la universidad.

A José Lui López quien me apoyo para que el trabajo de la construcción se realice con éxito.

Agradezco a todas las personas que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Alcance.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Madera.....	3
1.1.1 Composición química de la madera.....	3
1.1.2 Estructura de la madera.....	3
1.1.3 Propiedades químicas y fisicoquímicos de la madera.....	4
1.1.4 Clasificación de la madera.....	5
1.1.5 Aplicaciones de la madera.....	9
1.2 Poda.....	10
1.2.1 Métodos de poda.....	10
1.2.2 Época de poda.....	13
1.2.3 Aplicaciones de residuos de la poda.....	14
1.2.4 Reducción del tamaño de residuos de la poda.....	17
1.2.5 Naturaleza de las fuerzas de reducción mecánica de sólidos.....	17
1.3 Trituración.....	18
1.3.1 Trituración primaria.....	19

1.3.2	Trituración secundaria .....	19
1.4	Trituradoras .....	19
1.4.1	Trituradora con disco .....	19
1.4.2	Trituradora de rodillo.....	20
1.4.3	Trituradora con sistema de tornillo sin fin.....	20
1.4.4	Triturador con sistema de disco y martillos .....	21
2.	METODOLOGÍA.....	22
2.1	Casa de la calidad .....	23
2.1.1	Voz del usuario.....	24
2.1.2	Voz del ingeniero .....	24
2.1.3	Descripción de la casa de la calidad .....	25
2.1.4	Conclusiones de la casa de la calidad .....	29
2.1.5	Especificaciones técnicas .....	29
2.2	Selección y evaluación de alternativas .....	31
2.2.1	Análisis funcional.....	31
2.2.2	Niveles funcionales de la máquina trituradora.....	31
2.2.3	Determinación de módulos .....	32
2.2.4	Selección de alternativas.....	33
2.2.5	Solución Virtual.....	55
2.3	Cálculo y selección de componentes.....	56
2.3.1	Evaluación de la resistencia al impacto o tenacidad de la madera.....	56
2.3.2	Diámetro promedio de los residuos de poda de árboles .....	57
2.3.3	Cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera.....	59
2.3.4	Consideraciones para el diámetro del volante: Disco de trituración .....	60
2.3.5	Cálculo del volante de inercia: Disco .....	61
2.3.6	Cálculo de la potencia del motor.....	64
2.3.7	Selección de bandas y poleas .....	66
2.3.8	Cálculo para el diseño de ejes.....	71
2.3.9	Cálculo de las reacciones.....	74

2.3.10	Selección de rodamientos.....	82
2.3.11	Selección de cuñas.....	84
2.3.12	Balaneo dinámico del eje.....	85
2.4	Simulación por elementos finitos .....	87
2.4.1	Modos de vibración de la estructura .....	87
2.5	Construcción y montaje .....	89
2.5.1	Construcción.....	89
2.5.2	Proceso de construcción y montaje .....	91
2.6	Protocolo de pruebas.....	100
2.6.1	Protocolo de corte .....	100
2.6.2	Aplicación del protocolo.....	101
2.7	Estimación de costos.....	105
2.7.1	Costos de materiales y consumibles.....	105
2.7.2	Costos de elementos normalizados .....	106
2.7.3	Costos de fabricación .....	107
2.7.4	Costo final .....	109
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	110
3.1	Resultados .....	110
3.2	Discusión.....	112
4.	CONCLUSIONES.....	114
	Referencias Bibliográficas .....	115
	Anexos.....	118



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura interna de la madera .....	4
Figura 1.2. Pino, madera blanda .....	6
Figura 1.3. Abeto, madera blanda .....	6
Figura 1.4. Cedro, madera blanda .....	6
Figura 1.5. Caoba, madera rígida .....	7
Figura 1.6. Roble, madera rígida .....	7
Figura 1.7. Nogal, madera rígida .....	8
Figura 1.8. Olivo, madera rígida .....	8
Figura 1.9. Ciruelo, madera rígida .....	9
Figura 1.10. Poda de formación .....	10
Figura 1.11. Poda de conservación .....	11
Figura 1.12. Poda de raleo .....	11
Figura 1.13. Poda de ornamentación .....	11
Figura 1.14. Poda de floración .....	12
Figura 1.15. Poda de despunte .....	12
Figura 1.16. Poda de restauración .....	13
Figura 1.17. Elaboración de compost con ramas y tallos picados .....	15
Figura 1.18. Aplicación de material picado en la base de los árboles. ....	15
Figura 1.19. Parqueadero para bicicletas elaborado con ramas provenientes de la poda de árboles .....	16
Figura 1.20. Trincho construido con ramas de la poda de árboles. ....	16
Figura 1.21. Trituradora de martillos de eje horizontal .....	19
Figura 1.22. Trituradora de rodillos .....	20
Figura 1.23. Trituradora con sistema de tornillo sin fin. (Picadora) .....	20
Figura 1.24. Triturador con sistema de discos y martillos .....	21
Figura 2.1. Diagrama de flujo, metodología .....	23
Figura 2.2. Casa de la calidad .....	28
Figura 2.3. Desarrollo del nivel 0 de la trituradora .....	31

Figura 2.4. Desarrollo del nivel 1 de la trituradora.....	32
Figura 2.5. División modular. ....	32
Figura 2.6. Alternativa 1: Motor ac - Módulo 1 .....	33
Figura 2.7. Alternativa 2: Motor estacionario - Módulo 1 .....	34
Figura 2.8. Reductor de cadenas - Subfunción Módulo 1.....	35
Figura 2.9. Alternativa 2: Poleas - Subfunción Módulo 1 .....	35
Figura 2.10. Alternativa 1: tolva cónica - Módulo 2.....	40
Figura 2.11. Alternativa 2: tolva piramidal - Módulo 2.....	40
Figura 2.12. Alternativa 3: tolva transportadora de material - Módulo 2 .....	41
Figura 2.13. Un eje con disco porta-cuchillas - Módulo 3 .....	45
Figura 2.14. Cuchillas acopladas un eje - Módulo 3.....	46
Figura 2.15. Cuchillas acopladas en un rodillo - Módulo 3 .....	46
Figura 2.16. Evacuación de los residuos por gravedad: estructura por gravedad: estructura abierta debajo (Discos) .....	47
Figura 2.17. Evacuación de residuos por gravedad: estructura abierta debajo, alternativa 1 .....	48
Figura 2.18. Evacuación de residuos por venteo: aspas acopladas al disco, alternativa 3 .....	49
Figura 2.19. Evacuación de los residuos por gravedad, estructura abierta a un lado .....	50
Figura 2.20. Solución virtual de la máquina trituradora .....	55
Figura 2.21. Máquina para ensayos de tenacidad por impacto (Péndulo de Charpy).....	56
Figura 2.22. Porcentaje de valores de diámetros de residuos de poda de árboles.....	58
Figura 2.23. Diagrama: Péndulo Charpy - Volante de inercia: Disco.....	59
Figura 2.24. Diámetro del volante en milímetros: Disco .....	60
Figura 2.25. Factor de servicio sugeridos $K_s$ para la transmisión de bandas en V.....	65
Figura 2.26. Tablas para seleccionar el tipo o perfil de la correa .....	66
Figura 2.27. Velocidad máxima y diámetro mínimo de la polea conductora .....	67
Figura 2.28. Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (pulgadas).....	69
Figura 2.29. Capacidad de transmisión por canal .....	70

Figura 2.30. Factor de corrección por ángulo de contacto. ....	71
Figura 2.31. Diagrama de cuerpo libre de las poleas .....	73
Figura 2.32. Vista isométrica de la polea, rodamiento, eje y cuchillas.....	74
Figura 2.33. Configuración del eje .....	74
Figura 2.34. Diagrama de cuerpo libre del eje. ....	75
Figura 2.35. Geometría cuña cuadrada tipo A .....	84
Figura 2.36. Desequilibrio permisible .....	86
Figura 2.38. Tipos de madera de estudio con su diámetro respectivo.....	100
Figura 2.39. Registro y medición del diámetro de las ramas .....	102
Figura 2.40. Ingreso de la rama por la tolva y registro producto final triturado .....	103
Figura 2.41. Mediciones de largo y ancho del material triturado .....	103
Figura 3.1. Máquina trituradora de ramas .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Aplicaciones de la madera .....	9
Tabla 1.2. Etapas de poda.....	13
Tabla 1.3. Tiempos de poda .....	14
Tabla 1.4. Tipos de fuerzas para la reducción mecánica de sólidos.....	18
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la máquina trituradora .....	30
Tabla 2.2. Matriz morfológica, módulo 1 .....	36
Tabla 2.3. Evaluación de cada criterio - módulo 1 .....	38
Tabla 2.4. Evaluación del criterio seguridad del módulo 1 .....	38
Tabla 2.5. Evaluación del criterio facilidad de operación en campo del módulo 1 .....	38
Tabla 2.6. Evaluación del criterio costo del módulo 1.....	39
Tabla 2.7. Conclusiones respecto a soluciones - módulo 1 .....	39
Tabla 2.8. Matriz morfológica, módulo 2 .....	42
Tabla 2.9. Evaluación de cada criterio - módulo 2.....	43
Tabla 2.10. Evaluación del criterio seguridad del módulo 2.....	43
Tabla 2.11. Evaluación del criterio costo del módulo 2.....	43
Tabla 2.12. Evaluación del criterio facilidad de montaje del módulo 2.....	44
Tabla 2.13. Evaluación del criterio peso del módulo 2 .....	44
Tabla 2.14. Evaluación del criterio geometría del módulo 2 .....	44
Tabla 2.15. Conclusiones respecto a soluciones - módulo 2.....	45
Tabla 2.16. Matriz morfológica, módulo 3 .....	51
Tabla 2.17. Evaluación de cada criterio - módulo 3.....	52
Tabla 2.18. Evaluación de soluciones respecto a costos de fabricación - módulo 3.....	52
Tabla 2.19. Evaluación de soluciones respecto a facilidad de montaje – módulo 3.....	53
Tabla 2.20. Evaluación de soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento – módulo 3 .....	53
Tabla 2.21. Evaluación de soluciones respecto al peso – módulo 3.....	53
Tabla 2.22. Evaluación de soluciones respecto al desgaste de las cuchillas – Módulo 3.....	54

Tabla 2.23. Evaluación de soluciones respecto a la facilidad de recoger material triturado – Módulo 3.....	54
Tabla 2.24. Conclusiones respecto a soluciones – módulo 3.....	54
Tabla 2.25. Valores de resistencia al impacto o tenacidad del Eucalipto.....	57
Tabla 2.26. Valores de resistencia al impacto o tenacidad del Pino. ....	57
Tabla 2.27. Análisis estadístico descriptivo de los valores del diámetro de residuos de poda .....	58
Tabla 2.28. Resumen de datos para el cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera .....	60
Tabla 2.29. Resolución de ecuaciones para el cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera.....	60
Tabla 2.30. Resumen de datos para el cálculo de la energía cinética del volante de inercia .....	62
Tabla 2.31. Resolución de ecuaciones para el cálculo de la energía cinética del volante de inercia.....	63
Tabla 2.32. Resolución de las ecuaciones para el cálculo del volante de inercia: disco...64	
Tabla 2.33. Resolución de las ecuaciones para el cálculo de la potencia mínima del motor. ....	65
Tabla 2.34. Diagramas de Cortantes y Momentos del eje .....	76
Tabla 2.35. Características de los rodamientos del eje de entrada .....	84
Tabla 2.36. Características de las cuñas del eje de entrada .....	85
Tabla 2.37. Resultados de frecuencia de los 10 primeros modos de vibración. ....	88
Tabla 2.38. Modos de vibración de la estructura de la trituradora. ....	88
Tabla 2.39. Proceso de construcción de la máquina trituradora.....	92
Tabla 2.40. Análisis estadísticos del producto final .....	104
Tabla 2.41. Capacidad de trituración .....	105
Tabla 2.42. Costos de materiales .....	105
Tabla 2.43. Costos de consumibles .....	106
Tabla 2.44. Costos de elementos normalizados.....	107
Tabla 2.45. Costos de fabricación.....	108

Tabla 2.46. Costo total de la máquina.....	109
--	-----

## RESUMEN

El presente documento contiene la memoria técnica de diseño y construcción de una trituradora de residuos producto de la poda de árboles y desbroces. Este trabajo está compuesto de 4 capítulos.

El primer capítulo expone conceptos teóricos necesarios para comprender tipos de madera, procesos de trituración y aplicaciones del material triturado, conocimientos que permiten desarrollar criterios sobre la aplicación de una máquina trituradora en el campo agrícola.

El segundo capítulo, desarrolla la casa de la calidad mediante la cual se establece especificaciones técnicas, selección de alternativas obteniendo así un modelo conceptual, el cual se sometió a un análisis de la energía necesaria para fractura la madera permitiendo definir el diámetro del disco de trituración, calcular la potencia del motor, selección de bandas y calcular el diámetro del eje. También, se desarrolló planos de fabricación y montaje, el protocolo de pruebas y por último se estima los costos de producción de la máquina trituradora.

El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos del diseño mecánico, es una maquina trituradora de ramas de poda de árboles y desbroces de diámetro 7 cm con una capacidad de trituración de 63,28 kg<sub>madera</sub>/h. Esta máquina también puede ser utilizada en carpinterías para triturar restos de madera. Además, la estructura presenta miembros estructurales como son tubos cuadrados de acero.

Finalmente, en el cuarto capitulo se presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo. La máquina trituradora es funcional, resistente y robusta. Cumple con las especificaciones técnicas previstas además el producto final obtenido se encuentra dentro del rango de aplicación para el compostaje de manera que satisface los requerimientos del cliente.

**Palabras claves:** Madera, poda, trituradora, viruta.

## ABSTRACT

This document covers the design and construction of a waste crusher resulting from the pruning of trees and clearing. This work is composed of 4 chapters.

The first chapter presents theoretical concepts necessary to understand types of wood, crushing processes and applications of crushed material, knowledge that allows to develop criteria on the application of a crushing machine in the agricultural field.

The second chapter develops the house of quality through which technical specifications are established, selection of alternatives thus obtaining a conceptual model, which was subjected to an analysis of the energy necessary to fracture the wood allowing us to define the diameter of the crushing disc, calculate the power of the motor, selection of bands and calculate the diameter of the shaft. Also, manufacturing and assembly plans were developed, the test protocol and finally the production costs of the crushing machine are estimated.

The third chapter presents the results obtained from the mechanical design, it is a crushing machine of branches of pruning of trees and clearings of diameter 7 cm with a crushing capacity of 63.28 kg<sub>wood</sub>/h. This machine can also be used in carpentry to crush wood remains. In addition, the structure has structural members such as square steel tubes.

Finally, the fourth chapter presents the conclusions and recommendations of the work. The crushing machine is functional, resistant and robust. It complies with the technical specifications provided in addition the final product obtained is within the range of application for composting in a way that satisfies the requirements of the client.

**Keywords:** Wood, pruning, chipper, sawdust.



# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA DE RESIDUOS PRODUCTO DE LA PODA DE ÁRBOLES Y DESBROCES**

## **INTRODUCCIÓN**

La poda de árboles y desbroces en el sector rural - agrícola responden a necesidades en tareas de mantenimiento del terreno, en despejes de cables de energía de baja y alta tensión, luminarias, ramas quebradas peligrosas para peatones o poda de formación del árbol; todas estas actividades generan residuos de vegetación que estorban, obstaculizan y además actúan como material combustible facilitando la expansión del fuego. Por tal razón, entidades públicas (Prefecturas) planifican y ejecutan obras en preservación de recursos naturales, viabilidad y riego.

En la actualidad la Prefectura de Imbabura busca promover el desarrollo y competitividad del sector agropecuario, para lo cual han venido trabajando en 882 kilómetros de vías rurales que son intervenidas de manera permanente (Prefectura de Imbabura, 2020). Donde se genera desechos orgánicos de poda de árboles y desbroces, los mismos que pueden ser utilizados en un equipo que permita reducir el tamaño de estos residuos. (Intriago, 2019) menciona que el trabajo agrícola en el Ecuador es realizado en un 90% con herramientas manuales, el 7% con herramientas de tracción animal y solo el 3% con tecnología de motor. Es evidente que existe un déficit en el área de la maquinaria con motor para el manejo de residuos vegetales como madera y desbroces de vegetación.

Esta ausencia de maquinaria para el manejo de residuos vegetales en el campo agrario hace necesario explorar alternativas en este campo, para integrarlas en la sociedad. Por lo tanto, la inclusión de máquinas trituradoras en el sector rural – agrícola permitirá tener un adecuado manejo de estos desechos y este material de menor tamaño puede ser utilizado como abono orgánico o material para caminos.

La finalidad del presente proyecto es diseñar y construir una trituradora que permita reducir el tamaño de los residuos vegetales producto de la poda y desbroces de vegetación.

## **Objetivo general**

Diseñar y construir una trituradora de residuos producto de poda de árboles y desbroces.

## **Objetivos específicos**

- Recopilar información con respecto a máquinas trituradoras.
- Realizar el despliegue de la casa de la calidad y establecer las especificaciones técnicas del equipo.
- Dimensionar y simular el comportamiento de los diferentes elementos de la trituradora mediante el uso de programas de diseño por computador y diseño por elementos finitos.
- Elaborar planos de conjunto y de taller de la máquina trituradora y sus componentes.
- Construir las diferentes piezas que forman parte de la máquina trituradora
- Determinar los costos de fabricación con el fin de conocer si es rentable su fabricación.
- Establecer el protocolo de pruebas de la máquina trituradora.

## **Alcance**

El presente trabajo de titulación comprende el diseño y construcción de una máquina trituradora de residuos producto de la poda de árboles y desbroces, dentro de este estudio no se considera el análisis de las propiedades mecánicas, densidad y tipo de madera que va a estar en contacto con la máquina trituradora.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Madera

Se define como madera un material duro y fibrosa que se encuentra bajo la corteza de la mayoría del tronco y ramas de un árbol. Su estructura es un arreglo de fibras celulósicas cubiertas con lignina que proporciona dureza y rigidez del vegetal. Este elemento vegetal ha estado presente en la historia de la humanidad debido que se ha requerido de madera para usos como en la construcción y usos energéticos lo cual constituye como un material principal en el desarrollo de la sociedad (Toscano & Vásconez, 2015).

### 1.1.1 Composición química de la madera

La composición de la madera es una combinación química de elementos como carbón, hidrógeno y oxígeno donde la estructura de la madera y los componentes principales de la estructura química de la madera son:

- Celulosa donde se forman tejidos de sostén y almacenamiento de la planta.
- Lignina es la encargada de proporcionar cohesión en las paredes celulares de la madera y en la corteza además de otorgar rigidez e impermeabilidad.
- Hemicelulosa son células vegetales que forma parte de la matriz de soporte junto a la lignina para la formación de la madera.
- La proporción química de cada elemento de la madera están comprendidas en rangos para la lignina, entre 25 % y 35 % (maderas blandas), entre 17 % y 25 % (maderas duras); la celulosa mantiene un mismo rango entre 40 % y 45 % tanto para maderas duras y blandas; hemicelulosa, entre 20 % (maderas blandas) y entre un 15 % a 35 % (maderas duras) (Cartagena, 1994).
- En relación con su estructura celular las especies arbóreas se dividen en dos categorías: coníferas y latifoliadas. Donde la relación química de la madera latifoliada en relación con la lignina-hemicelulosa-celulosa es 20:30:50 % y en la madera conífera la relación de lignina-hemicelulosa-celulosa es de 30:20:50 % (Díaz, 1986).

### 1.1.2 Estructura de la madera

En la Figura 2.1 se muestra un corte transversal de un tronco donde se observa las partes de la estructura interna de la madera como son:

- **Corteza:** es una capa externa formada por células muertas, cumple con la función de proteger de agentes atmosféricos al árbol. Corteza Interna o líber.

- **Cambium:** es una capa que sigue a la corteza dando origen a dos capas como son: la xilema (forma la madera) y el floema (parte de la corteza).
- **Albura:** son células alargadas que forman la madera más joven de árbol además por ella viaja los compuestos de la savia (nutrientes y minerales).
- **Duramen:** es la madera que ha alcanzado su total desarrollo procedente de la transformación de la albura, presenta mayor dureza.
- **Núcleo o médula:** se encuentra en la parte central del tronco, generalmente no se utiliza porque es la madera más vieja del árbol (Búa Torres, 2014).

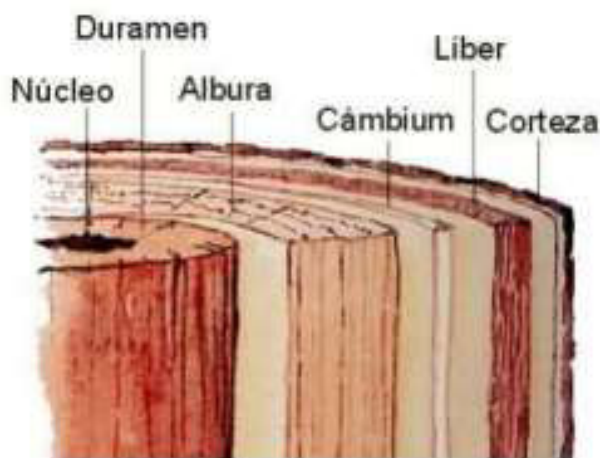


Figura 1.1. Estructura interna de la madera

(Fuente: (Búa Torres, 2014))

### 1.1.3 Propiedades químicas y fisicoquímicos de la madera

Las propiedades de la madera dependen de la disposición de las fibras, tamaño, orientación, contenido de humedad etc., están relacionadas con la estructura molecular y celular de la madera, por lo cual, existe gran diferencia entre propiedades de una madera u otra, debido a esto se hablará de propiedades generales como:

- **Resistencia a la tracción:** es la capacidad que ofrece la madera de soportar fuerzas externas antes de romperse, esta propiedad es de vital importancia para el área de construcción como columnas, vigas y carpintería en general (Céspedes & Gaitán, 2020).
- **Resistencia a la compresión:** es la acción de fuerzas externas que tienden comprimir vigas de madera, esta propiedad según los autores (Poizzer & Guzowski,

2011) manifiestan que en sentido longitudinal la fibra de la madera presenta una resistencia a la compresión de 5 a 8 veces mayor que en sentido transversal.

- **Resistencia a la flexión:** hace referencia a la resistencia a la rotura debido a cargas externas, en la madera no resiste esfuerzos de flexión en dirección radial o tangencial solo resiste en dirección perpendicular a las fibras (Céspedes & Gaitán, 2020).
- **Módulo de elasticidad:** muestra el comportamiento elástico y pronosticar el estiramiento de este material, pero en la madera al ser un material anisotrópico esta propiedad adopta diferentes valores dependiendo la dirección de las solicitaciones de tracción o compresión (Pozzer & Guzowski, 2011).
- **Densidad:** expresa el peso de madera seca dividido por el volumen de dicha sección y es una señal de la homogeneidad de la estructura y composición de las fibras de madera. Se conoce que entre más densidad tiene la madera presentará mayor resistencia (Cartagena, 1994).

#### 1.1.4 Clasificación de la madera

La madera puede clasificarse de muy diversas formas según el criterio de aplicación ya sea por su dureza o humedad. Lo más usual es clasificar según su dureza y tenemos:

##### **Maderas blandas**

Este tipo de madera proviene de árboles coníferos de crecimiento rápido y se caracterizan por formar bosques superpoblados de árboles muy altos, son fáciles de trabajar debido a ello son utilizados en la construcción, la ebanistería, fabricación de papel y fibra de madera prensada. La madera blanda puede ser identificada por su color claro que va desde amarillo pálido hasta un marrón rojizo una vez que se máquina árboles como:

- *Pino:* se considera madera blanda debido que se contrae y expande dependiendo de las condiciones ambientales, presenta baja resistencia y es utilizada en gran parte para la carpintería de muebles. Se puede observar en la Figura 1.2 la semilla del pino presenta forma de cono.



Figura 1.2. Pino, madera blanda

(Fuente: (Palacios, 2011))

- *Abeto*: es una madera blanda utilizada en acabados de viviendas (ver Figura 1.3).



Figura 1.3. Abeto, madera blanda

(Fuente: (PSA, 2018))

- *Cedro*: es un tipo de madera blanda más resistente a la humedad y hongos es utilizada en la construcción naval. En la Figura 1.4 se puede observar un árbol de cedro.



Figura 1.4. Cedro, madera blanda

(Fuente: (Palacios, 2011))

## Maderas férreas o rígidas

La madera rígida proviene de árboles que presentan un lento crecimiento y son difíciles de trabajar debido que presentan mayor resistencia, esta madera es utilizada en la construcción de viviendas.

- *Caoba*: es una madera rígida que presenta fibras rectas y un buen acabado estético por tal razón es utilizado para construir instrumentos musicales, construcción naval de exteriores e interiores y tableros. En la Figura 1.5 se puede observar un árbol de caoba.



Figura 1.5. Caoba, madera rígida

(Fuente: (Palacios, 2011))

- *Roble*: este tipo de madera presenta buena resistencia a la humedad debido que su densidad es alta y es utilizada en la carpintería y construcción. En la Figura 1.6 se puede observar un árbol de roble.



Figura 1.6. Roble, madera rígida

(Fuente: (PSA, 2018))

- *Nogal*: es un tipo de madera fina que presenta gran durabilidad su estructura no cambia con el paso del tiempo, por lo cual es utilizado en culatas de armas de fuego, instrumentos musicales y chapas finas. En la Figura 1.7 se puede observar un árbol de nogal.



Figura 1.7. Nogal. madera rígida

(Fuente: (PSA, 2018))

- *Olivo*: es resistente a insectos, hongos y no sufre cambios con el paso del tiempo solo se oscurece, pero en el proceso de maquinado tiende agrietarse debido que presenta fibras irregulares. En la Figura 1.8 se puede observar un árbol de olivo.



Figura 1.8. Olivo, madera rígida

(Fuente: (PSA, 2018))



- *Cerezo*: es considerada como madera fina debido a su gran resistencia y durabilidad, es utilizada en carpintería de muebles. En la Figura 1.9 se puede observar un árbol de cerezo.



Figura 1.9. Ciruelo, madera rígida

(Fuente: (PSA, 2018))

### 1.1.5 Aplicaciones de la madera

En la Tabla 1.1 se detalla las diferentes aplicaciones que se pueden dar en la madera:

Tabla 1.1. Aplicaciones de la madera

<b>USOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Fabricación de mobiliario</b>	Se utiliza para diseñar, construir y reparar mesas, sillas, muebles, armarios etc.
<b>Construcción de viviendas</b>	La construcción con madera ha sido ampliamente utilizada debido que es un material de bajo costo, no es tóxica, no produce olores, es un aislante natural y es segura al tacto además que es fácil de trabajar. Se utiliza para construir vigas, puertas, ventanas, suelos.
<b>Combustible</b>	La madera es uno de los primeros elementos naturales que utilizó el ser humano como recurso energético para la cocción de alimentos, calefacción, construcción de viviendas.
<b>Productos derivados</b>	Con el avance de la tecnología la madera ha sido procesada y resultado de aquello se obtiene papel, cartón, tableros artificiales productos de gran uso a nivel industrial.
<b>Otros usos</b>	La madera al ser fácil de trabajar también ha sido empleada en la producción de juguetes, obras de arte.

(Fuente: (Hervás, s.f))

## 1.2 Poda

Es la eliminación de ramas en un árbol con la finalidad de mejorar la calidad de los frutos, limitar el crecimiento de la planta, evitar enfermedades en el árbol debido a hongos e insectos en su estructura y aprovechar de mejor manera la planta.

La poda alentará a los árboles a crecer con una estructura de ramas fuertes lo que ayudará a minimizar las lesiones o muertes debido a ramas separadas que caen del árbol (Ow, Ghosh, & Sim, 2013). Además, en bosques cuyo destino tiene la producción de madera, la poda permite que se desarrolle un tronco principal de mayor diámetro aumentando así su valor comercial.

### 1.2.1 Métodos de poda

Los métodos de podar árboles o arbustos dependen del objetivo alcanzar en la planta de acuerdo con las necesidades que presenten.

- **De formación**

Este método es aplicado en los primeros años de los árboles o arbustos para definir la estructura o esqueleto con el fin de conducir el crecimiento de ramas equilibradas en la planta (ver Figura 1.10).

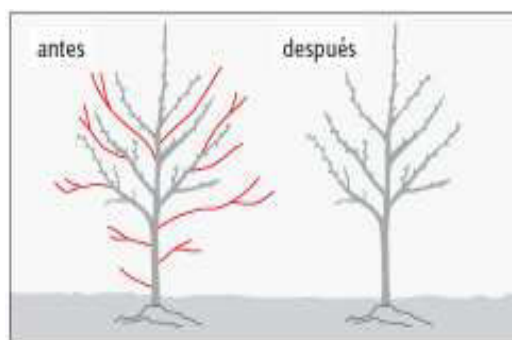


Figura 1.10. Poda de formación

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De conservación**

Se centra en conservar el tamaño y forma alcanzada en el desarrollo del árbol o arbusto por lo cual se elimina ramas secas evitando el envejecimiento prematuro de la planta (ver Figura 1.11).

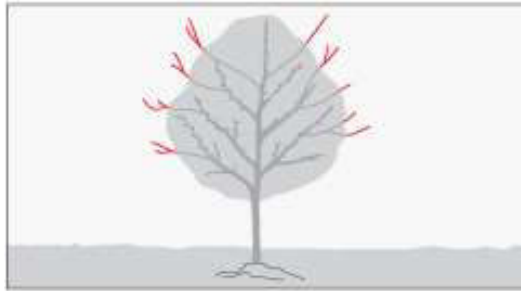


Figura 1.11. Poda de conservación

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De raleo**

Consiste en la eliminación del exceso de ramas en la parte superior de la planta que impide el paso del sol al interior y estimula el crecimiento saludable del árbol o arbusto (ver Figura 1.12).

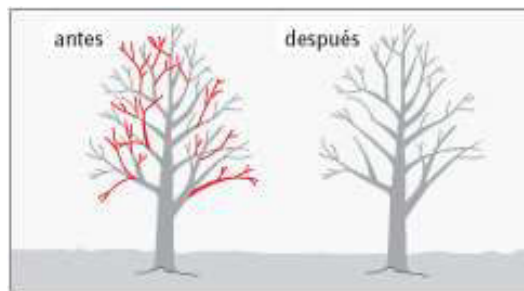


Figura 1.12. Poda de raleo

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De ornamentación**

Es la adaptación estética de una planta con el entorno para lo cual se utiliza la poda para mejorar la apariencia (ver Figura 1.13).

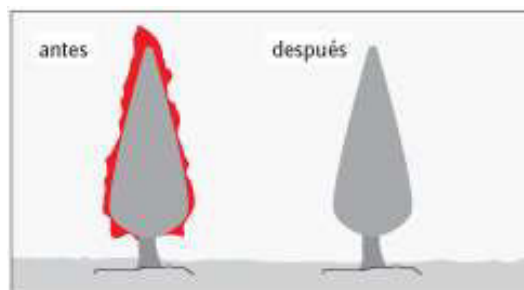


Figura 1.13. Poda de ornamentación

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De floración**

Se centra básicamente en regular la producción de frutos y flores en una planta (ver Figura 1.14).

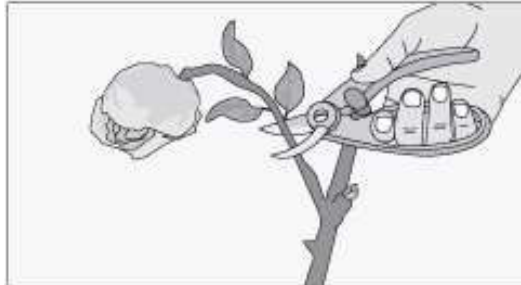


Figura 1.14. Poda de floración

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De despunte**

Consiste en disminuir la longitud de las ramas de manera que permite el ingreso de luz solar al interior y estimula la aparición de semillas en el tronco (ver Figura 1.15).



Figura 1.15. Poda de despunte

Fuente: (Sodimac, s.f.)

- **De rejuvenecimiento o restauración**

Este método se caracteriza por ser invasivo y drástico debido que elimina ramas en mal estado, corrige mal formaciones del árbol y viene acompañado de programas de fertilización para rescatar árboles o arbustos en deterioro (ver Figura 1.16).



Figura 1.16. Poda de restauración

Fuente: (Sodimac, s.f.)

### 1.2.2 Época de poda

Es necesario conocer las consecuencias de la poda en las plantas antes de definir épocas adecuadas para realizar dicha actividad. Los efectos de la poda en la salud de la planta siempre será un factor negativo debido que, si se elimina muchas ramas, el árbol no podrá crecer adecuadamente y esto provocará debilidad en la estructura vegetal. Se debe recordar que las ramas y el tronco poseen funciones vitales para la vida del árbol ya que transportan minerales y sustancias orgánicas. Además, que funcionan como contenedores de minerales que sirven para la nutrición de la planta y cumplen con funciones de sostén de las hojas.

Entendiendo que las ramas dentro de la estructura del árbol son multifuncionales y la intervención de estas donde se involucre corte o eliminación perjudicará el metabolismo de la planta en general. (Gilman, 2002) menciona que en árboles maduros y con una buena estructura, la poda se la debe realizar en pocas ramas vivas. Esto responde a la necesidad que crea el árbol de reemplazar partes cortadas y esto interfiere en el desarrollo de nuevas ramas, así como también un envejecimiento prematuro del árbol.

Ante este análisis se presentan dos etapas de poda (ver Tabla 1.2):

Tabla 1.2. Etapas de poda

Poda seca	Poda verde
Se realiza en época de invierno, ya que un medio de defensa vegetativo del árbol en frías temperaturas es circular más lento la savia en su estructura, esto se conoce como <i>estado dormante</i> .	Se caracteriza por eliminar excesos de brotes en la estructura de la planta con el fin de controlar la carga de producción y evitar un amontonamiento de hojas.

<p><b>Efectos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casi nula cicatrización de heridas</li> <li>• Mínima disminución de reservas</li> <li>• Grave sangrado o lloros</li> </ul> <p><b>Meses</b> Junio hasta agosto</p>	<p><b>Efectos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena cicatrización de heridas</li> <li>• Alta disminución de reservas</li> <li>• Poco sangrado o lloros</li> <li>• Se recomienda realizar en árboles de alto vigor de crecimiento.</li> </ul>
---	--

(Fuente: (Cali, 2018))

La época de poda depende del clima y una característica esencial para realizar esta actividad es cuando existe caída de hojas y se observa zonas dañadas.

Para lo cual los autores (Toscano & Vásquez, 2015) han sugerido que la época de poda puede darse de acuerdo con la zona y en función del tiempo. Donde mayormente se lo puede realizar en temporadas de verano como se puede observar en la Tabla 1.3:

Tabla 1.3. Tiempos de poda

<b>Mes</b>	<b>Zonas</b>
Mayo	Costeras con escasas heladas
Julio	Con leves escalas de helada
Agosto	Sureñas con climas moderados
Noviembre	Norteñas propensas a heladas

(Fuente: (Toscano & Vásquez, 2015))

### 1.2.3 Aplicaciones de residuos de la poda

Los residuos de la poda de árboles y arbustos pueden ser utilizados en:

- **Compostaje**

El compostaje se define como el resultado de la desintegración anaeróbica de residuos vegetales o animales picados bajo condiciones controladas de humedad, temperatura, pH y aeración, todo esto con el propósito de obtener abono orgánico que provea de una mejor estructura al suelo.

El tamaño de la partícula a compostar juega un rol importante en la velocidad de descomposición biológica, debido que un residuo muy fino puede compactarse y su degradación biológica no se produciría por tal razón, un tamaño óptimo de partícula para el proceso de compostaje es de 2- 5 cm (Guzmán & Grandes, 2018).



Figura 1.17. Elaboración de compost con ramas y tallos picados

(Fuente: (Parra, Sáenz, & Pulgarín, 2010))

- **Material vegetal picado para parques**

Se utiliza en las bases de los árboles trozos pequeños de madera que permite tener una mejor retención de humedad en el suelo. Además, es utilizado como elemento paisajístico en el entorno del árbol.



Figura 1.18. Aplicación de material picado en la base de los árboles.

(Fuente: (Parra, Sáenz, & Pulgarín, 2010))

- **Mobiliario urbano**

Los restos de grandes dimensiones provenientes de poda de árboles son transformados en muebles para parques, jardines.



Figura 1.19. Parqueadero para bicicletas elaborado con ramas provenientes de la poda de árboles.

(Fuente: (Parra, Sáenz, & Pulgarín, 2010))

- **Construcción de trinchos**

Los trinchos son muros de madera que ayudan acumular materia orgánica para evitar la erosión del suelo, estas estructuras son usadas en terrenos inclinados donde se requiere que el material vegetal no sea arrastrado por la lluvia. El componente principal y más accesible para su construcción son ramas producto de la poda de árboles.



Figura 1.20. Trincho construido con ramas de la poda de árboles.

(Fuente: (Parra, Sáenz, & Pulgarín, 2010))

- **Generación de biocombustibles**

Es una alternativa a los combustibles tradicionales como son el bioetanol, biodiesel, carbón vegetal que pueden ser almacenados y utilizados en sistemas de combustibles fósiles.

- **Recuperación de suelos**

Los productos de la poda una vez picadas son utilizadas en suelos altamente degradados productos de actividades como la minería, canteras.



#### **1.2.4 Reducción del tamaño de residuos de la poda**

La reducción de tamaño de residuos orgánicos es una operación unitaria que disminuye el tamaño de las partículas a través del uso de fuerzas mecánicas que crean esfuerzos de tensión interna provocando una respuesta en los residuos de distorsión y deformación de las partículas. La reducción de tamaño en productos sólidos se conoce como: desintegración mecánica de sólidos, corte, molienda, trituración y pulverización. Mientras que la reducción de tamaño de productos líquidos se conoce como: emulsificación, homogenización u atomización (Colina, s.f.).

En la operación de reducir el tamaño a residuos orgánicos se destaca múltiples beneficios como: facilitar la mezcla con otras sustancias, facilitar el almacenamiento, la movilización y reduce el uso de energía en operaciones como el secado, horneado, extracción de disolventes. También se obtiene un alto grado de homogenización de las partículas sólidas al reducir el tamaño (Guzmán & Grandes, 2018).

#### **Importancia en la reducción de tamaño en la industria**

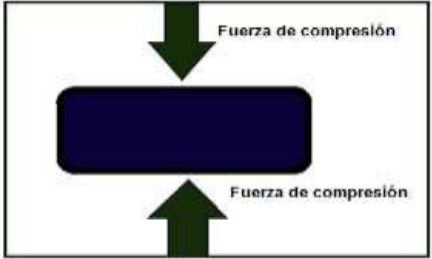
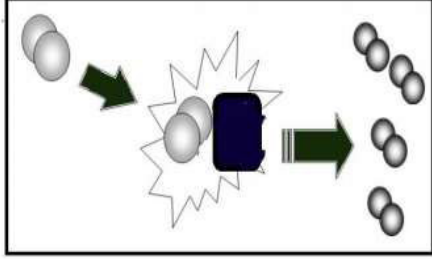
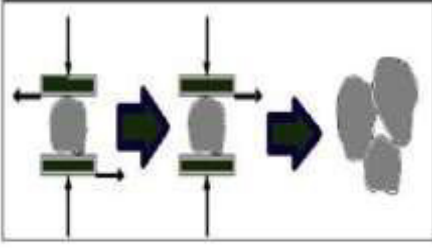

La reducción de tamaño en la industria se lo realiza por los diferentes beneficios que proporciona tales como los siguientes:

- Aumenta la relación de superficie/volumen, esta característica proporciona un incremento en la velocidad de deshidratación, calentamiento, enfriamiento de las partículas.
- Al reducir el tamaño de la materia orgánica se tendrá un mejor mezclado y resultará más eficaz homogenizar con otros materiales.
- Se cumple con estándares industriales de tamaño y forma que tienen diferentes empresas que utilizan materia orgánica reducida.
- Facilita el transporte y almacenamiento además que se reduce la energía empleada en operaciones como el secado, horneado, extracción de disolventes (Toscano & Vásconez, 2015).

#### **1.2.5 Naturaleza de las fuerzas de reducción mecánica de sólidos**

Para la reducción del tamaño de productos sólidos se utilizan los siguientes tipos de fuerza (ver Tabla 1.4):

Tabla 1.4. Tipos de fuerzas para la reducción mecánica de sólidos.

TIPOS DE FUERZAS	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
<b>Fuerza de compresión</b>	Son fuerzas perpendiculares a la superficie de material. Se obtiene partículas gruesas, medianas y finas.	
<b>Fuerza de impacto</b>	Estas fuerzas son utilizadas en máquinas de impacto donde la materia choca a gran velocidad con el equipo.	
<b>Fuerzas de frotación, rozamiento o cizalla</b>	Este método se utiliza en materiales de características blandas y no abrasivas donde se obtiene partículas finas	
<b>Fuerzas de corte</b>	Proporciona un tamaño y forma de partículas definidas además se utiliza para eliminar partes del sólido.	

(Fuente: (elaborado a partir de (Hernandez, 2015))

### 1.3 Trituración

Proceso de desintegración o reducción de tamaño de materiales sólidos mediante la aplicación física de fuerzas generadas en máquinas trituradoras, molinos o la combinación de estas dos máquinas.

Se divide en trituración primaria y trituración secundaria:

### 1.3.1 Trituración primaria

Consiste en fragmentar sólidos y convertirlos en trozos generalmente en medidas de 15 a 25 cm. Por lo general este tipo de trituración se lo realiza en equipos giratorios o de mandíbulas.

- **Trituración gruesa:** se puede obtener partículas de salida de 15 cm (6")
- **Trituración media:** se obtiene partículas de tamaño entre 3 cm y 15 cm (1 ¼" – 6") (Hernandez, 2015).

### 1.3.2 Trituración secundaria

Este tipo de trituración fragmenta materiales sólidos en trozos de 1 cm aproximadamente. Los equipos utilizados son de tipo cónico.

- **Trituración fina:** el tamaño de partícula obtenido es de 0,5 cm a 3 cm (1/5" – 1 ¼") (Hernandez, 2015).

## 1.4 Trituradoras

Las trituradoras son un conjunto de equipos electromecánicos que utiliza cuchillas para reducir el tamaño de materiales sólidos.

Los tipos de trituradoras utilizadas en la madera son:

### 1.4.1 Trituradora con disco

Esta trituradora presenta cuchillas fijas en un disco que gira altas velocidades a más de 2000 RPM. Es utilizado para triturar material como ramas y troncos que ingresa por la parte superior por medio de la tolva y es cortado por las cuchillas que están acoplados al disco y este impacto reduce el tamaño del vegetal (ver Figura 1.21).



Figura 1.21. Trituradora de martillos de eje horizontal

(Fuente: (Ramos & Vega, 2015))

### 1.4.2 Trituradora de rodillo

Este tipo de trituradoras presentan un rodillo acoplado cuchillas en el mismo y es utilizado para obtener material triturado grueso y funciona a bajas velocidades (40 RPM). Los materiales de alimentación son capturados en la cámara de trituración que forma los rodillos y los restos triturados caen por la parte inferior (Toscano & Vásquez, 2015) (ver Figura 1.22).



Figura 1.22. Trituradora de rodillos

(Fuente: (Toscano & Vásquez, 2015))

### 1.4.3 Trituradora con sistema de tornillo sin fin

Este tipo de trituradoras o picadoras presentan un tornillo sin fin que comprime el material que ingresa por la parte superior y es transportado hacia las cuchillas que realizan el proceso de picado del material. Son utilizadas en el picado de rastrojo en la agricultura (ver Figura 1.23).



Figura 1.23. Trituradora con sistema de tornillo sin fin. (Picadora)

(Fuente: (Cifuentes & Vega, 2014))

#### 1.4.4 Triturador con sistema de disco y martillos

Esta trituradora está conformada por un disco con cuchillas y por varios martillos. El disco es utilizado para triturar materia vegetal verde como troncos y ramas mientras que los martillos son utilizados para triturar hojas secas y verdes. La expulsión de los residuos picados es mediante el ciclo de eliminación de polvos (ver Figura 1.24).

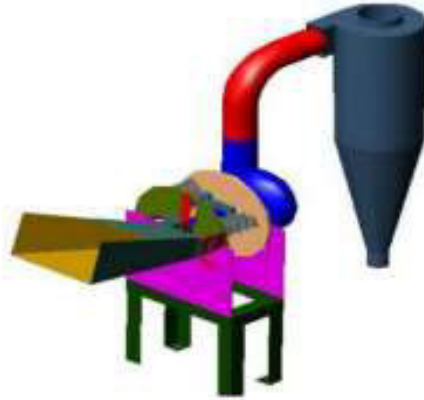


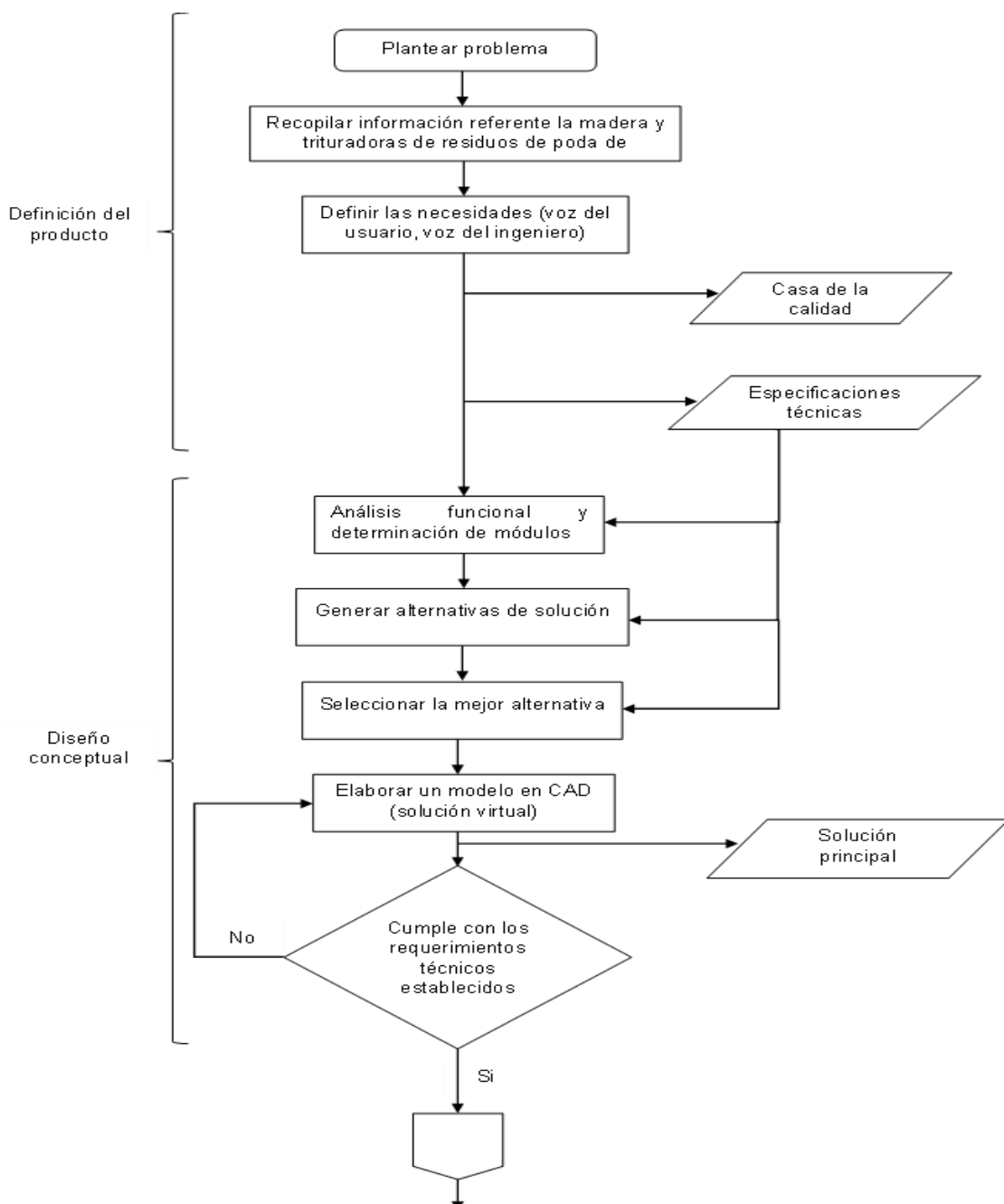
Figura 1.24. Triturador con sistema de discos y martillos.

Fuente: (Cifuentes & Vega, 2014).

## 2. METODOLOGÍA

La metodología se enfocará en desarrollar la función de calidad (*QFD, quality function deployment*). Este proceso agrupa las necesidades y requerimientos de los usuarios y los traduce en requerimientos técnicos de ingeniería según las fases de diseño y fabricación. Además, se utiliza como instrumento en la planificación de la vida útil del producto o servicio (Riba, 2002).

Se desarrolla un diagrama de flujo para representar la metodología propuesta a desarrollar (ver Figura 2.1).



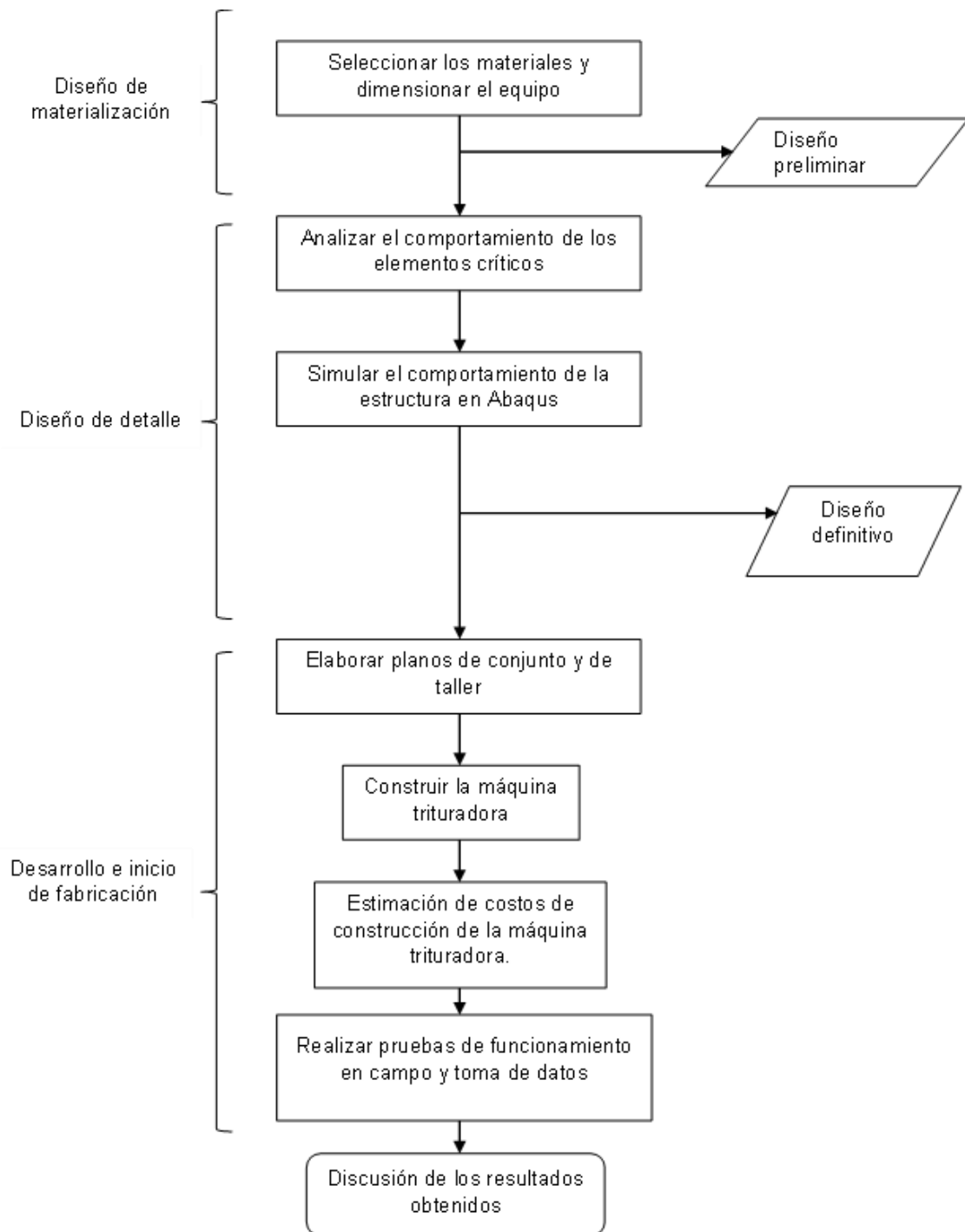


Figura 2.1. Diagrama de flujo, metodología

(Fuente: Propia)

## 2.1 Casa de la calidad

(Riba, 2002) señala que la planificación del producto (o casa de la calidad) es la primera matriz del despliegue de la función de calidad donde se traduce las demandas o

necesidades del cliente en requerimientos técnicos de ingeniería, este proceso se realiza a través de 6 pasos:

1. *Voz del usuario*: en esta sección se detalla las demandas o necesidades de los usuarios.
2. *Análisis de competitividad*: hace referencia al nivel de satisfacción que genera los productos o servicios propios de la empresa con respecto a los productos o servicios de la competencia.
3. *Voz del ingeniero*: en esta sección se detalla los requerimientos técnicos adaptados que proporcionen satisfacción a las necesidades de los usuarios.
4. *Correlaciones*: permite articular a través de correlaciones las necesidades del usuario con los requerimientos técnicos de ingeniería.
5. *Comparación técnica*: hace una comparación técnica de los productos o servicios de la empresa con la competencia.
6. *Compromisos técnicos*: se genera compromisos según los requerimientos técnicos del productos o servicio.

### **2.1.1 Voz del usuario**

Se toma en consideración los requerimientos y necesidades expuestas por los trabajadores de la Prefectura de Imbabura los mismos que se enlistarán a continuación:

- Bajo costo
- Que no se atasque mientras triture
- Que se pueda operar en campo
- Que sea fácil de transportar
- Que sea fácil de operar
- Que sea estable, segura
- Que se pueda enganchar en una camioneta
- Que se pueda operar bajo la lluvia
- Que soporte trabajo pesado
- Que sea silenciosa

### **2.1.2 Voz del ingeniero**

Las necesidades del usuario traducidos en requerimientos técnicos de ingeniería quedando de la siguiente manera:

- Precio
- Diámetro de trituración



- Motor de combustión interna
- Peso
- Fácil operatividad
- Ergonomía
- Barra de remolque
- Impermeable
- Diseño robusto
- Nivel de ruido

### **2.1.3 Descripción de la casa de la calidad**

#### **Paso 1: La voz del usuario**

Se toma en cuenta las demandas del cliente traducidas en requerimientos y deseos para realizar un brainstorming (o lluvia de ideas) sobre el diseño de una máquina trituradora de madera donde se enlista los requerimientos y deseos del cliente sobre el nuevo diseño. Estas demandas son agrupadas de acuerdo con el siguiente orden a); b); c):

- a) Demandas básicas: son demandas no formuladas por los usuarios debido que se consideran evidentes; pero al no cumplirlas se recae sobre la insatisfacción en el producto final.
- b) Demandas unidimensionales: son demandas con su mejora aumentan la satisfacción del usuario final.
- c) Demandas estimulantes: son demandas complacen al usuario y en caso de no cumplir no producen insatisfacción (Riba, 2002).

#### **Paso 2: análisis de la competencia**

El análisis de la competencia se centra en analizar cada demanda del usuario sobre el producto donde la competencia que grado de importancia cumple con estas demandas propuestas. A continuación, se detalla el método para compilar los resultados obtenidos los mismos que se introducen en la casa de la calidad:

Columna A: evalúa el cumplimiento del producto final de la empresa

Columna B y C: evalúa el cumplimiento del producto de la competencia.

(ver Figura 2.2)

Mediante este análisis de la competencia, se propone lo siguiente:

Objetivos a cumplir – Columna D

Estos objetivos guardan relación con cada una de las demandas del cliente final.

Además, se detalla un:

Índice de mejora – Columna E

Muestra el índice de mejora que tiene la empresa como respuesta a cada demanda

Dentro de esta descripción, se hace énfasis en las demandas que afectan en la venta del producto final teniendo un:

Factor de venta – Columna F

Importancia – Columna G

Generalmente evaluada por los usuarios

En resumen, se tiene la siguiente ponderación:

Columna D: Objetivos (nivel deseado, de 1 a 5; siendo 5 el mayor nivel deseado)

Columna E: Índice de mejora ( $E=D/A \geq 1$ )

Columna F: Factor de venta (evaluación según niveles a; 1,2; 1,5)

Columna G: Importancia (según las respuestas de los usuarios de 1 a 5; siendo 5 el mayor grado de importancia) (Riba, 2002)

Finalmente, la ponderación de las consideraciones para la casa de la calidad:

Columna H: Ponderación ( $H=E*F*G$ )

Columna I: ponderación porcentual (es el % sobre el total de las demandas) (Riba, 2002).

Con base a este análisis se tiene que la competencia directa en el desarrollo de máquinas trituradoras de madera es:

- La columna B muestra el análisis cualitativo de la competencia en trituradoras de madera. La empresa que se tomó en cuenta fue SUDOIL, la misma que importa trituradoras de madera de última tecnología que poseen control automático.
- La columna C muestra el análisis sobre la empresa ecuatoriana ECUAMULCH, que es un taller metalmecánico artesanal y se dedica a construir según las exigencias del cliente llegando a realizar copias exactas de máquinas trituradoras presentes en el mercado.

### **Paso 3: La voz del ingeniero**

Manifiesta la capacidad de interpretar las demandas subjetivas del cliente las características técnicas objetivas del producto, que se entiende como la voz del ingeniero.

Para este punto, es necesario crear una lista de características técnicas que sean medibles según el alcance de la empresa de acuerdo a las demandas del usuario (Riba, 2002).

#### **Paso 4: Correlaciones**

En esta sección, es donde se realiza el análisis de las características técnicas hasta qué punto son capaces de satisfacer las necesidades de las demandas del usuario para ello es necesario establecer tres niveles:

- Fuerte (se utiliza un símbolo de un círculo con un punto ◉)
- Medio (se utiliza un símbolo de un círculo ◦)
- Débil (se utiliza un símbolo de un triángulo ▽)

#### **Paso 5: Evaluación técnica**

Una vez descrito el cuadro de correlaciones, se evalúa la incidencia de cada característica técnica en la satisfacción de las demandas del usuario. En base a la sumatoria del producto de los factores de incidencia  $I_d$  según su correlación:

- Fuerte es igual a 9
- Mediana es igual 3
- Débil es igual a 1

De acuerdo con la importancia porcentual algunas características técnicas pueden ser mejoradas según su evaluación técnica (Riba, 2002).

#### **Paso 6: Compromisos técnicos**

Estos compromisos hacen referencia a las características técnicas que tiene el producto que harán situarse lo mejor posible en el mercado, para ello es necesario establecer 4 niveles:

- Muy negativa
- Negativa
- Positiva
- Muy positiva

Donde al tener una correlación positiva significa que al mejorar una característica técnica se mejora otra. Al tener una correlación negativa significa que al trabajar en una característica técnica se daña otra. También, al no tener una correlación significa que las dos características técnicas no influyen entre sí (Riba, 2002).

A continuación, se presenta el desarrollo de la casa de la calidad (ver Figura 2.2).

B = básico  
 O = unidimensional  
 E = estimulante

⊙ muy positiva  
 ○ positiva  
 × negativa  
 ✖ muy negativa

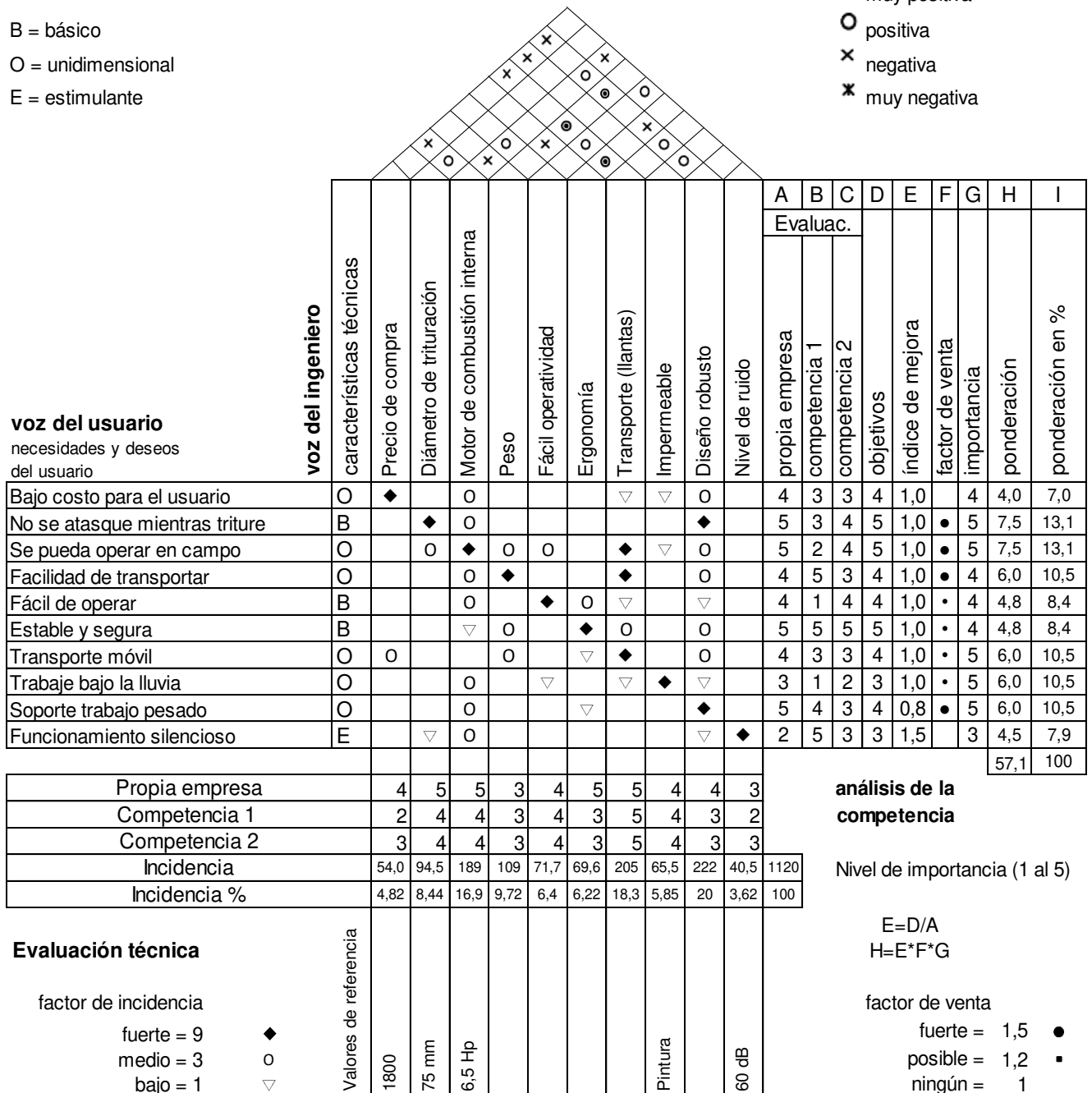


Figura 2.2. Casa de la calidad

(Fuente: Propia)

#### **2.1.4 Conclusiones de la casa de la calidad**

Los resultados obtenidos de la casa de la calidad permiten identificar información relevante sobre el diseño de la máquina trituradora. Esto permitirá tener una referencia para satisfacer los requerimientos del cliente según el porcentaje de importancia obtenido.

Entre estos se tiene:

- Motor de combustión interna

Utilizar un motor de combustión interna en la máquina garantizará que pueda trabajar en campo. Se debe tomar en cuenta que el motor pueda trabajar bajo lluvia, sin dañarse.

- Ergonomía

Se orienta a que el trabajador no realice posiciones inadecuadas que pueden afectar su bienestar físico y mental mientras utiliza la máquina.

- Transporte (llantas)

Garantiza el transporte de la máquina por carretera sin necesidad de adquirir un vehículo adicional para movilizar la máquina.

- Diseño robusto

Constituye un parámetro de alta importancia debido que la máquina debe soportar trabajo pesado en campo y bajo condiciones ambientales variables.

- Precio de compra

Es de gran importancia tener en cuenta que la máquina debe cumplir con los requerimientos del cliente y presentar materiales de buena calidad dando paso a un reto en el diseño con costos bajos.

#### **2.1.5 Especificaciones técnicas**

De acuerdo con el desarrollo y los resultados de la casa de la calidad se procede a realizar las especificaciones técnicas determinadas para el diseño de la máquina, como se muestra en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de la máquina trituradora

<b>Empresa cliente</b>  Prefectura de Imbabura & Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN		<b>Producto:</b>		<b>Fecha de inicio</b>
		Trituradora de madera		09/01/2021
<b>Última revisión</b>				
09/01/2021				
<b>Diseñador</b> Freddy Castillo				Página 1/1
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Función	09/01/2021	C	R	Máquina para triturar residuos de poda de árboles.
Energía	09/01/2021	D	R	Funcionamiento con motor de combustión interna.
Mantenimiento	09/01/2021	C+D	D	Baja complejidad en la máquina para fácil montaje. Mantenimiento regular
Seguridad y ergonomía	09/01/2021	C+D	R	Evitar malas posturas del trabajador
<p><b>Propone:</b> C = Cliente; M = Marketing; D = diseño; F = Fabricación.</p> <p><b>R/D:</b> R = Requerimiento; MR = Modificación de requerimiento; NR = Nuevo requerimiento; D = Deseo; MD = Modificación de deseo; ND = Nuevo deseo.</p>				

(Fuente: Propia)

Las especificaciones técnicas de la máquina trituradora nos permiten entender los diferentes parámetros para el correcto funcionamiento de la máquina sin dejar un lado requerimientos del usuario.

## 2.2 Selección y evaluación de alternativas

En el presente ítem se analizará la información de modelos propuestos para máquinas trituradoras en el mercado, generando nuevas ideas de diseño que garanticen los requerimientos del cliente.

### 2.2.1 Análisis funcional

El análisis funcional permite obtener diferentes alternativas de solución para una misma problemática manteniendo el enfoque de productos de buena calidad y bajo costo. El uso de este recurso permite establecer funciones primarias (definen el propósito) y secundarias (desarrollo óptimo) del producto. Al agrupar un conjunto de funciones secundarias se da paso al diseño modular, el cual permite obtener diferentes alternativas de solución para un grupo de funciones.

Para realizar el análisis funcional se utiliza diagramas de flujo, que presentan forma cuadrangular donde se identifica cada función además tendrá diferentes entradas y salidas de señales como material, energía y señales de control.

### 2.2.2 Niveles funcionales de la máquina trituradora

En la Figura 2.3 se muestra la estructura funcional de Nivel 0 de la trituradora.

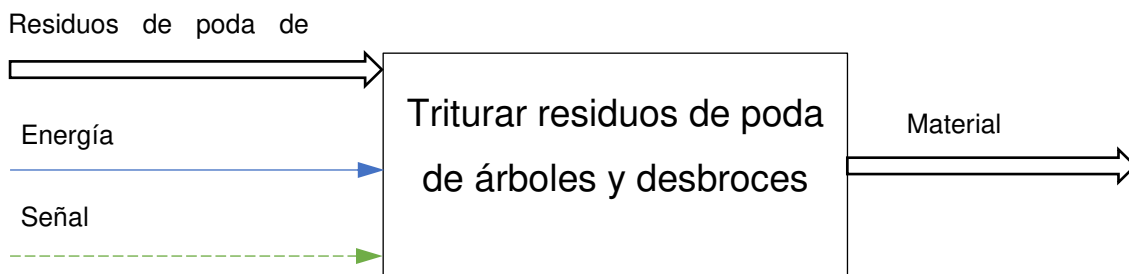


Figura 2.3. Desarrollo del nivel 0 de la trituradora

(Fuente: Propia)

En la Figura 2.4 se muestra la estructura funcional de Nivel 1 de la trituradora.

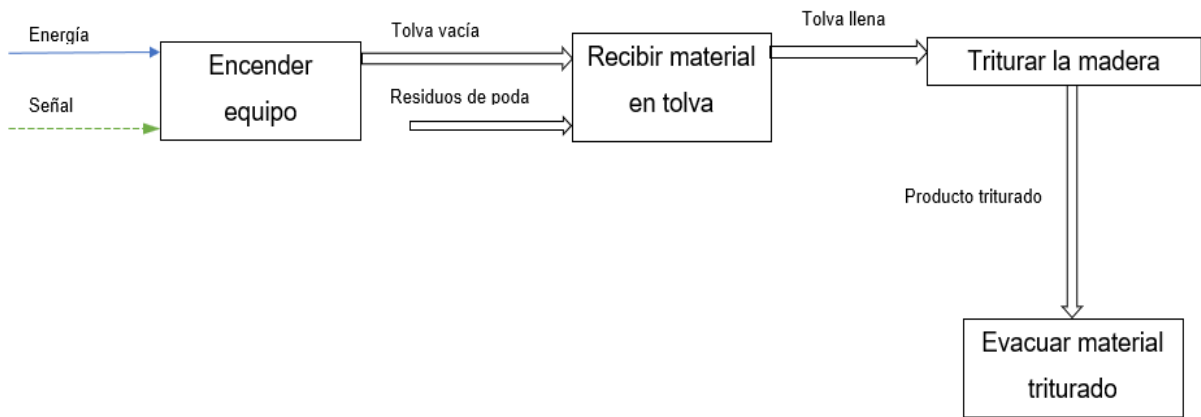


Figura 2.4. Desarrollo del nivel 1 de la trituradora

(Fuente: Propia)

### 2.2.3 Determinación de módulos

La determinación de los módulos constructivos y/o funcionales ayuda a encontrar diferentes alternativas de solución por tal razón es una herramienta que optimiza el uso de recursos y tiempo en el diseño.

A través de análisis del nivel 1 de los diagramas funcionales obtenemos los siguientes módulos para la máquina trituradora, como se puede observar en la Figura 2.5:

- Módulo 1: Sistema motriz
- Módulo 2: ingreso de la materia prima
- Módulo 3: trituración y evacuación residuos triturados

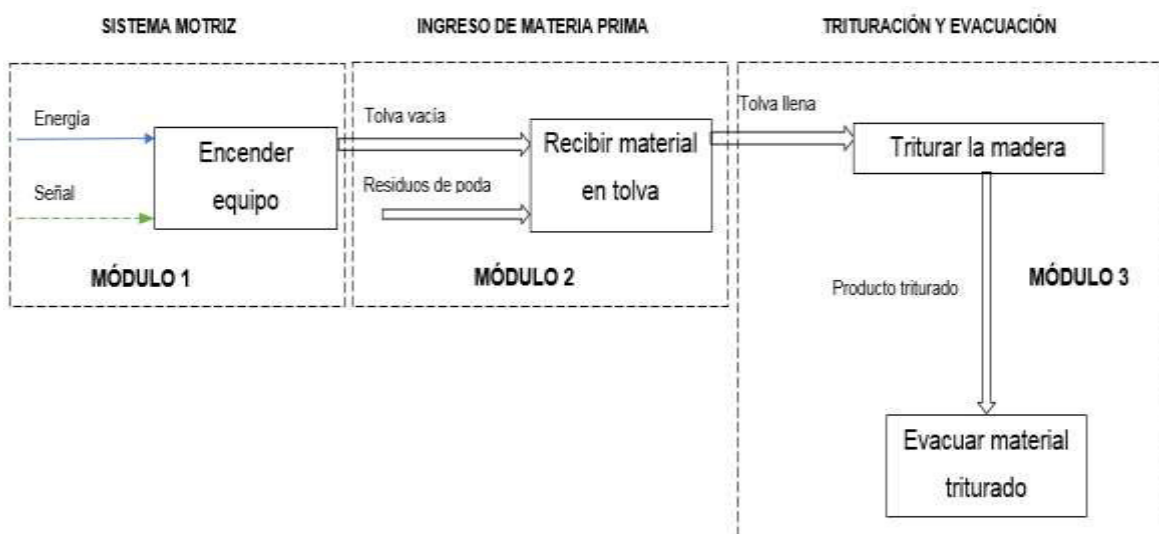


Figura 2.5. División modular.

(Fuente: Propia)



## 2.2.4 Selección de alternativas

Se logra identificar tres funciones para las cuales se plantea diferentes alternativas de solución y se escoge la alternativa más viable. A continuación, se describe las funciones, ventajas y desventajas de cada una de ellas.

### Módulo 1: Sistema motriz

El presente módulo cumple con las siguientes funciones:

- Convertir energía
- Transmitir torque al sistema de trituración

A continuación, se propone soluciones para el módulo 1.

- **Alternativa 1: motor eléctrico AC**

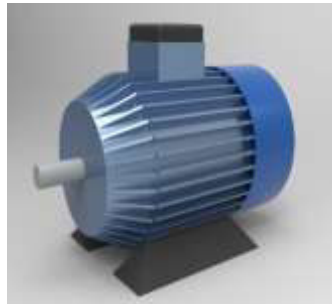


Figura 2.6. Alternativa 1: Motor ac - Módulo 1

(Fuente: Propia)

En la Figura 2.6 se muestra un motor eléctrico AC como solución primaria para el primer módulo. A continuación, se evaluará las ventajas y desventajas:

#### Ventajas

- Velocidad constante
- Tamaño reducido
- Liviano
- Disponible en el mercado para diferentes capacidades de trabajo (HP).

#### Desventajas

- Necesita conexión eléctrica

- **Alternativa 2: Motor estacionario – mono cilíndrico combustión interna**

En la Figura 2.7 se muestra motor estacionario como solución primaria para el primer módulo, como se indica a continuación:

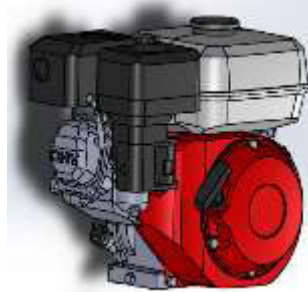


Figura 2.7. Alternativa 2: Motor estacionario - Módulo 1

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Velocidad constante
- Tamaño reducido
- Liviano
- Disponible en el mercado para diferentes capacidades de trabajo (HP).

#### Desventajas

- Necesita tener cerca combustible extra para un funcionamiento continuo
- Ruidoso
- Genera emisiones dañinas para el medio ambiente

#### **Módulo 1 – Subfunción (Transmitir torque)**

Esta subfunción está comprendida en transmitir la energía mecánica del motor hacia el sistema de trituración. Estos sistemas pueden ser:

- **Alternativa 1 – Sistema de cadena y ruedas dentadas**

En la Figura 2.8 se muestra sistema de cadenas y ruedas dentadas como solución primaria para el módulo 1, como se indica a continuación:



Figura 2.8. Reductor de cadenas - Subfunción Módulo 1

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Vida útil relativamente alta
- Permite realizar un mantenimiento de los elementos internos
- No existe pérdida de potencia

#### Desventajas

- Aumenta el peso del conjunto de trituración
  - Mayor costo de adquisición
  - Ruidoso
- **Alternativa 2 – Poleas**

En la Figura 2.9 se muestra poleas como solución primaria para el módulo 1, como se indica a continuación:

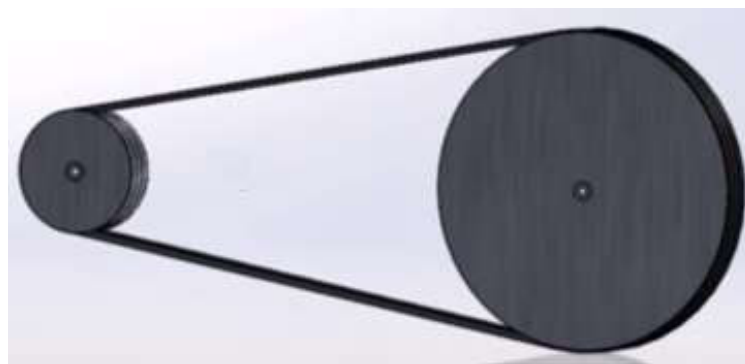


Figura 2.9. Alternativa 2: Poleas - Subfunción Módulo 1

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Poco ruido y baja vibración

- Bajo costo de adquisición
- Fácil instalación

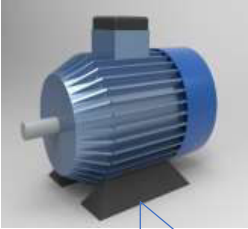
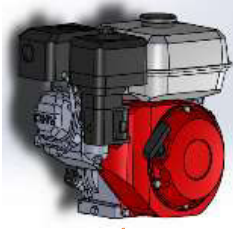

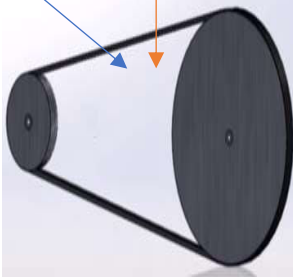
#### Desventajas

- Vida útil relativamente baja
- Pérdidas de potencia por fricción

#### Matriz morfológica

La matriz morfológica permite agrupar los posibles recursos a utilizar y generar diferentes combinaciones de alternativas de solución para el módulo 1, a continuación, se presenta la Tabla 2.2:

Tabla 2.2. Matriz morfológica, módulo 1

FUNCIONES	SOLUCIONES	
<p><b>1. Convertir energía</b></p>	<p>Motor eléctrico</p> 	<p>Motor estacionario</p> 
<p><b>2. Transmitir torque al sistema de trituración</b></p>	<p>Cadena y ruedas dentadas</p> 	<p>Poleas</p> 

(Fuente: Propia)

(Solución 1) Motor estacionario + cadena y ruedas dentadas

(Solución 2) Motor estacionario + poleas

(Solución 3) Motor eléctrico + cadena y ruedas dentadas

(Solución 4) Motor eléctrico + poleas

## **Evaluación y selección de las alternativas para el Módulo 1**

Para evaluar cada una de las alternativas propuestas para el módulo 1 tanto la función principal como en la subfunción se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados con el fin de evaluar la solución más adecuada en el diseño de la máquina trituradora.

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Seguridad: se evalúa la seguridad que proporciona al operario en el manejo del motor y el sistema de transmisión de torque.
- Costo: se toma en cuenta los costos del equipo de manera que se obtenga una máquina de bajo precio.
- Facilidad de operación en campo: se evalúa la facilidad de operación en campo que debe tener la máquina.

Para dicha evaluación se ordena cada criterio en una tabla y se asigna valores de la siguiente forma:

- 1 – Cuando la solución o criterio de las filas es superior (mejor;  $>$ ) que el de las columnas.
- 0,5 – Cuando la solución o criterio de las filas es equivalente (igual;  $=$ ) a de las columnas.
- 0 – Cuando el criterio o solución de las filas es inferior (peor;  $<$ ) que el de las columnas.

Siguiendo la asignación de valores hay que tener en cuenta que se debe añadir 1 (una unidad) para evitar que en una fila exista una sumatoria nula.

Finalmente, se realiza la evaluación total y el resultado es la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico que tiene cada criterio (Riba, 2002).

Tabla 2.3. Evaluación de cada criterio - módulo 1

Seguridad > Facilidad de operación en campo > Costo					
Criterio	Seguridad	Facilidad de operación en campo	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Seguridad</b>		1	1	3	0,50
<b>Facilidad de operación en campo</b>	0		1	2	0,33
<b>Costo</b>	0	0		1	0,17
			<b>Suma</b>	6	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.4. Evaluación del criterio seguridad del módulo 1

Solución 1 = Solución 2 > Solución 3 = Solución 4						
Seguridad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0,5	1	1	3,5	0,35
<b>Solución 2</b>	0,5		1	1	3,5	0,35
<b>Solución 3</b>	0	0		0,5	1,5	0,15
<b>Solución 4</b>	0	0	0,5		1,5	0,15
				<b>Suma</b>	10	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.5. Evaluación del criterio facilidad de operación en campo del módulo 1

Solución 2 > Solución 1 > Solución 4 > Solución 3						
Facilidad de operación en campo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		0	1	1	3	0,300
<b>Solución 2</b>	1		1	1	4	0,400
<b>Solución 3</b>	0	0		0	1	0,100
<b>Solución 4</b>	0	0	1		2	0,200
				<b>Suma</b>	10	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.6. Evaluación del criterio costo del módulo 1

Solución 3 > Solución 4 > Solución 1 > Solución 2						
Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0	0	2	0,200
<b>Solución 2</b>	0		0	0	1	0,100
<b>Solución 3</b>	1	1		1	4	0,400
<b>Solución 4</b>	1	1	0		3	0,300
				<b>Suma</b>	10	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.7. Conclusiones respecto a soluciones - módulo 1

Conclusiones	Seguridad	Facilidad de operación en campo	Costo	$\Sigma$	Prioridad
<b>Solución 1</b>	0,350	0,300	0,200	0,850	<b>2</b>
<b>Solución 2</b>	0,350	0,400	0,100	0,850	<b>1</b>
<b>Solución 3</b>	0,150	0,100	0,400	0,650	<b>3</b>
<b>Solución 4</b>	0,150	0,200	0,300	0,650	<b>4</b>

(Fuente: Propia)

En la Tabla 2.7 se resume las alternativas con sus respectivos pesos específicos de cada criterio, donde la solución 1 y 2 presentan la misma ponderación en este caso se da prioridad al criterio de costo y facilidad de operación en campo.

En conclusión, la mejor solución para el módulo 1 sistema motriz y transmitir el torque es la solución 2: motor estacionario + poleas.

## Módulo 2: Ingreso de la materia prima

El presente módulo cumple con las siguientes funciones:

- Canalizar los residuos de poda de árboles
- Debe garantizar la seguridad del usuario en el ingreso de los residuos vegetales

A continuación, se propone soluciones para el módulo 2.

- **Alternativa 1: Tolva cónica**

En la Figura 2.10 se muestra una tolva cónica como solución primaria para el segundo módulo, como se indica a continuación:

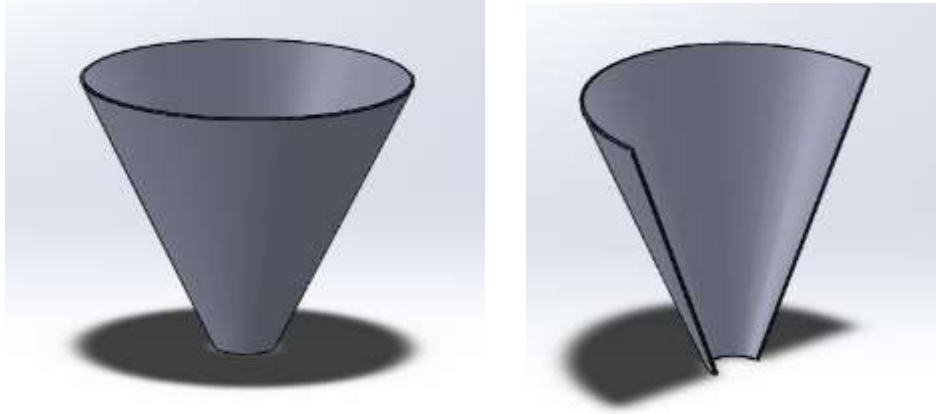


Figura 2.10. Alternativa 1: tolva cónica - Módulo 2

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Liviana

#### Desventajas

- Para su construcción hay que tomar en cuenta el diámetro de los rodillos del proceso de rolado.
- Mayor costo en su construcción

- **Alternativa 2: Tolva piramidal o tronco cónico**

En la Figura 2.11 se muestra un esquema de la tolva piramidal o tronco cónico.

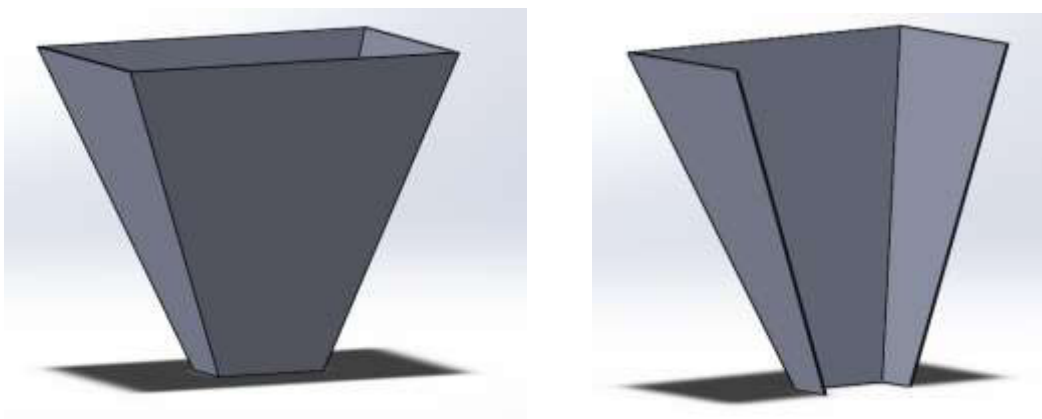


Figura 2.11. Alternativa 2: tolva piramidal - Módulo 2

Fuente: P(ropia)



### Ventajas

- Liviana
- Fácil construcción

### Desventajas

- Por las uniones soldadas que presenta la tolva implica alto costo de mano de obra.
- **Alternativa 3: Tolva transportadora de material**

En la Figura 2.12 se muestra un esquema de la tolva transportadora de material.

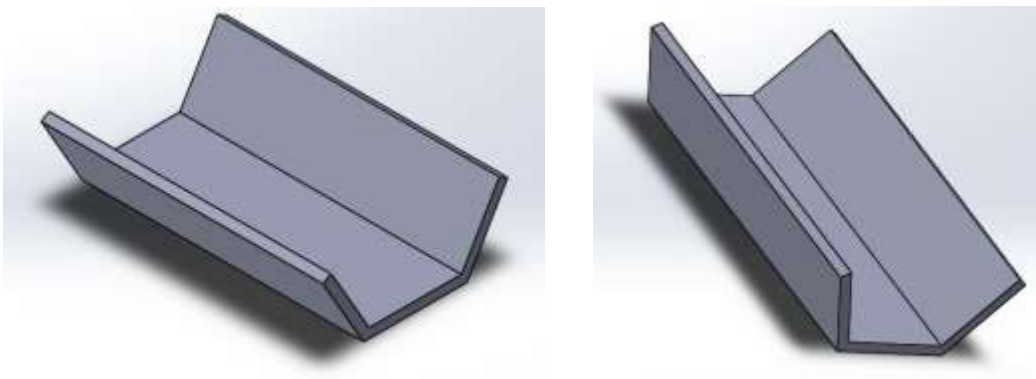


Figura 2.12. Alternativa 3: tolva transportadora de material - Módulo 2

(Fuente: Propia)

### Ventajas

- Liviana
- Fácil construcción
- Presenta fácil montaje en la máquina

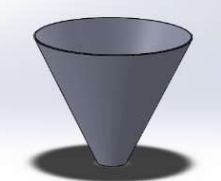
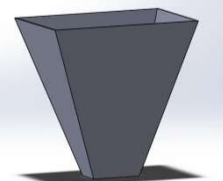
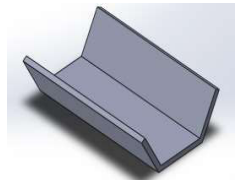



### Desventajas

- Debe presentar gran tamaño en su altura para brindar seguridad al operario
- Requiere elementos adicionales como una banda transportadora de material
- Requiere mallas de seguridad en el ingreso del material a la máquina

### Matriz morfológica

La matriz morfológica permite agrupar los posibles recursos a utilizar y generar diferentes combinaciones de alternativas de solución para el módulo 2, a continuación, se presenta la Tabla 2.8:

Tabla 2.8. Matriz morfológica, módulo 2

FUNCIONES	SOLUCIONES		
1. Canalizar los residuos de poda de árboles	Tolva cónica 	Tolva piramidal 	Tolva transportadora 
2. Debe garantizar la seguridad del usuario en el ingreso de los residuos vegetales			

(Fuente: Propia)

(Solución 1) Tolva cónica

(Solución 2) Tolva piramidal

(Solución 3) Tolva transportadora

### Evaluación y selección de alternativas del módulo 2

Para evaluar cada una de las alternativas propuestas para el módulo 2 se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados con el fin de evaluar la solución más adecuada en el diseño de la máquina trituradora.

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Seguridad: se evalúa la seguridad al momento de ingresar el material por parte del operario, teniendo en cuenta que ingrese la mayor sección de la rama a la tolva además que la tolva sea un obstáculo para el ingreso total de la mano del operario al ingresar el material a triturar.
- Costo: se toma en cuenta los costos del material y construcción de la tolva de manera que se obtenga una máquina de bajo precio.
- Facilidad de montaje: se evalúa la facilidad de montaje en la máquina.
- Peso: se tiene en cuenta el peso debido que se requiere una máquina liviana
- Geometría: se evalúa la geometría de la estructura con el fin de que ocupe menor espacio y permita transportar fácilmente la máquina.

Tabla 2.9. Evaluación de cada criterio - módulo 2

Seguridad > Costo > Geometría = Facilidad de montaje > Peso							
Criterio	Seguridad	Costo	Facilidad de montaje	Peso	Geometría	$\Sigma+1$	Ponderación
Seguridad		1	1	1	1	5	0,333
Costo	0		1	1	1	4	0,267
Facilidad de montaje	0	0		1	0,5	2,5	0,167
Peso	0	0	0		0	1	0,067
Geometría	0	0	0,5	1		2,5	0,167
					<b>Suma</b>	15	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.10. Evaluación del criterio seguridad del módulo 2

Solución 1 = Solución 2 > Solución 3					
Seguridad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1	2,5	0,417
Solución 2	0,5		1	2,5	0,417
Solución 3	0	0		1	0,167
			<b>Suma</b>	6	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.11. Evaluación del criterio costo del módulo 2

Solución 3 > Solución 2 > Solución 1					
Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,167
Solución 2	1		0	2	0,333
Solución 3	1	1		3	0,500
			<b>Suma</b>	6	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.12. Evaluación del criterio facilidad de montaje del módulo 2

Solución 2 > Solución 1 > Solución 3					
Facilidad de montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0,333
Solución 2	1		1	3	0,500
Solución 3	0	0		1	0,167
			<b>Suma</b>	6	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.13. Evaluación del criterio peso del módulo 2

Solución 3 > Solución 1 = Solución 2					
Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	1,5	0,250
Solución 2	0,5		1	2,5	0,417
Solución 3	1	1		3	0,500
			<b>Suma</b>	7	1,167

(Fuente: Propia)

Tabla 2.14. Evaluación del criterio geometría del módulo 2

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2					
Geometría	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,417
Solución 2	0		0	1	0,167
Solución 3	0,5	1		2,5	0,417
			<b>Suma</b>	6	1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.15. Conclusiones respecto a soluciones - módulo 2

Conclusiones	Seguridad	Costo	Facilidad de montaje	Peso	Geometría	$\Sigma$	Prioridad
Solución 1	0,417	0,167	0,333	0,250	0,417	1,583	3
Solución 2	0,417	0,333	0,500	0,417	0,167	1,833	1
Solución 3	0,167	0,500	0,167	0,500	0,417	1,750	2

Fuente: (propia)

En conclusión, de acuerdo con la Tabla 2.15 la mejor alternativa para el módulo 2 en el diseño de la tolva es la solución 2: tolva piramidal o tronco cónico.

- **Módulo 3: Trituración**

La trituración de los residuos de poda de árboles debe realizarse de manera continúa evitando que la máquina se atasque y esta característica depende del sistema de trituración, por tal razón se presentan algunas alternativas que deben cumplir con la función de:

- Triturar ramas de poda de árboles

- **Un eje con disco porta-cuchillas**

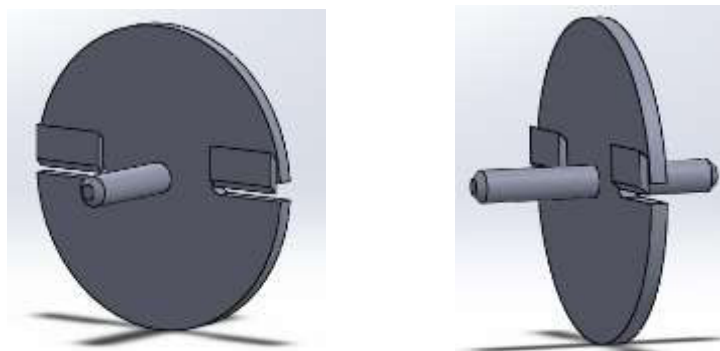


Figura 2.13. Un eje con disco porta-cuchillas - Módulo 3

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Capacidad de procesar variedad de materias primas de madera
- Bajo costo de fabricación
- Facilidad en el mantenimiento
- Robusta
- Genera viruta fina entre 2 a 3 cm.

### Desventajas

- Se debe tener en cuenta el material de las cuchillas y la forma como serán colocadas en el disco para evitar accidentes.
- Ensamblaje

- **Cuchillas acopladas a un eje**

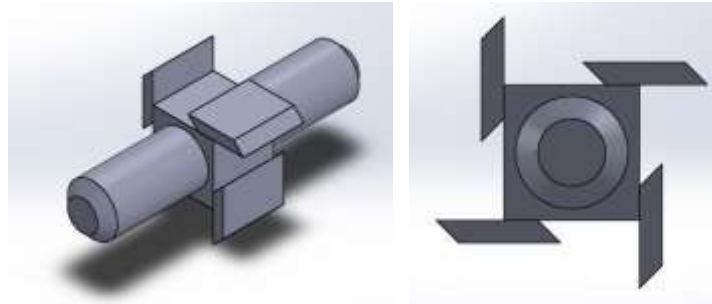


Figura 2.14. Cuchillas acopladas un eje - Módulo 3

(Fuente: Propia)

### Ventajas

- Capacidad de procesar variedad de materias primas de madera
- Bajo costo
- Facilidad en el mantenimiento
- Robusta
- Genera trozos de madera

### Desventajas

- Para colocar las cuchillas se debe perforar en eje y eso puede disminuir la resistencia del eje.

- **Cuchillas acopladas en un rodillo**

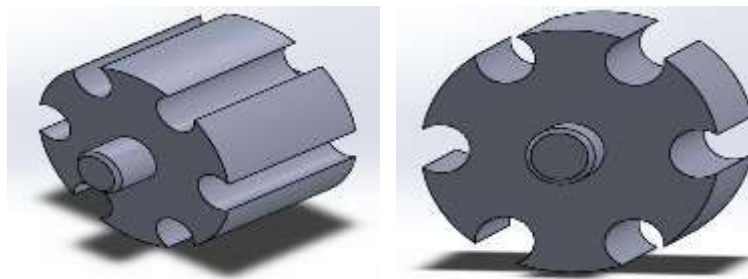


Figura 2.15. Cuchillas acopladas en un rodillo - Módulo 3

(Fuente: Propia)

## Ventajas

- Capacidad de procesar variedad de materias primas de madera
- Robusta
- Genera virutas finas

## Desventajas

- Alto costo de construcción
- Difícil montaje
- Las cuchillas que utiliza este mecanismo presentan geometría compleja de fabricarlas.

## Evacuación de residuos triturados

El módulo 3 además de triturar debe cumplir con la siguiente función:

- Evacuar los residuos triturados

Por lo tanto, se propone alternativas para cumplir dicha función.

- **Alternativa 1: Evacuación de los residuos por gravedad: estructura abierta debajo (Trituración Disco)**

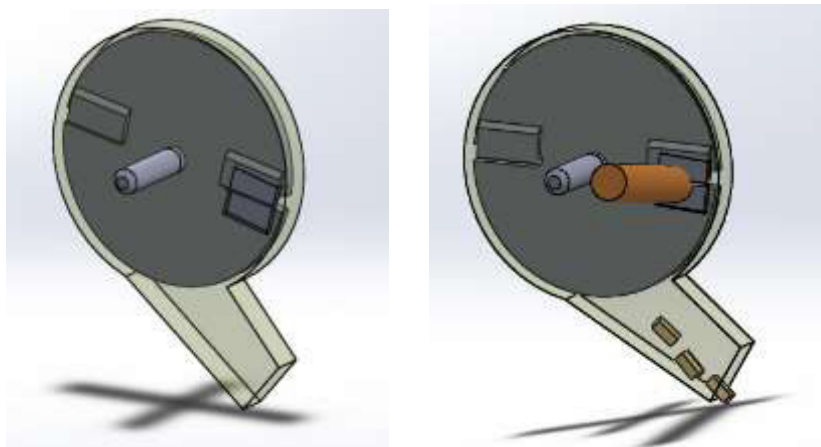


Figura 2.16. Evacuación de los residuos por gravedad: estructura por gravedad: estructura abierta debajo (Discos)

(Fuente: Propia)

## Ventajas

- Fácil fabricación además su montaje en la máquina necesita de operaciones sencillas.

## Desventajas

- El operario debe mover la máquina cuando necesite recoger el material triturado.
- Necesita de una estructura de gran tamaño para que los residuos puedan ser recogidos y la máquina siga trabajando.
- **Alternativa 2: Evacuación de los residuos por gravedad: estructura abierta debajo (Trituración Rodillos)**

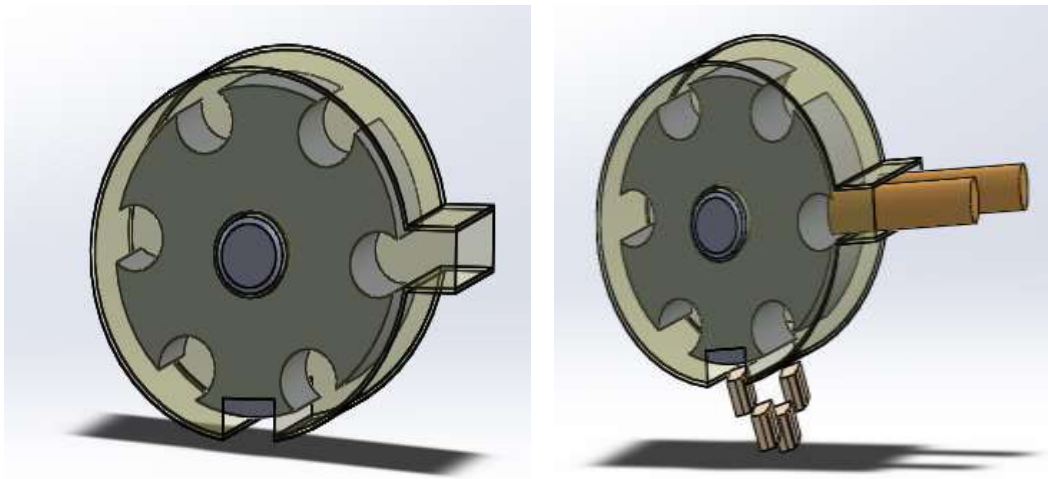


Figura 2.17. Evacuación de residuos por gravedad: estructura abierta debajo, alternativa 1

(Fuente: Propia)

## Ventajas

- Fácil fabricación además su montaje en la máquina necesita de operaciones sencillas.
- Alto costo de fabricación del sistema de trituración

## Desventajas

- El operario debe mover la máquina cuando necesite recoger el material triturado.
- Necesita de una estructura de gran tamaño para que los residuos puedan ser recogidos y la máquina siga trabajando.



- **Alternativa 3: Evacuación de los residuos por venteo: aspas acopladas al disco (Trituración Disco)**

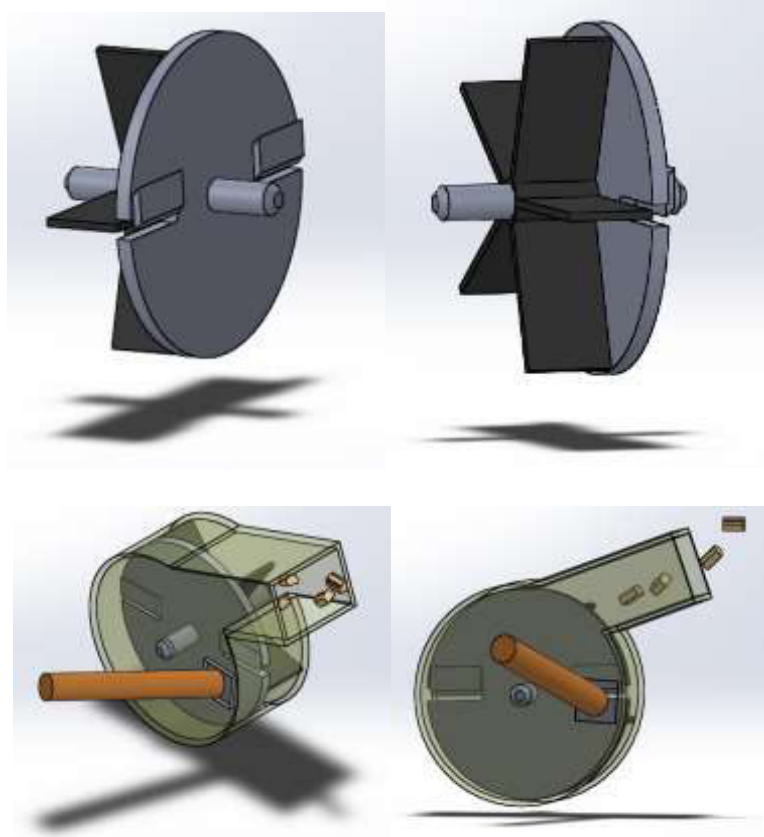


Figura 2.18. Evacuación de residuos por venteo: aspas acopladas al disco, alternativa 3

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Fácil fabricación además su montaje en la máquina necesita de operaciones sencillas.
- Permite depositar los residuos triturados sobre vehículos para transportarlas.

#### Desventajas

- Aumento en el costo de fabricación
- Aumento en el peso de la máquina.

- **Alternativa 4: Evacuación de los residuos por gravedad: estructura abierta un lado (Trituración eje con cuchillas)**

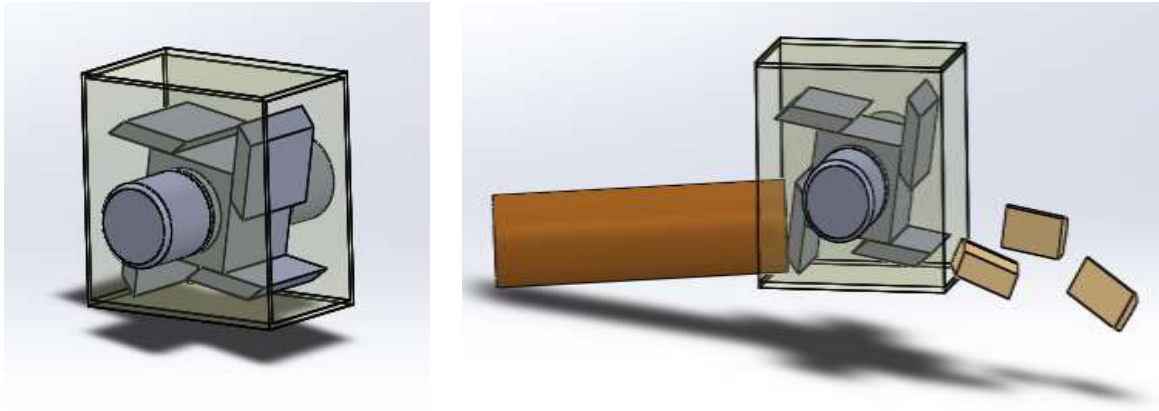


Figura 2.19. Evacuación de los residuos por gravedad, estructura abierta a un lado

(Fuente: Propia)

#### Ventajas

- Fácil fabricación además su montaje en la máquina necesita de operaciones sencillas.

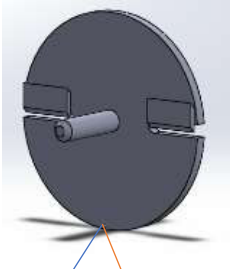
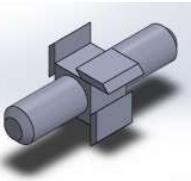
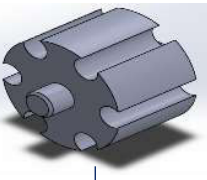
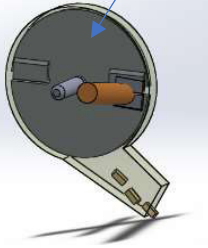
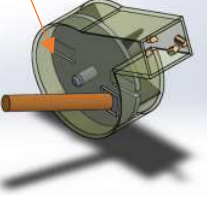
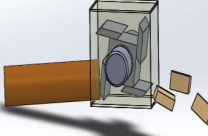
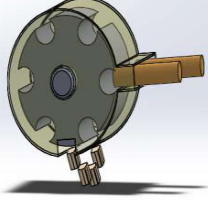
#### Desventajas

- Necesita de una estructura de gran tamaño para que los residuos triturados puedan ser recogidos por el operario

#### **Matriz morfológica**

La matriz morfológica permite agrupar los posibles recursos a utilizar y generar diferentes combinaciones de alternativas de solución para el módulo 2, a continuación, se presenta la Tabla 2.16:

Tabla 2.16. Matriz morfológica, módulo 3

FUNCIONES	SOLUCIONES			
<b>1. Triturar ramas de poda de árboles</b>	Eje con disco porta-cuchillas 		Cuchillas acopladas a un eje 	Cuchillas acopladas en un rodillo 
<b>2. Evacuar los residuos triturados</b>	Estructura abierta debajo 	Por venteo aspas acopladas 	Estructura abierta un lado 	Estructura abierta debajo 

(Fuente: Propia)

(Solución 1) Trituración de disco con estructura abierta debajo

(Solución 2) Trituración de rodillo con estructura abierta debajo

(Solución 3) Trituradora de disco con aspas acopladas al disco

(Solución 4) Trituradora con cuchillas acopladas al eje con estructura abierta debajo

### Evaluación y selección de alternativas

Para evaluar cada una de las alternativas propuestas para el módulo 2 se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados con el fin de evaluar la solución más adecuada en el diseño de la máquina trituradora.

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Costo de fabricación: se toma en cuenta los costos del material y construcción del sistema de trituración y su estructura de manera que se obtenga una máquina de bajo precio.
- Facilidad de montaje: se evalúa la facilidad de montaje en la máquina.
- Facilidad de mantenimiento: se requiere una estructura y un sistema de trituración que permita al operario realizar un fácil mantenimiento a la máquina.
- Peso: se tiene en cuenta el peso debido que se requiere una máquina liviana

- Desgaste de las cuchillas: se evalúa el material de las cuchillas y la facilidad que debe presentar la máquina para acceder a las mismas y poder reemplazarlas.
- Facilidad de recoger material triturado: se necesita que el material triturado pueda ser depositado en vehículos para su transporte o el material triturado no obstaculice el funcionamiento de la máquina por acumulación de este.

Tabla 2.17. Evaluación de cada criterio - módulo 3

Costo de fabricación > Facilidad de montaje > Facilidad de recoger material triturado = Desgaste de las cuchillas > Facilidad de mantenimiento > Peso								
Criterio	Costo de fabricación	Facilidad de montaje	Facilidad de mantenimiento	Peso	Desgaste de las cuchillas	Facilidad de recoger material triturado	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo de fabricación		1	1	1	1	1	6	0,353
Facilidad de montaje	0		0	1	0	0	2	0,118
Facilidad de mantenimiento	0	0		1	0	0	2	0,118
Peso	0	0	0		0	0	1	0,059
Desgaste de las cuchillas	0	0	0	1		0,5	2,5	0,147
Facilidad de recoger material triturado	0	0	1	1	0,5		3,5	0,206
							<b>Suma</b>	17
								1,000

(Fuente: Propia)

Tabla 2.18. Evaluación de soluciones respecto a costos de fabricación - módulo 3

Solución 2 = Solución 3 > Solución 1 > Solución 4						
Costos de fabricación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	2,0	0,20
Solución 2	1		0,5	1	3,5	0,35
Solución 3	1	0,5		1	3,5	0,35
Solución 4	0	0	0		1,0	0,10
					<b>Suma</b>	10,0
						1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.19. Evaluación de soluciones respecto a facilidad de montaje – módulo 3

Solución 4 > Solución 1 > Solución 2 > Solución 3						
Facilidad de montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	0	3,0	0,30
Solución 2	0		1	0	2,0	0,20
Solución 3	0	0		0	1,0	0,10
Solución 4	1	1	1		4,0	0,40
<b>Suma</b>					10,0	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.20. Evaluación de soluciones respecto a la facilidad de mantenimiento – módulo 3

Solución 4 > Solución 1 > Solución 3 > Solución 2						
Facilidad de mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	0	3,0	0,30
Solución 2	0		0	0	1,0	0,10
Solución 3	0	1		0	2,0	0,20
Solución 4	1	1	1		4,0	0,40
<b>Suma</b>					10,0	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.21. Evaluación de soluciones respecto al peso – módulo 3

Solución 2 > Solución 3 = Solución 1 > Solución 4						
Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0,5	1	2,5	0,25
Solución 2	1		1	1	4,0	0,40
Solución 3	0,5	0		1	2,5	0,25
Solución 4	0	0	0		1,0	0,10
<b>Suma</b>					10,0	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.22. Evaluación de soluciones respecto al desgaste de las cuchillas – Módulo 3

Solución 1 = Solución 3 > Solución 4 = Solución 2						
Desgaste de las cuchillas	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0,5	1	3,5	0,35
<b>Solución 2</b>	0		0	0,5	1,5	0,15
<b>Solución 3</b>	0,5	1		1	3,5	0,35
<b>Solución 4</b>	0	0,5	0		1,5	0,15
				<b>Suma</b>	10,0	1,00

(Fuente: Propia)

Tabla 2.23. Evaluación de soluciones respecto a la facilidad de recoger material triturado – Módulo 3

Solución 3 = Solución 1 > Solución 2 = Solución 4						
Facilidad de recoger material triturado	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Solución 1</b>		1	0	0	2,0	0,20
<b>Solución 2</b>	0		0,5	0	1,5	0,15
<b>Solución 3</b>	0,5	1		0	2,5	0,25
<b>Solución 4</b>	0	0,5	0		1,5	0,15
				<b>Suma</b>	7,5	0,75

(Fuente: Propia)

Tabla 2.24. Conclusiones respecto a soluciones – módulo 3

Conclusiones	Costo de fabricación	Facilidad de montaje	Facilidad de mantenimiento	Peso	Desgaste de las cuchillas	Facilidad de recoger material triturado	$\Sigma$	Prioridad
<b>Solución 1</b>	0,20	0,30	0,30	0,25	0,35	0,20	1,60	<b>1</b>
<b>Solución 2</b>	0,35	0,20	0,10	0,40	0,15	0,15	1,35	<b>3</b>
<b>Solución 3</b>	0,35	0,10	0,20	0,25	0,35	0,25	1,50	<b>2</b>
<b>Solución 4</b>	0,10	0,40	0,40	0,10	0,15	0,15	1,30	<b>4</b>

(Fuente: Propia)

En conclusión, de acuerdo con la Tabla 2.24 la mejor solución para el módulo 3 en el diseño del sistema de trituración y evacuación de residuos es la alternativa 1: Evacuación de los residuos por gravedad: estructura abierta debajo (Discos)

### 2.2.5 Solución Virtual

Una vez se realizó el análisis y evaluación de cada solución propuesta en los respectivos módulos definidos previamente, se determina la solución final que corresponde a la recopilación de todas las alternativas seleccionadas mediante el análisis ordinal corregido de criterios ponderados.

Para el ensamble de la máquina trituradora se utiliza software CAD SolidWorks como se muestra a continuación en la Figura 2.20:

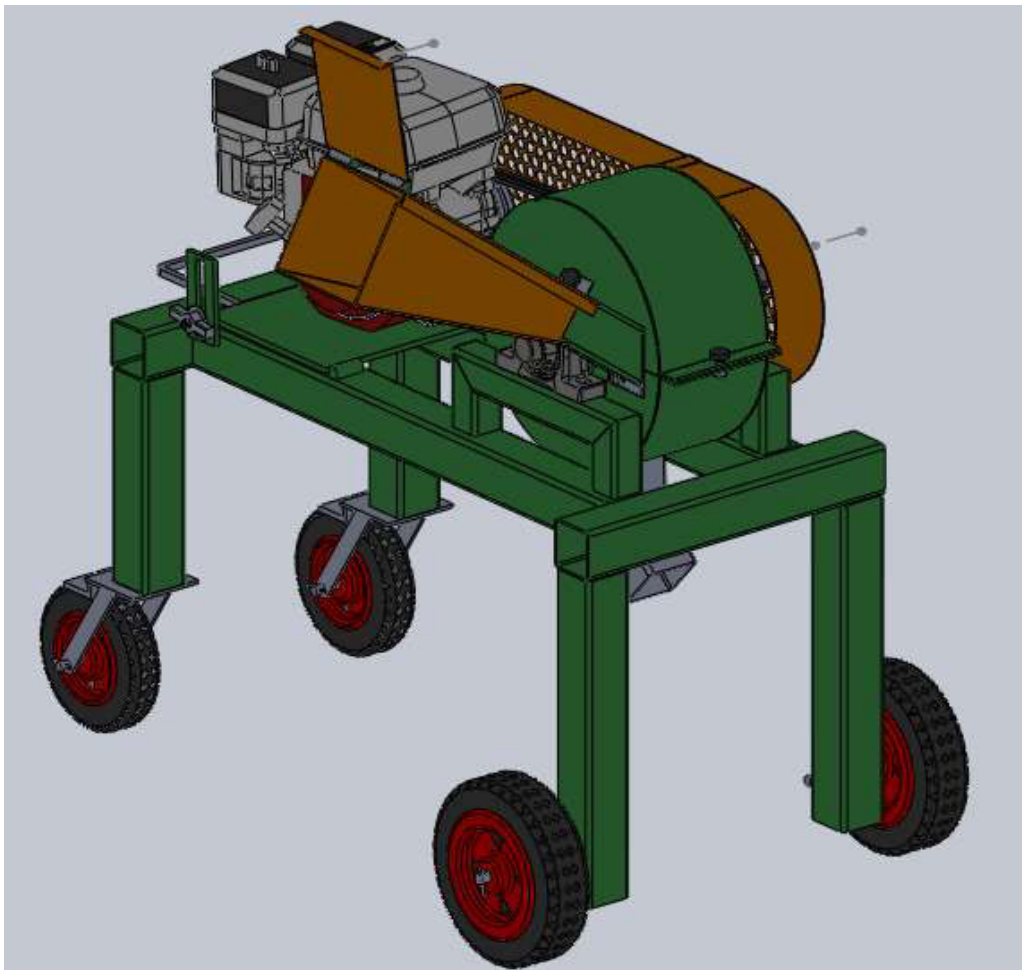


Figura 2.20. Solución virtual de la máquina trituradora

(Fuente: Propia)

## 2.3 Cálculo y selección de componentes

### 2.3.1 Evaluación de la resistencia al impacto o tenacidad de la madera

Dentro de las propiedades físico-mecánicas de la madera una de gran relevancia es la resistencia al impacto o tenacidad de la madera que se define como la capacidad de absorber la energía de un golpe antes de aparecer la fractura total.

El instrumento utilizado para medir esta energía es el péndulo de Charpy, que consta de una masa  $M$  montada en un extremo del péndulo de longitud  $L$ , que pivote en un centro  $C$ .

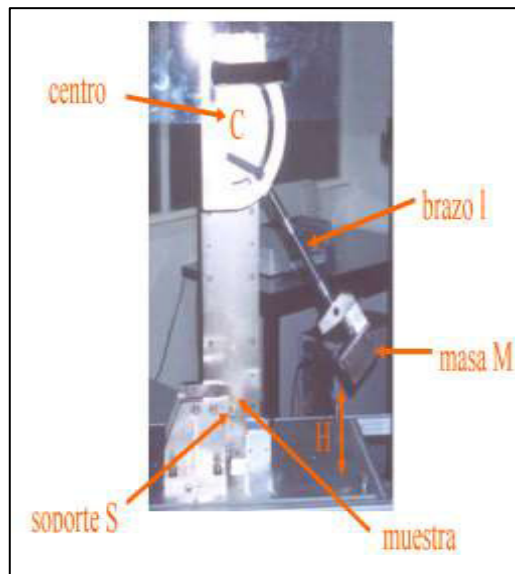


Figura 2.21. Máquina para ensayos de tenacidad por impacto (Péndulo de Charpy)

(Fuente: (Guerrero & Honorato, 2003))

Se sabe que la máquina trituradora deberá proporcionar cierta energía de impacto para romper la madera. Esa energía que absorbe la madera producto de un impacto se encuentra establecido en ensayos Charpy. En efecto de esta característica para el presente trabajo se realizará una investigación bibliográfica de diferentes especies de madera y sus respectivos valores de tenacidad, una característica de esta investigación es centrarse en especies como eucaliptos y pinos que debido a la geografía del país se tiene bastante presencia de estas dos especies; por lo que existe gran probabilidad de que gran parte de las ramas que serán trituradas por la máquina sean de estas dos especies de madera.



Tabla 2.25. Valores de resistencia al impacto o tenacidad del Eucalipto.

Nombre común	Especie	Ensayo Charpy	Fuente
		Propiedad Resistencia al impacto o tenacidad ( $J/cm^2$ )	
Eucalipto	-	8,67	(Céspedes & Gaitán, 2020)
	<u>E. Grandis</u>	<u>4,31</u>	(Pertuzzatti, Conte, Missio, Gatto, & Santini, 2017)
	E. Cloeziana	6,96	
	E. Citriodora	10,1	(Almeida, Scaliante, Macedo, & Molina, 2011)
	<u>E. Grandis</u>	<u>5,59</u>	(Modes, 2010)
	<u>E. Grandis</u>	<u>3,41</u>	(STANGERLIN, y otros, 2008)

(Fuente: Varios autores)

Tabla 2.26. Valores de resistencia al impacto o tenacidad del Pino.

Nombre común	Especie	Ensayo Charpy	Fuente
		Propiedad Resistencia al impacto o tenacidad ( $J/cm^2$ )	
Pino	<u>Pinus Radiata</u>	<u>4,43</u>	(Hermoso, Fernández, Conde, Troya, & Cabrero, 2015)
	Pino Caribe	7,37	(Céspedes & Gaitán, 2020)
	Pinus Oocarpa	6,0	(Almeida, Scaliante, Macedo, & Molina, 2011)
	Pinus Taeda	5,50	(Modes, 2010)

(Fuente: Varios autores)

**Conclusión:** se puede observar que la energía que absorbe la madera antes de fracturarse en el eucalipto varía desde 4 a 10  $J/cm^2$  mientras que en el pino varía desde 4 a 7  $J/cm^2$ . Para nuestro caso de estudio se escoge el valor promedio de 7  $J/cm^2$ .

### 2.3.2 Diámetro promedio de los residuos de poda de árboles

En esta sección se procede a definir el diámetro de las ramas producto de poda de árboles, para lo cual se toma medidas del diámetro de un lote de ramas podadas y se realiza un análisis estadístico del conjunto de datos obteniendo la Figura 2.22:

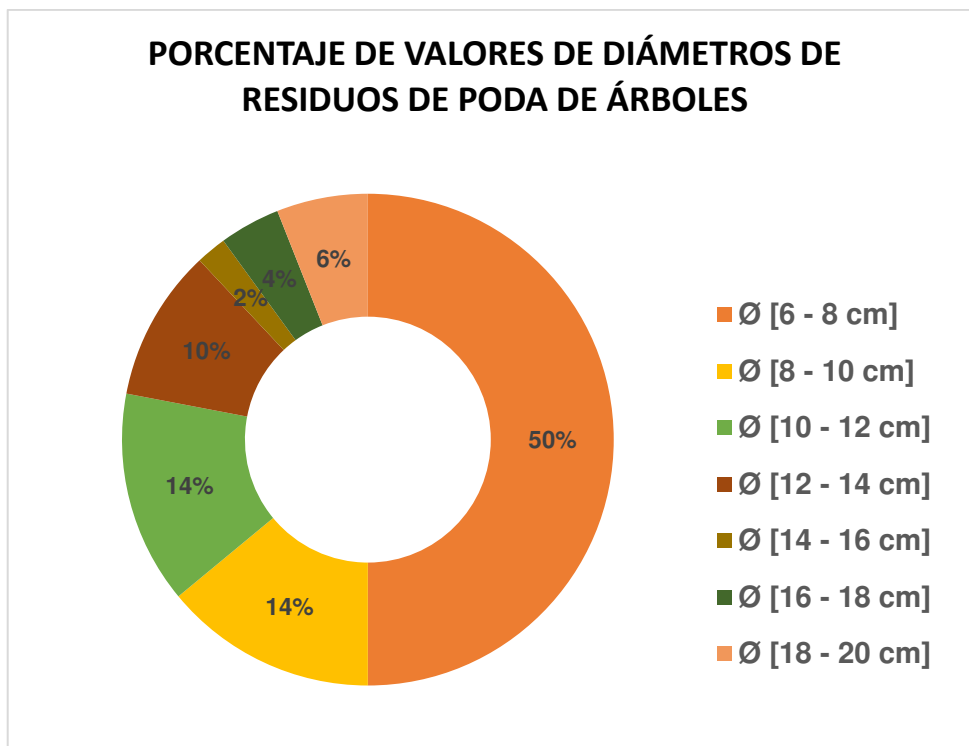


Figura 2.22. Porcentaje de valores de diámetros de residuos de poda de árboles

(Fuente: Propia)

Tabla 2.27. Análisis estadístico descriptivo de los valores del diámetro de residuos de poda

<b>Diámetro [cm]</b>	
Media	9,81
Error típico	0,53
Mediana	8,50
Moda	8
Desviación estándar	3,75
Varianza de la muestra	14,02
Curtosis	0,555
Coefficiente de asimetría	1,07
Rango	15
Mínimo	5
Máximo	20
Suma	490,5
Cuenta	50

(Fuente: Propia)

Para definir el diámetro promedio de un lote de ramas de poda de árboles escogeremos el rango de valores que se encuentren en la posición central del conjunto de datos, siguiendo este criterio se escoge la medida de la mediana que es de 8,50 cm.

Se considera que a la máquina trituradora ingresará una rama de diámetro máximo de 8,50 cm a la vez y el área transversal aproximada por cada rama es 56,74 cm<sup>2</sup>.

### 2.3.3 Cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera

La energía necesaria para fracturar la madera debe ser proporcionada por el movimiento de rotación del volante de inercia donde se encuentran sujetas las cuchillas. Esta energía se puede encontrar al realizar un ensayo Charpy. A continuación, se muestra un esquema de la similitud del movimiento del péndulo para fracturar la madera de igual forma el movimiento del volante de inercia para cumplir con la misma función.

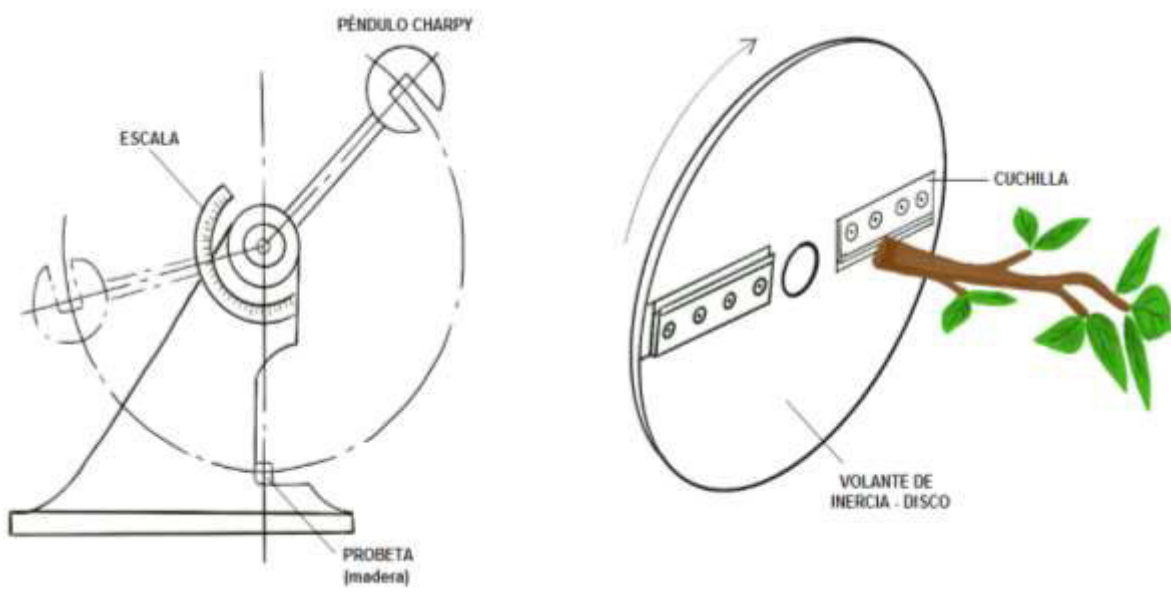


Figura 2.23. Diagrama: Péndulo Charpy - Volante de inercia: Disco

(Fuente: Propia)

En base a este análisis y la investigación bibliográfica se sabe que la resistencia al impacto o tenacidad del eucalipto resultado de un ensayo Charpy es aproximadamente 7 J/cm<sup>2</sup>.

Para calcular la energía necesaria para romper la madera se utilizará la ecuación (Ec. 2-1) que es una fórmula utilizada en ensayos Charpy (ASTM D143-94):

$$E = R * A \quad (\text{Ec. 2-1})$$

Dónde:

R: es la resistencia al impacto o tenacidad (Ensayo Charpy)

A: es el área de las ramas que serán trituradas

Tabla 2.28. Resumen de datos para el cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera

<b>Diámetro promedio de las ramas</b>	$\phi = 0,085 [m]$
<b>Resistencia al impacto o tenacidad del eucalipto</b>	$R = 7 \frac{J}{cm^2}$

(Fuente: Propia)

Tabla 2.29. Resolución de ecuaciones para el cálculo de la energía necesaria para fracturar la madera

Variable	N.º	Ecuaciones	Resultados
Energía necesaria para romper la madera	1	$E = R * A$	$E = 397,21 [J]$
Área	2	$A = \pi * r^2$	
	3	(2) en (1) $E = R * \pi * r^2$	

(Fuente: Propia)

**Conclusión:** Se tiene que la energía necesaria para fracturar ramas de poda de árboles de un diámetro de 8,5 cm es de  $E = 397,21 [J]$

### 2.3.4 Consideraciones para el diámetro del volante: Disco de trituración

El ancho máximo de una rama producto de poda de árboles es aproximadamente de 8,50 cm, además se adiciona 1,5 cm de holgura para tener 10 cm en los extremos, debido que las dimensiones de las cuchillas de trituradoras presentes en el mercado se encuentran desde 9 cm de largo. A esta medida le adicionamos el valor del radio del disco con una holgura adicional, tenemos el diámetro total del disco.

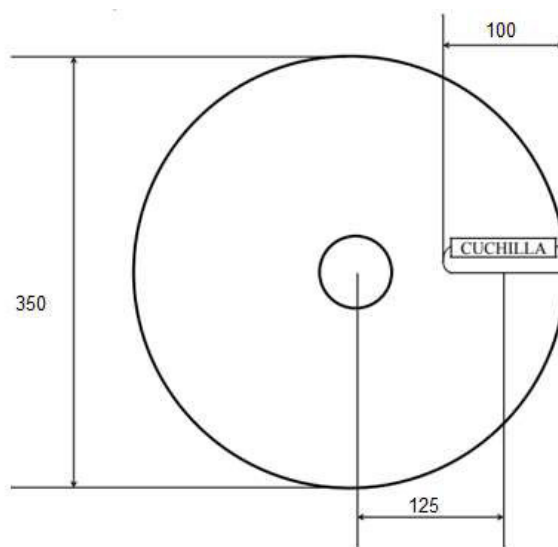


Figura 2.24. Diámetro del volante en milímetros: Disco

(Fuente: Propia)

### 2.3.5 Cálculo del volante de inercia: Disco

Una vez establecido el diámetro del volante de inercia, se procede a calcular la energía cinética rotacional que debe soportar este elemento giratorio, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_k = \frac{1}{2} * I_0 * \omega^2 \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Dónde:

$E_k$ : energía cinética rotacional de un cuerpo rígido [Joules]

$I_0$ : Momento de inercia de la masa (inercia rotacional) [ $kg * m^2$ ]

$\omega$ : velocidad angular del cuerpo rígido [rad/s]

Definiendo que el momento de inercia de la masa es una relación matemática que refleja la distribución de la masa de un cuerpo rígido en rotación, esta característica depende totalmente de la geometría y la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento. Para encontrar el momento de inercia se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$I_0 = \frac{1}{2} m r^2 \quad (\text{Ec. 2-3})$$

Siendo:

$m$ : masa del cuerpo rígido [ $kg$ ]

$r$ : es la distancia hasta el eje de giro en este caso se encuentra en el centro del disco porque esta distancia es el radio del volante.

Además, para el cálculo de volantes de inercia se utiliza parámetros auxiliares como la velocidad media, expresada como  $v$  y el coeficiente de fluctuación de velocidades, expresado por  $C_f$ , este coeficiente describe la variación de la velocidad tangencial de las cuchillas, debido que las cuchillas al impactar en la madera disminuirán la velocidad y esa relación de pérdida viene dada por el  $C_f$ . Para realizar los cálculos se definen:

$$v = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} \quad (\text{Ec. 2-4})$$

Dónde:

$v_{max}$ : es la velocidad máxima tangencial de las cuchillas antes del corte.

$v_{min}$ : es la velocidad mínima tangencial de las cuchillas después del corte

$$C_f = \frac{v_{max} - v_{min}}{v} \quad (\text{Ec. 2-5})$$

Se considera que el coeficiente de fluctuación de velocidades en el diseño de volantes para el caso de máquinas de corte existe es de 0,030 según el Anexo II.

El material escogido para la fabricación del volante de inercia es el acero AISI 1045 debido que presenta alta resistencia a la tracción y es utilizado para fabricar elementos que se encuentran en rotación; otro dato que es estableció es el diámetro del volante 35 cm. Estos son los únicos datos que se conoce para el diseño del volante, por lo cual se usa un método iterativo imponiéndose distintos espesores para el cálculo de la masa.

Para el cálculo del espesor se utilizará la densidad del acero AISI 1045 ( $\rho = 7861 \text{ kg/m}^3$ ) a través de la siguiente ecuación (Ec. 2-6):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Ec. 2-6})$$

Dónde:

$\rho$ : es la densidad del material

$m$ : representa la masa del volante

$V$ : representa el volumen del volante

Partiendo del volumen del volante se calcula el espesor de este, mediante el uso de la siguiente ecuación (Ec. 2-7):

$$V = \pi * r^2 * t \quad (\text{Ec. 2-7})$$

Siendo:

$r$ : es el radio del volante (Disco)

$t$ : representa al espesor del volante (Disco)

Tabla 2.30. Resumen de datos para el cálculo de la energía cinética del volante de inercia

<b>Densidad del acero AISI 1045</b>	$\rho = 7861 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
<b>Radio del volante</b>	$r = 0,175 \text{ [m]}$
<b>Velocidad angular media</b>	$\omega = 3600 \text{ RPM} \rightarrow v = 56,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
<b>Coeficiente de fluctuación de velocidades</b> (Maquinaria de corte)	$C_f = 0,03$

(Fuente: Propia)

Tabla 2.31. Resolución de ecuaciones para el cálculo de la energía cinética del volante de inercia.

Variable	N.º	Ecuaciones
Variación de la energía cinética de un cuerpo rígido	1	$\Delta E_k = \frac{1}{2} * I_0 * (\Delta\omega)^2$
Momento de inercia de masa	2	$I_0 = \frac{1}{2} m * r^2$
	3	<p>(2) en (1)</p> $\Delta E_k = \frac{1}{4} * m * r^2 * (\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2)$ <p>Se sabe que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>v = \omega * r</math></li> </ul> <p>Reemplazando:</p> $\Delta E_k = \frac{1}{4} * m * (v_{max}^2 - v_{min}^2)$ <p>Dónde:</p> $(v_{max}^2 - v_{min}^2) = (v_{max} + v_{min})(v_{max} - v_{min})$ <p>Se sabe que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidad media nominal</li> </ul> $v = \frac{v_{max} + v_{min}}{2}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficiente de fluctuación de velocidades</li> </ul> $C_f = \frac{v_{max} - v_{min}}{v}$ <p>Reescribiendo la ecuación se tiene</p> $\Delta E_k = \frac{m}{4} (2v) * (v * C_f)$ $\Delta E_k = \frac{m}{2} * v^2 * C_f$
Densidad	5	$\rho = \frac{m}{V}$
Volumen	6	$V = \pi * r^2 * t$
Masa	7	<p>(5) en (6)</p> $m = \rho * \pi * r^2 * t$

(Fuente: Propia)

Tabla 2.32. Resolución de las ecuaciones para el cálculo del volante de inercia: disco

Espesor	Volumen	Masa	Inercia	$\Delta E$
$e$ (m)	$m^3$	$m$ (kg)	$I_o$ (kg * m <sup>2</sup> )	Joules
0,004	0,00038	3,025	0,046	126,414
0,006	0,00058	4,538	0,069	189,620
0,008	0,00077	6,051	0,093	252,827
0,01	0,00096	7,563	0,116	316,034
0,012	0,00115	9,076	0,139	379,241
0,014	0,00135	10,588	0,162	442,448
0,016	0,00154	12,101	0,185	505,654
0,018	0,00173	13,614	0,208	568,861
0,020	0,00192	15,126	0,232	632,068
0,022	0,00212	16,639	0,255	695,275

(Fuente: Propia)

**Conclusión:** En base a los resultados mostrados sobre el volante de inercia y tomando en cuenta la energía necesaria para fracturar la madera de  $E = 397,21$  [J], se elige el espesor del volante de inercia sea de 0,015 mm, porque el valor de energía que genera es de  $\Delta E = 442,448$  [J] siendo mayor a la energía que debe proporcionarse para fracturar la madera. En base al mercado de planchas de acero podemos encontrar planchas de acero de 18 mm de espesor.

### 2.3.6 Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se utilizará la siguiente ecuación:

$$P = \frac{E}{t} * \frac{1}{745,7} \quad (\text{Ec. 2-8})$$

Siendo:

$P$ : es la potencia mínima requerida para romper la madera ( $Hp$ )

$E$ : energía necesaria para fracturar la madera ( $Joules$ )

$t$ : tiempo de trituración o corte de una rama ( $s$ )

El tiempo promedio de corte de una rama de 3 metros de largo con una máquina trituradora presente en el mercado es de aproximadamente 20 segundos. Por otro lado, el tamaño óptimo de partícula para el proceso de compostaje se encuentra en un rango de 2- 5 cm de esta forma se producirá la descomposición biológica de los residuos triturados y no se compactará por ser residuos muy finos según (Guzmán & Grandes, 2018).

Por lo tanto, se elige que el tamaño de la viruta sea de 2 cm y se calcula el tiempo que tardará en realizar un corte, como se muestra a continuación:



$$\#Corte: \frac{\text{Tamaño de la rama}}{\text{Tamaño de la viruta}} = \frac{300 \text{ cm}}{2 \text{ cm}} = 150 \text{ cortes}$$

150 cortes → 20 segundos

$$1 \text{ corte} \rightarrow x = \frac{2}{15} \text{ segundos}$$

Tabla 2.33. Resolución de las ecuaciones para el cálculo de la potencia mínima del motor.

Variable	N.º	Ecuaciones	Resultados
Potencia mínima requerida para romper la madera	1	$P = \frac{E}{t} * \frac{1}{745,7}$	$P = 4,45 [Hp]$

Fuente: (Propia)

### Determinación de la potencia requerida o de diseño

Para determinar la potencia de diseño  $P_d$  se toma en consideración que la transmisión se realizará a través de poleas y bandas. La forma de banda en V es muy usada en transmisiones industriales por lo que es necesario considerar un factor de servicio  $K_s$ , obtenido a partir de la Figura 2.25:

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional <sup>b</sup> Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrifugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

<sup>a</sup>Síncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

<sup>b</sup>Monofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

Figura 2.25. Factor de servicio sugeridos  $K_s$  para la transmisión de bandas en V

(Fuente: (Mott, 2006))

Por lo tanto, se tiene que:

$$P_d = P * K_s = 4,20 [Hp] * 1,3 = 5,46 [Hp]$$

Tomando como referencia de potencia de diseño  $P_d$  se realiza la selección del motor en base a la disponibilidad en el mercado nacional y se elige un motor tipo Honda GX 200 (6,5 Hp). En el Anexo II se muestra las especificaciones técnicas.

### 2.3.7 Selección de bandas y poleas

Para la selección de bandas y poleas se toma en cuenta que el motor escogido según información del fabricante trabaja con el torque máximo a 2500 rpm.

Para poder realizar esta selección se ha considerado el proceso de cálculo y tablas de fabricantes que se halla en el catálogo de (Intermec, 2006).

#### Selección del tipo de banda

En la selección de bandas se utiliza parámetros como las revoluciones por minuto del motor de combustión interna cuando trabaja con el torque máximo a 2500 RPM y el valor de la potencia de diseño obtenido en la sección anterior es de  $P_d = 5,46 [Hp]$

Para ello se utilizan gráficas según catálogos proporcionados por fabricantes como (Intermec, 2006) (ver Figura 2.26):

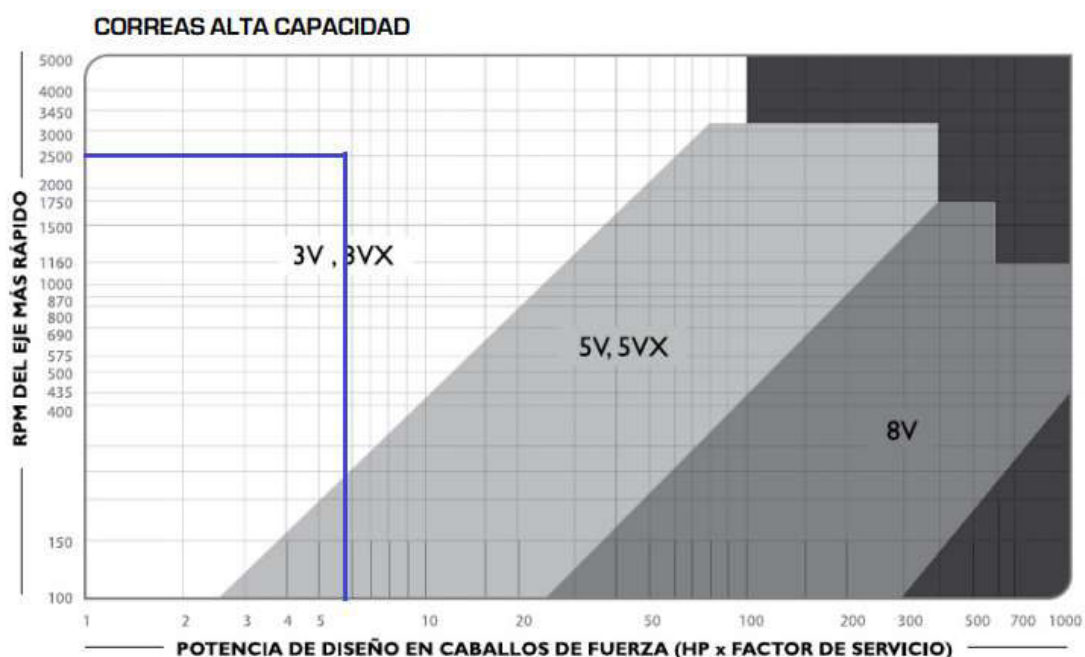


Figura 2.26. Tablas para seleccionar el tipo o perfil de la correa

(Fuente: (Intermec, 2006))

Se recomienda utilizar una banda 3V/SPZ para transmitir 5,46 hp a la velocidad especificada en la figura.

### Relación de transmisión

La relación de transmisión es un número que se obtiene al dividir las revoluciones mayores (normalmente la del motor) entre las revoluciones menores (usualmente la de la máquina) pero en nuestro caso esta relación se invierte.

Para un sistema de transmisión por bandas, la relación de transmisión no debe exceder 6:1

$$k = \frac{RPM_{Máquina}}{RPM_{Motor}} = \frac{3600}{2500} = 1,44$$

### Selección de la polea conductora o polea motriz, dc

Para determinar el diámetro de la polea motriz se emplea las recomendaciones de diámetro mínimo y velocidad máxima según el fabricante (ver Figura 2.27):

MATERIAL			VELOCIDAD	
Fundición gris	GG 20	33 m/s		
Fundición nodular	GGG 40	41 m/s		
Aluminio	A329	33 m/s		
Fundición de acero	1020	45 m/s		
Acero laminado	1020	61 m/s		

m/s= metros por segundo

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Figura 2.27. Velocidad máxima y diámetro mínimo de la polea conductora

(Fuente: (Intermec, 2006))

En base en los parámetros establecidos se elige una polea de 75 mm de diámetro, disponible en el mercado, de 3 pulg (76,2 mm).

Según (Budynas & Nisbett, 2011) la velocidad periférica de banda debe estar entre un rango de:

$$1000 \text{ pies/min} \leq V_b \leq 5000 \text{ pies/min}$$

En base a esta recomendación se procederá a calcular la  $V_b$  utilizando el diámetro de la polea conductora:

$$V_b = \frac{\pi d_c * \omega}{12} = \frac{\pi * 3 \text{ (pulg)} * 3600 \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)}{12} = 2827,44 \left(\frac{\text{pies}}{\text{min}}\right) \cong 14,36 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

Por lo tanto, se elige una polea de aluminio disponible en el mercado, de 3 pulg (76,2 mm) el cual posee una velocidad lineal de 14,36 m/s.

### **Selección de la polea conducida o de la máquina, D**

Para seleccionar el diámetro de la polea conducida D resulta del producto entre la relación de transmisión k:

$$k = \frac{RPM_{Máquina}}{RPM_{Motor}} = \frac{D}{d_c} = 1,44$$

$$D = k * d_c = 1,44 * (76,2 \text{ mm}) = 109,73 \text{ [mm]} \rightarrow (4,32 \text{ pulg})$$

### **Cálculo de la longitud de banda necesaria**

Para determinar la longitud de banda es necesario conocer la distancia entre centros, para ello se toma en consideración las condiciones de la distancia nominal entre centros, definido en la siguiente ecuación:

### **Distancia nominal entre centros, C**

$$0,7(D + d_c) \leq C \leq 2(D + d_c) \quad (\text{Ec. 2-9})$$

$$0,7(109,73 + 76,2) \leq C \leq 2(109,73 + 76,2)$$

$$130,15 \text{ mm} \leq C \leq 371,86 \text{ mm}$$

Para conservar espacio y mantener una adecuada distancia entre centros, se probará con  $C = 250 \text{ mm}$

### **Longitud de banda, L**

Para el cálculo de la longitud de bandas o correas se aplica la siguiente ecuación:

$$L = 2C + 1,57(D + d_c) + \frac{(D + d_c)}{4C} \quad (\text{Ec. 2-10})$$

$$L = 2(250) + 1,57(109,73 + 76,2) + \frac{(109,73 + 76,2)}{4(250)} = \mathbf{792,09 \text{ mm (31,18 pulg)}}$$

Una vez obtenido la longitud nominal de las bandas, se compara con medidas estándar:

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
<u>31.5</u>	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	

Figura 2.28. Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (pulgadas)

(Fuente: (Mott, 2006))

Con esta nueva longitud se procede a realizar la corrección de la distancia entre centros:

#### Corrección de la distancia entre centros, $C_c$

$$C_c = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D - d_c)^2}}{16} \quad (\text{Ec. 2-11})$$

$$B = 4L - 6,28(D - d_c)$$

Dónde:

$B$ : Distancia de corrección, mm (pulg)

$$B = 4(792,09) - 6,28(109,73 + 76,2) = 2000,71 \text{ [mm]}$$

$$C_c = \frac{2000,71 + \sqrt{(2000,71)^2 - 32(109,73 + 76,2)^2}}{16} = 249,48 \text{ [mm]}$$

#### Determinación del número de bandas, $N_b$

Para determinar el número de bandas que permitan transmitir la potencia de diseño, es necesario establecer la potencia nominal de la banda  $P_b$ , utilizando la siguiente ecuación:

$$P_b = f_{cb} * CT \quad (\text{Ec. 2-12})$$

Dónde:

$f_{cb}$ : factor de corrección por banda

$CT$ : capacidad de transmisión, (hp)

En la siguiente figura se muestra la capacidad de transmisión por canal  $CT = 2,90 \text{ hp/banda}$

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)									
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105
100	009	011	013	015	017	019	021	023	027	033
200	016	020	024	027	031	035	039	043	050	061
300	023	028	033	038	043	050	055	062	072	088
400	028	035	042	049	055	064	071	080	093	114
500	034	042	050	059	067	078	086	097	113	138
575	037	047	056	066	075	088	097	110	128	157
600	038	048	058	068	078	091	100	114	133	163
690	043	054	065	076	088	102	113	128	150	184
700	043	055	066	077	089	104	115	130	152	186
725	044	056	068	080	091	107	118	134	157	192
800	047	060	073	086	099	116	130	145	170	210
870	050	064	078	092	106	124	138	156	183	225
900	052	066	080	095	110	128	142	160	190	232
950	054	069	084	099	114	134	150	168	198	243
1000	056	072	087	103	120	140	155	176	207	254
1100	059	077	094	110	128	150	168	190	224	276
1160	062	080	098	116	134	158	176	200	235	290
1200	063	082	100	120	138	162	180	205	240	298
1300	066	087	107	127	147	173	193	220	258	320
1400	070	091	113	135	156	184	205	233	275	340
1425	071	093	115	138	158	187	208	237	280	345
1500	073	096	120	142	165	195	217	247	290	360
1600	076	100	125	150	173	205	230	260	307	380
1700	079	105	130	156	182	215	240	274	323	400
1750	080	107	133	160	186	220	246	280	330	410
1800	082	109	136	163	190	225	252	287	340	420
1900	084	113	142	170	198	235	263	300	354	438
2000	087	117	147	177	206	245	274	312	370	457
2100	090	120	152	183	214	254	285	325	384	476
2200	092	125	157	190	220	264	295	337	400	494
2300	094	128	162	196	230	273	305	350	413	510
2400	096	132	167	202	236	282	316	360	427	529
2500	098	135	170	207	243	290	326	372	440	546
2600	100	138	176	213	250	300	335	383	454	563
2700	102	142	180	220	257	308	345	394	468	580
2800	104	145	185	224	264	316	354	405	480	596
2850	105	146	187	227	267	320	360	410	487	603
2900	106	148	189	230	270	324	364	416	493	610
3000	107	150	193	235	277	332	373	426	506	627
3200	110	156	200	245	290	347	390	447	530	657

Figura 2.29. Capacidad de transmisión por canal

(Fuente: (Intermec, 2006))

(Intermec, 2006) recomienda que lo ideal en el arco de contacto de las correas sobre la polea motriz se encuentre entre  $120^\circ$  y  $180^\circ$ .

Para verificar esta relación se utilizará la siguiente ecuación:

$$\frac{(D - d_c)}{C_c} \quad \text{(Ec. 2-13)}$$

$$\frac{(109,73 + 76,2)}{249,48} = 0,74$$

$\frac{(D-d)}{c}$	Arco de contacto (Grados)	Factor de corrección
0.00	180	1.00
0.10	174	0.99
0.20	169	0.97
0.30	163	0.96
0.40	157	0.94
0.50	151	0.93
0.60	145	0.91
0.70	139	0.89
0.80	133	0.87
0.90	127	0.85
1.00	120	1.82
1.10	113	1.80
1.20	106	1.77
1.30	99	1.73
1.40	91	1.70
1.50	83	1.65

Figura 2.30. Factor de corrección por ángulo de contacto.

Fuente: (Intermec, 2006)

Se obtiene un arco de contacto de  $139^\circ$  y un factor de corrección  $f_{cb}$  de 0,89. Reemplazando en la ecuación definida para encontrar la potencia  $P_b$  se obtiene:

$$P_b = f_{cb} * CT = 0,89 * 2,90 = 2,58 \text{ [hp/banda]}$$

Finalmente, el número de bandas necesarias se obtiene a partir de la división de la potencia del motor trabajando a torque máximo  $P_d = 5,46 \text{ [Hp]}$  para la potencia nominal de la banda  $P_b = 2,58 \text{ [hp/banda]}$ . Así se obtiene en número de bandas que se requieren es 2 bandas.

$$N_B = \frac{P_d}{P_b} = \frac{5,46 \text{ [Hp]}}{2,58 \left[ \frac{\text{hp}}{\text{banda}} \right]} = 2,11 \cong 2 \text{ bandas}$$

### 2.3.8 Cálculo para el diseño de ejes

Para realizar el diseño del eje se toma en consideración el ejemplo de cálculo mostrado en (Budynas & Nisbett, 2011). El cálculo del diámetro del eje  $d$ , se determina mediante el criterio de falla ASME-elíptica (toma en cuenta la resistencia a la fluencia del material y el límite de resistencia a la fatiga). Además, se toma un factor de diseño igual  $n = 2$  debido a que se trata del diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos del diseño (Mott, 2006).

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 2-14})$$

Dónde:

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzo por fatiga, para esfuerzos por flexión

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

$M_a$ : Momento flexionante alternante,  $Nm$  (*lb.pulg*)

$M_m$ : Momento flexionante medio,  $Nm$  (*lb.pulg*)

$T_a$ : Par de torsión alternante,  $Nm$  (*lb.pulg*)

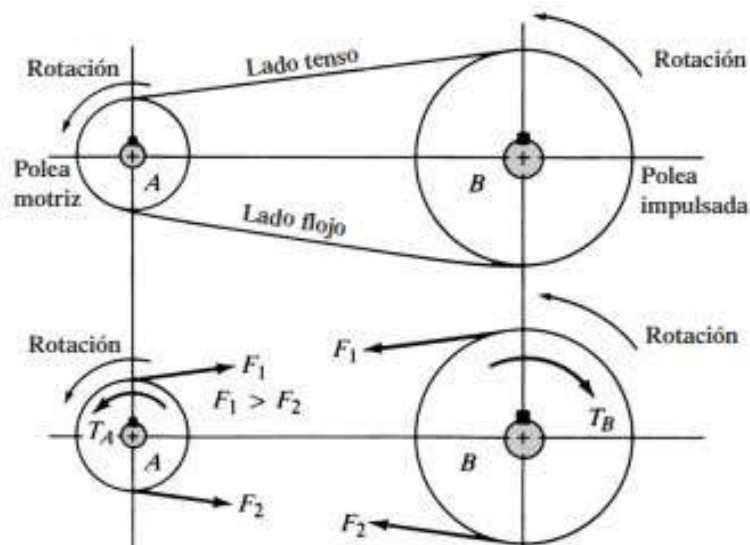
$T_m$ : Par de torsión medio,  $Nm$  (*lb.pulg*)

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso,  $MPa$ , (*kpsi*)

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material,  $MPa$ , (*kpsi*)

### Cálculo de las fuerzas flexionante generada por la polea

Para conocer la fuerza que ejerce sobre el eje, se analizará de la fuerza en dos planos como se muestra en la Figura 2.31. El sentido de giro es antihorario, el torque máximo del eje del motor según el fabricante es de:  $1,35 \text{ kgf.m} \cong 13,4 \text{ N.m}$ . Además, presenta una relación de transmisión de  $k = 1,44$  calculado en la anterior sección.





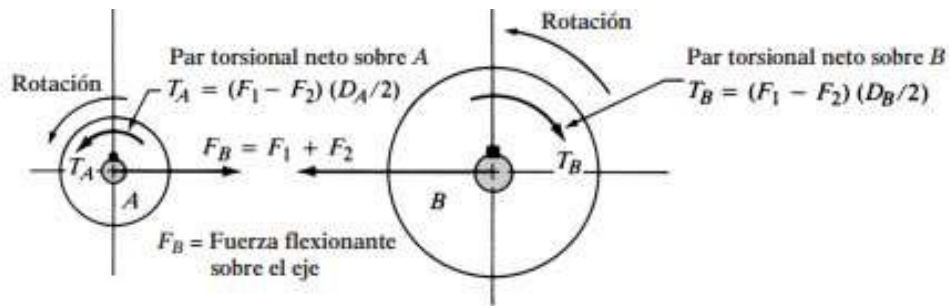


Figura 2.31. Diagrama de cuerpo libre de las poleas

(Fuente: (Mott, 2006))

Para el cálculo de  $F_B$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_B = 1,5 * F_N = 1,5T/(D/2) \quad (\text{Ec. 2-15})$$

$$T = T_i * k \quad (\text{Ec. 2-16})$$

Dónde:

$F_N$ : Fuerza impulsora neta,  $N$ , ( $lbf$ )

$T$ : Par de torsión de salida,  $N \cdot m$ , ( $lbf \cdot in$ )

$T_i = 13,4 N \cdot m$  Par de torsión de entrada

$k$ : Relación de transmisión

$D = 0,10973 m$  Diámetro de la polea conducida o de la máquina

Por lo tanto:

$$T = 13,4 * 1,44 = 19,3 [N \cdot m]$$

Así, se obtiene:

$$F_B = 1,5 * \frac{(19,3)}{\left(\frac{0,10973}{2}\right)} = 527,65 [N]$$

(Mott, 2006) manifiesta que se acostumbra que la fuerza flexionante  $F_B$  actúa como una sola fuerza en la línea entre centros de las dos poleas, con se indica en la Figura 2.31.

### 2.3.9 Cálculo de las reacciones

A continuación, en la siguiente figura se muestra un arreglo de los elementos a considerarse para el cálculo de las reacciones:

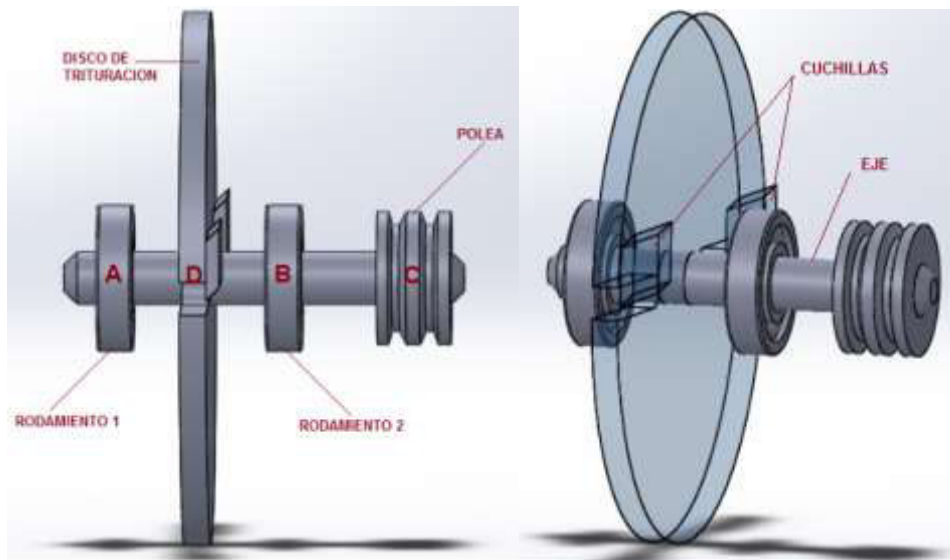


Figura 2.32. Vista isométrica de la polea, rodamiento, eje y cuchillas

(Fuente: Propia)

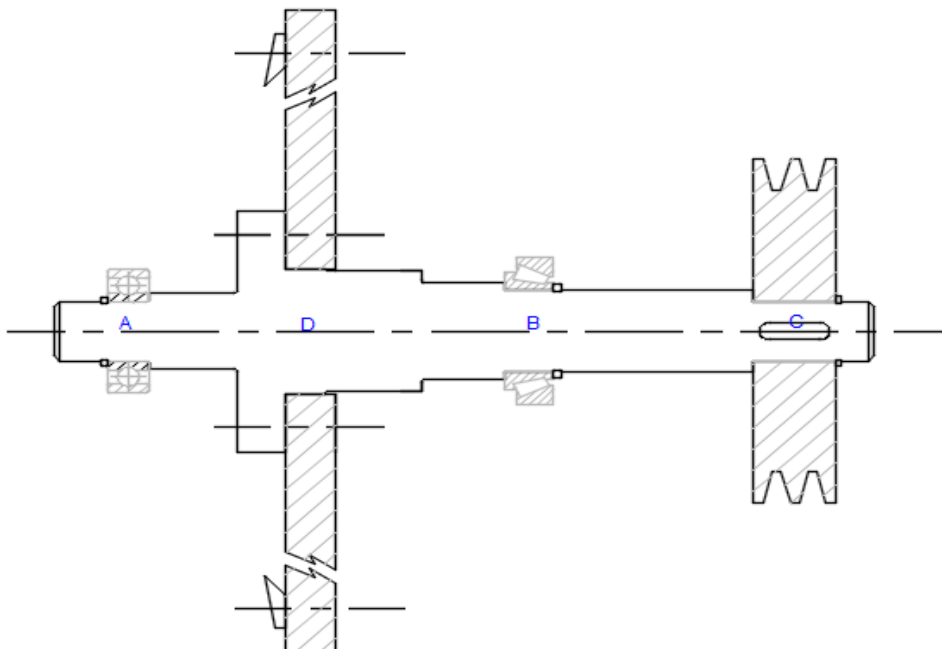


Figura 2.33. Configuración del eje

(Fuente: Propia)

## Diagrama de cuerpo libre

En la siguiente figura se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje de la trituradora, en el cual consta todas las reacciones del eje y de las cuchillas.

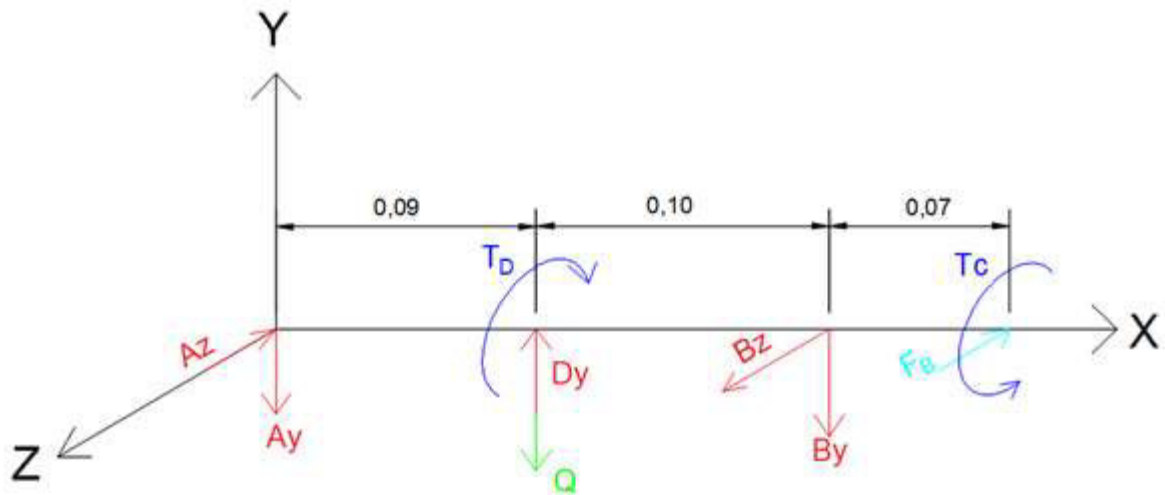


Figura 2.34. Diagrama de cuerpo libre del eje.

(Fuente: Propia)

Dónde:

$A_z, A_y$ : Reacciones de rodamiento 1

$Q$ : Fuerza del peso del disco de trituración y cuchillas (fuerza puntual)

$D_y$ : Fuerza generada por el impacto de la cuchilla en un instante, t

$B_z, B_y$ : Reacciones de rodamiento 2

$F_B, T_C$ : Reacción y torque generado por la polea

## Cálculo de las reacciones

Una vez definido el esquema de las cargas en los ejes y-z, se procede a calcular las reacciones que permitirán posteriormente hallar los diagramas de cortantes, momentos y par torsional del eje. Para ello tomaremos en consideración los valores calculados previamente como  $F_B = 527,65 [N]$ ,  $T_C = 19,3 [N.m]$ ,  $Q = 100 [N]$

## Análisis del par torsional

$$T_C = T_D \therefore D_y = \frac{T_C}{D_C}$$

Dónde:

$D_c$ : distancia desde el centro del disco hasta la cuchilla

$$D_y = \frac{19,3}{0,1} = 193 \text{ [N]}$$

### Análisis de cargas eje z

$$\sum M_{Az} = 0 \therefore B_z = \frac{F_B \cdot AC}{AB}$$

$$B_z = \frac{527,65 \cdot 0,27}{0,20} = 712,32 \text{ [N]}$$

$$\sum F_z = 0 \therefore A_z = B_z - F_B$$

$$A_z = 712,32 - 527,65 = 184,67 \text{ [N]}$$

### Análisis de cargas eje y

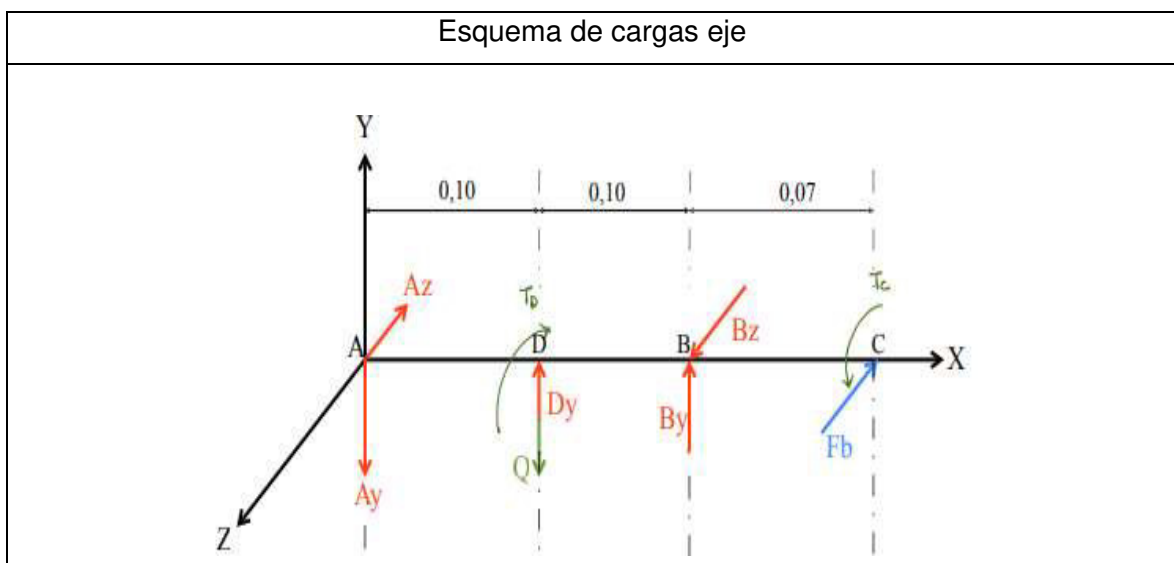
$$\sum M_{Ay} = 0 \therefore B_y = \frac{Q \cdot AD - D_y \cdot AD}{AB}$$

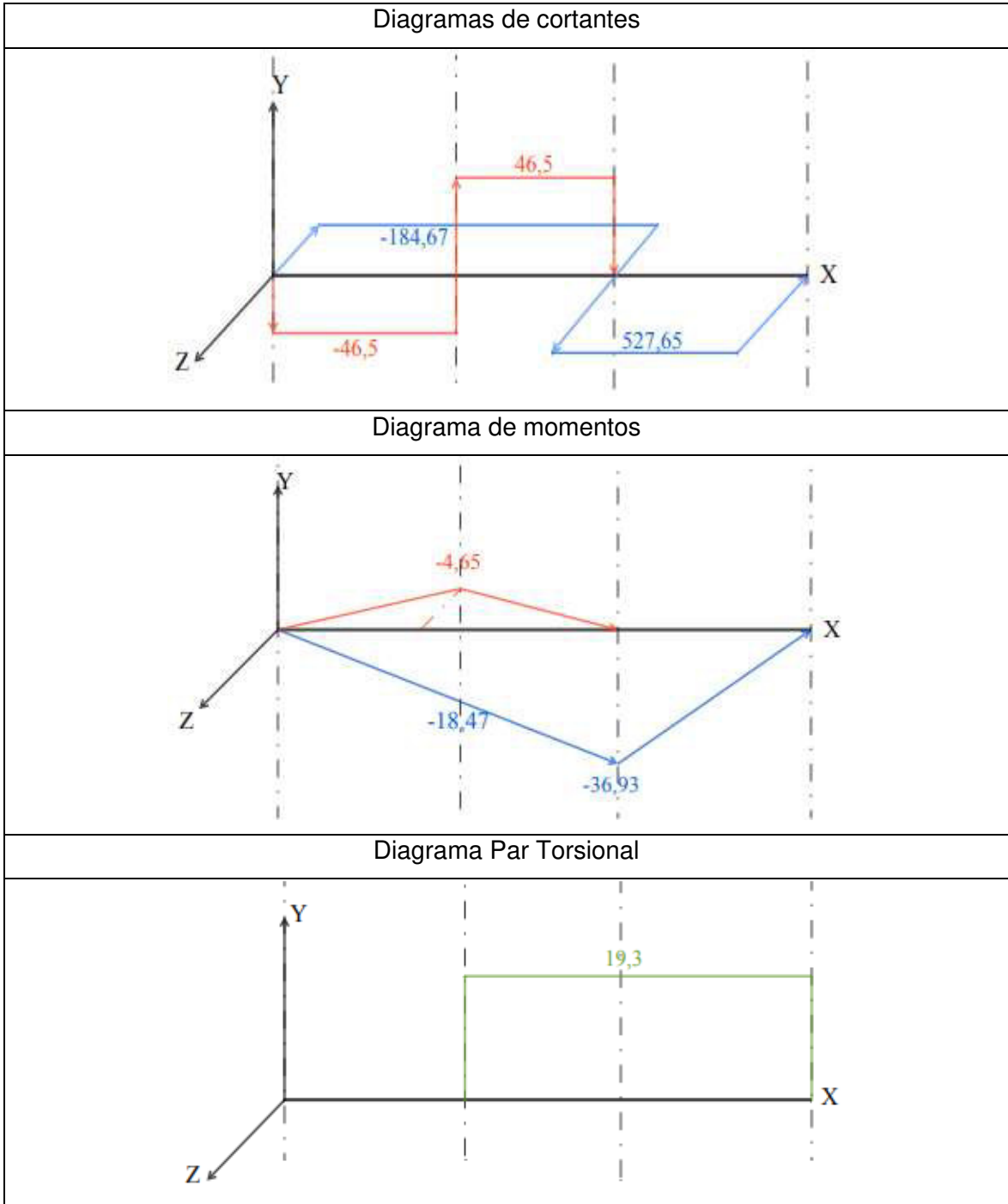
$$B_y = \frac{(100 \cdot 0,1) - (193 \cdot 0,1)}{0,20} = -46,5 \text{ [N]}$$

$$\sum F_y = 0 \therefore A_y = D_y + B_y - Q$$

$$A_y = 193 + (-46,5) - 100 = 46,5 \text{ [N]}$$

Tabla 2.34. Diagramas de Cortantes y Momentos del eje





(Fuente: Propia)

### Determinación de la sección crítica

La posible sección crítica en D y B; según la tabla mostrada previamente:

$$M_D = \sqrt{(4,65)^2 + (18,47)^2} = 19,04 \text{ [N. m]}$$

$$M_B = 36,93 \text{ [N. m]}$$

La sección crítica es en B porque  $M_B > M_D$

## Diseño del eje

El proceso de análisis consta en gran medida de las concentraciones de esfuerzos. Además, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante. Se determina el valor del límite de resistencia a la fatiga considerando un acero AISI 4340

$$\begin{aligned}S_y &= 900 \text{ [MPa]} \\S_{ut} &= 1200 \text{ [MPa]} \\S_e &= k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (\text{Ec. 2-17})\end{aligned}$$

Dónde:

$k_a$ : factor de modificación de la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación por tamaño

$k_c$ : factor de modificación por la carga

$k_d$ : factor de modificación por la temperatura

$k_e$ : factor de confiabilidad

$k_f$ : factor de modificación por efectos varios

$S_e'$ : límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa, [MPa] (kpsi)

$S_e$ : límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina

$S_{ut}$ : Resistencia última a la tensión, [MPa] (kpsi)

Se considera los siguientes factores, según (Budynas & Nisbett, 2011):

$$\begin{aligned}k_c &= k_d = k_f = 1 \\k_e &= 0,897 \text{ (confiabilidad de 90\%)} \\k_a &= a S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 2-18})\end{aligned}$$

Dónde:

$a$ : factor para un determinado acabado superficial, (Tabla 6,2 de (Budynas & Nisbett, 2011))

$b$ : exponente para un determinado acabado superficial, según la (Tabla 6,2 de (Budynas & Nisbett, 2011))

$$k_b = 1,24 d^{-0,107} \quad (\text{Ec. 2-19})$$

El límite de resistencia a la fatiga, (Budynas & Nisbett, 2011)

$$S_e' = 0,5S_{ut} \quad S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \quad (\text{Ec. 2-20})$$

Así, se obtiene:

$$k_a = aS_{ut}^b = 4,51(1200)^{-0,265} = 0,69$$

$$k_b = 1,24d^{-0,107} = 1,24(20)^{-0,107} = 0,9$$

$$S_e' = 0,5S_{ut} = 0,5(1200) = 600 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = 0,69 * 0,9 * 1 * 0,897 * 600 = 334,22 \text{ [MPa]}$$

Para la primera iteración del diámetro en el punto B, se utiliza la información de los diagramas de la Tabla 2.34 donde se tiene que:  $M_a = 36,93 \text{ [N.m]}$ ;  $T_m = 19,3 \text{ [N.m]}$ ; se considera  $M_m = T_a = 0$ ;  $K_t = K_f$ ;  $K_{ts} = K_{fs}$ ; donde se considera un factor teórico de concentración para esfuerzo normal  $K_t = 2,7$  y para un esfuerzo cortante  $K_{ts} = 2,2$ ; como una estimación ( ver Tabla 7.1 de (Budynas & Nisbett, 2011)).

Tomando en cuenta las siguientes consideraciones, se obtiene la siguiente ecuación simplificada:

$$d = \left[ \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_f M_a}{S_e} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{(2,7)(36,93)}{334,22 \times 10^6} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{(2,2)(19,3)}{900 \times 10^6} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0,0178 \text{ [m]} \cong 17,8 \text{ [mm]}$$

Probablemente todas las estimaciones han sido conservadoras; por lo tanto, se selecciona el siguiente tamaño estándar de un eje de acero de transmisión donde el diámetro nominal más pequeño debe ser  $d = 17,8 \text{ mm}$ .

Por concepto de selección de rodamientos se tomará un diámetro  $d = 25 \text{ mm}$ . En base a las dimensiones de catálogo de obtiene que  $D = 25 \text{ mm}$  y se una relación típica  $D/d$  para el soporte en un hombro es  $D/d = 1,2$ . Suponiendo que el radio del filete  $r = 2 \text{ [mm]}$  y tomando como referencia la Figura 6.20 y Figura A.15.9 de (Budynas & Nisbett, 2011)) ver ANEXO V; se obtiene los siguientes resultados:  $K_t = 1,5$ ;  $q = 0,85$ .

De acuerdo con las Figura 6.21 y Figura A.15.8 de (Budynas & Nisbett, 2011)) ver ANEXO VI; se obtiene los valores de:  $K_{ts} = 1,25$ ;  $q_c = 0,9$ .

A partir de la información obtenida, se procede a calcular los nuevos factores de concentración de esfuerzo por fatiga para esfuerzos por flexión y torsionales, utilizando la Ec. 2-21:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \text{ o bien } K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad (\text{Ec. 2-21})$$

$$K_f = 1 + 0,85(1,5 - 1) = 1,43$$

$$K_{fs} = 1 + 0,9(1,25 - 1) = 1,22$$

Con el diámetro 20 mm se procede a calcular el valor real del factor de modificación de tamaño,  $k_b = 1,24d^{-0,107}$

$$k_b = 1,24d^{-0,107} = 1,24(25)^{-0,107} = 0,9$$

$$S_e = 0,69 * 0,9 * 1 * 0,897 * 600 = 334,22 \text{ [MPa]}$$

Una vez determinado los nuevos factores de concentración se procede a calcular el factor de seguridad mediante la siguiente ecuación, siguiendo el criterio de diseño de ASME elíptica:

$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{\sigma'_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_m}{S_y}\right)^2 \quad (\text{Ec. 2-22})$$

$$\sigma'_a = \left[ \left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 2-23})$$

$$\sigma'_m = \left[ \left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Ec. 2-24})$$

Dónde:

$\sigma'_a$ : Esfuerzo combinado alternante, [MPa] (kpsi)

$\sigma'_m$ : Esfuerzo combinado medio, [MPa] (kpsi)

De esta forma se obtiene la siguiente relación:

$$\sigma'_a = \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} = \frac{32(1,43)(36,93)}{\pi(25 \times 10^{-3})^3} = 34,42 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma'_m = \left[ 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3}\right)^2 \right]^{1/2} = \left[ 3 \left(\frac{16(1,25)(19,3)}{\pi(25 \times 10^{-3})^3}\right)^2 \right]^{1/2} = 13,62 \text{ [MPa]}$$



$$\frac{1}{n^2} = \left(\frac{34,42}{334,22}\right)^2 + \left(\frac{13,62}{900}\right)^2 \therefore n = 9,6$$

Para verificar con rapidez el resto de secciones que forman parte del eje, se evalúa con  $M_m = T_a = 0$ ;  $K_t = K_f$ ;  $K_{ts} = K_{fs}$ ; donde se considera un factor teórico de concentración para esfuerzo normal  $K_t = 2,7$  y para un esfuerzo cortante  $K_{ts} = 2,2$ ; como una estimación (ver Tabla 7.1 de (Budynas & Nisbett, 2011)).

- Diámetro del hombro justo a la izquierda del punto C  
A partir de de los diagramas de la Tabla 2.34, se obtiene  $M_a = 26,38 [N.m]$ ;  $T_m = 19,03 [N.m]$ .  
Se establece un diámetro de 23 mm, los esfuerzos combinados alternantes y medios  $\sigma'_a = 59,62 MPa$  &  $\sigma'_m = 30,78 MPa$ . Por lo tanto,  $n = 5,50$
- Diámetro del cuñero justo a la izquierda del punto C  
A partir de de los diagramas de la Tabla 2.34, se obtiene  $M_a = 15,82 [N.m]$ ;  $T_m = 19,3 [N.m]$ ;  
Se establece un diámetro de 22 mm, los esfuerzos combinados alternantes y medios  $\sigma'_a = 105,8 MPa$  &  $\sigma'_m = 31,52 MPa$ . Por lo tanto,  $n = 3,08$
- Diámetro del hombro justo a la derecha del punto A  
A partir de de los diagramas de la Tabla 2.34, se obtiene  $M_a = 9,52 [N.m]$ ;  $T_m = 0 [N.m]$ .  
Se establece un diámetro de 30 mm, los esfuerzos combinados alternantes y medios  $\sigma'_a = 9,62 MPa$  &  $\sigma'_m = 0 MPa$ . Por lo tanto,  $n = 34,4$
- Diámetro del eje en el punto D  
A partir de de los diagramas de la Tabla 2.34, se obtiene  $M_a = 19,04 [N.m]$ ;  $T_m = 19,3 [N.m]$ .  
Se establece un diámetro de 28 mm, los esfuerzos combinados alternantes y medios  $\sigma'_a = 23,85 MPa$  &  $\sigma'_m = 17,06 MPa$ . Por lo tanto,  $n = 13,54$

Dentro de este contexto de análisis se evidencia que el diámetro del eje en todas sus secciones debe cumplir con la siguiente relación:  $d_{cr} \geq 17,8 mm$  para mantener un factor de diseño  $n \geq 2$ , debido a que se trata del diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas que presente una confianza promedio en todos los datos del diseño (Mott, 2006).

### 2.3.10 Selección de rodamientos

Se considera que la duración de diseño de los rodamientos en aplicaciones de quipos agrícolas se encuentra en un rango de 3000 a 6000 horas (Mott, 2006).

#### Selección de rodamientos eje de entrada

Según la norma DIN ISO 281 la vida nominal de un rodamiento se obtiene utilizando la siguiente ecuación (Ec. 2-25):

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (\text{Ec. 2-25})$$

Tomando en cuenta que, si la velocidad de giro es constante, se calcula la vida del rodamiento expresado en horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60N} L_{10} \quad (\text{Ec. 2-26})$$

Donde:

$L_{10}$ : Vida nominal básica (con una confiabilidad de 90%), millones de revoluciones

$L_{10h}$ : Vida nominal básica (con una confiabilidad de 90%), horas de funcionamiento

$C$ : Capacidad de carga dinámica básica, kN

$P$ : Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

$N$ : Velocidad de giro, rpm

$p$ : Exponente de la ecuación de vida útil, para rodamientos de bolas,  $p = 3$

Se considera una vida nominal mínima de  $L_{10h} = 3000 h$ ; un diámetro del eje,  $d = 25 mm$ ;  $N = 3600 rpm$ .

$$L_{10} = \frac{L_{10h} 60N}{10^6}$$

$$L_{10} = \frac{(3000)(60 * 3600)}{10^6} = 648 \text{ millones de revoluciones}$$

Se tiene que la reacción resultante en el punto de apoyo del rodamiento (Punto A):

$$R_{Ay} = 46,5 N \quad \wedge \quad R_{Az} = 184,67 N$$

$$R_A = \sqrt{46,5^2 + 184,67^2} = 190,43 N$$

Se determina que 190,43 N es la carga equivalente P la misma que será utilizada en las ecuaciones anteriores. Además, se considera que no tiene carga Axial  $F_a = 0$  por lo que solamente se toma en cuenta la carga radial  $F_r$ ; un factor de carga radial  $X=1$  y el factor de carga axial  $Y=0$

$$P = XF_r + YF_a \quad (\text{Ec. 2-27})$$

Donde, se obtiene:

$$P = 190,43 \text{ N}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \therefore 648 = \left(\frac{C}{190,43}\right)^3$$

$$C = 1647,88 \text{ N}$$

Ahora se determina la reacción resultante en el punto de apoyo del rodamiento (Punto B):

$$R_{By} = -46,5 \text{ N} \quad \wedge \quad R_{Bz} = 712,32 \text{ N}$$

$$R_A = \sqrt{(-46,5)^2 + (712,32)^2} = 713,84 \text{ N}$$

Se determina la carga equivalente utilizando la Ec. (2-28) y Ec. (2-27) considerando que está únicamente bajo la acción de carga radial, puesto que no existe cargas axiales:

$$P = 713,84 \text{ N}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \therefore 648 = \left(\frac{C}{713,84}\right)^3$$

$$C = 1504,32 \text{ N}$$

Con el valor de C, se selecciona un rodamiento que se colocará en el punto A, que cumpla con estas características. Se procede a verificar la vida nominal mediante la Ec. (2-26) y Ec. (2-27). Se selecciona un rodamiento 25 x 62 x 12 (\*6305), cuya  $C = 7020 \text{ kN}$

$$L_{10} = \left(\frac{7020}{190,43}\right)^3 = 50096,25 \text{ h} > 3000 \text{ h}$$

A continuación, se presenta un resumen de los rodamientos seleccionados (ver Tabla 2.35):

Tabla 2.35. Características de los rodamientos del eje de entrada

Sección	Dimensiones, mm	Código	Carga equivalente P, N	Carga dinámica C, N
A	25	61905	1647,88	7020
B	35	32007 J2/Q	1504,32	37400

(Fuente: Propia)

### 2.3.11 Selección de cuñas

El tipo de cuña más común en ejes de hasta 6<sup>1/2</sup> pulgadas de diámetro, es la cuña cuadrada tipo A, cuyas dimensiones se definen principalmente por el diámetro del eje. (Mott, 2006)

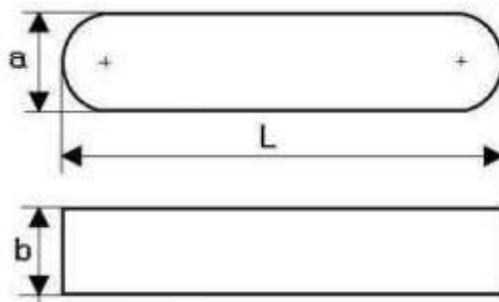


Figura 2.35. Geometría cuña cuadrada tipo A

(Fuente: ( Ramos & Vega, 2015))

Teniendo en cuenta estos parámetros ya especificados se procede a realizar el análisis donde se comprueba la resistencia de los materiales (eje, cubo y cuña) de manera que se determina el tipo de falla que se producirá ya sea por cortante o por empuje.

AL tomar en consideración la cuña para la sección compuesta por el eje y la polea se consideran los siguientes parámetros: eje  $d = 22$  mm (AISI 4340,  $S_y = 900$  MPa), cuña cuadrada de 5/16", (ver Tabla 11.1 de (Mott, 2006)) en el ANEXO VIII, cubo de aluminio A329 ( $S_y = 220$  MPa). Siendo el cubo de menor resistencia por lo cual se calcula la longitud mínima mediante la siguiente ecuación, para que no se produzca falla por empuje en el aluminio:

$$L = \frac{4 * T * n}{d * b * S_y} \quad (\text{Ec. 2-28})$$

$$L = \frac{4(19,3)(3)}{(0,022)(0,008)(220 \times 10^6)} \therefore L \cong 2,48 \text{ mm}$$

De acuerdo con las longitudes mínimas de las cuñas en las diferentes secciones del eje, se selecciona una cuña de acuerdo con las dimensiones normalizadas como se muestra detallado en Tabla 2.36:

Tabla 2.36. Características de las cuñas del eje de entrada

Sección	Material	Dimensiones mm	Forma	Longitud	
				Mín.	Seleccionado
Eje + polea	AISI 1045	8X7	A	2,48	14 mm

(Fuente: Propia)

### 2.3.12 Balanceo dinámico del eje

Se entiende como balaceo o equilibrado al procedimiento por el cual se busca tener una distribución uniforme de la masa de un rotor de manera que pueda reducir las vibraciones en las máquinas como resultado de la acción de fuerzas centrífugas en los rodamientos.

Según la norma ISO 1940-1 hace referencia a diez grados de equilibrar la calidad (G) de los componentes giratorios o rotores rígidos. G es una medida de la calidad de equilibrado de un cuerpo rotativo, depende de la velocidad de giro ( $n$ ), el peso del cuerpo ( $m$ ) y el desequilibrio ( $U$ ) (ISO 1940-1, 2003).

El grado de calidad G40 se propone para ruedas de los automóviles mientras que el grado G16 para componentes de motores de vehículos, el G6,3 para ventiladores (Kruger, 2000).

Dado que la geometría del eje de la máquina trituradora mantiene cierta similitud con componentes de los motores de vehículos, se tomará el grado de calidad G6,3.

A continuación, se presenta la fórmula para el cálculo del desequilibrio:

$$U = m * e \quad (\text{Ec. 2-29})$$

Dónde:

$U$  → es una medida utilizada para especificar cuánto peso distribuido de forma asimétrica se desvía radialmente del eje giratorio ( $g \cdot mm$ )

$m$  → masa del componente ( $g$ )

$e$  → es la distancia entre el centro de giro y el centro de gravedad ( $\mu m$ )

De acuerdo con la norma ISO 1940-1 para conocer  $U_{per}$  se debe ingresar al siguiente gráfico con la velocidad de servicio en este caso  $n = 2500 \text{ rpm}$ .

Este valor de desequilibrio permisible  $U_{per}$  es aplicable, siempre y cuando la masa del rotor sea un porcentaje de la masa de la máquina, por ejemplo, el 30% (ISO 1940-1, 2003).

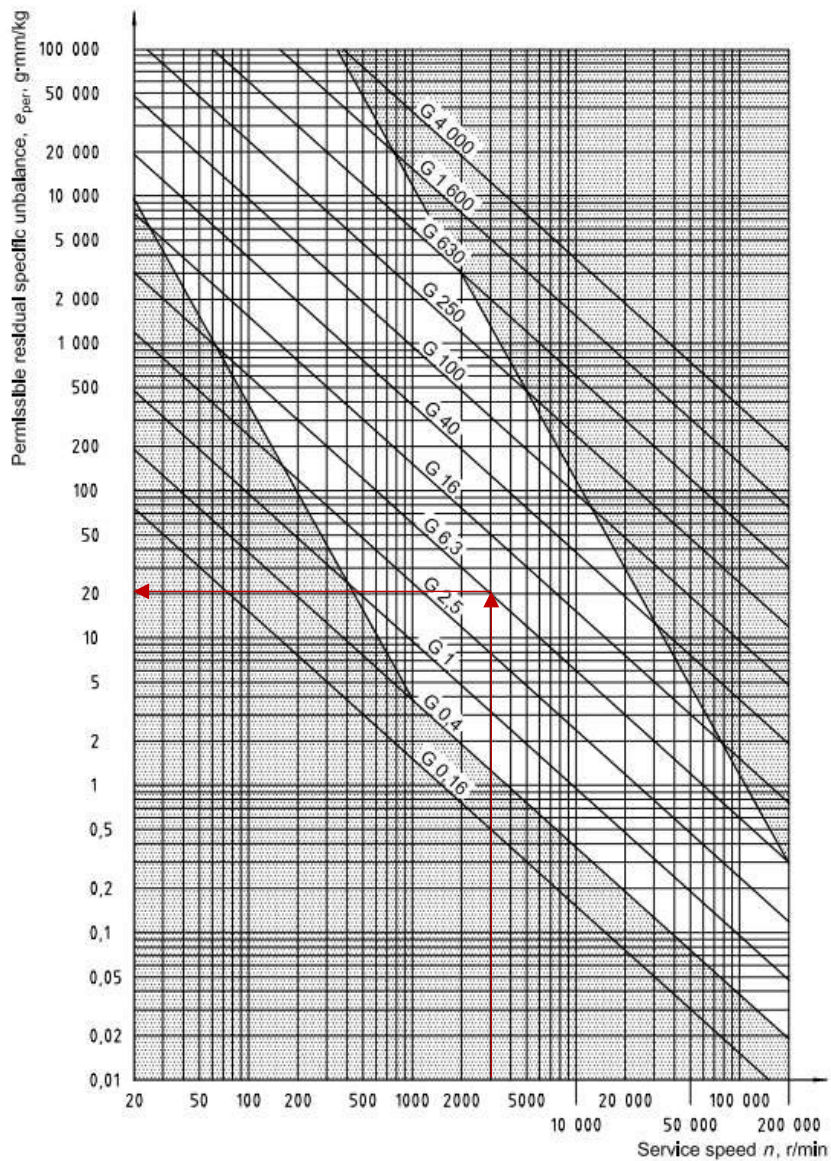


Figura 2.36. Desequilibrio permisible

(Fuente: (ISO 1940-1, 2003))

Tenemos que:

$$U_{per} = e_{per} * m = 20 \frac{g \cdot mm}{kg}$$

$$U_{per} = 20 \frac{g \cdot mm}{kg} * 4.2 kg = 84 g \cdot mm$$

Por lo tanto, se define como tolerancia de desequilibrio permisible es de 84 g.mm.

## 2.4 Simulación por elementos finitos

### 2.4.1 Modos de vibración de la estructura

Los modos de vibración se entienden como un patrón característico de vibración de un sistema mecánico. Para nuestro análisis se toma en cuenta la estructura de la máquina trituradora ya que se encuentra sujeta a una fuente de vibración externa, que es producida por el motor, donde existe la posibilidad que la frecuencia natural de la estructura coincida con la frecuencia del motor, provocando resonancia, la cual se caracteriza por una amplitud de vibración excesiva, que puede dañar o incluso destruir la estructura.

Dentro de este contexto, se analizaron los modos de vibración natural de la estructura de acero comercial (ASTM A36) de la máquina trituradora, con las siguientes características: módulo de elasticidad  $210 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , relación de Poisson 0,25 y densidad de  $7800 \text{ kg/m}^3$ . Además, se debe considerar un material homogéneo e isotrópico, esa consideración se hace para tener deformaciones uniformes. Las dimensiones de la estructura en milímetros se presentan en la Figura 2.37:

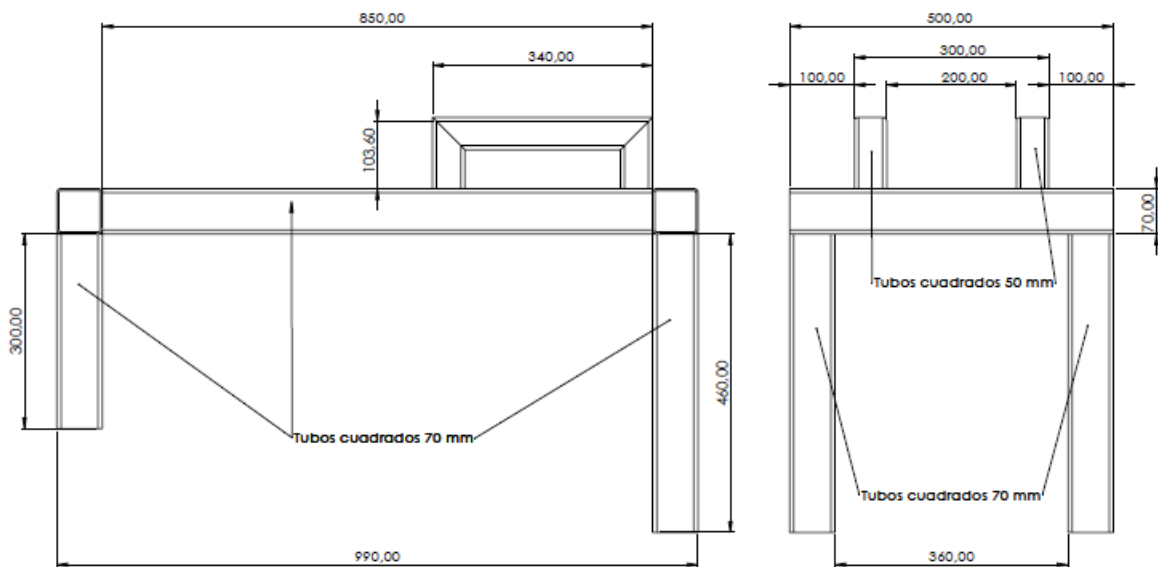


Figura 2.37. Dimensiones de la estructura de la máquina trituradora

(Fuente: Propia)

En el software de Abaqus se lleva a cabo las siguientes etapas:

- Etapa de preprocesamiento que consta de los siguientes pasos: construcción del modelo, creación de las propiedades del material, descripción del perfil del tubo, creación de la sección (material + perfil), asignación de la sección al modelo,

selección del tipo de análisis (vibración natural), imposición condiciones de frontera (empotramiento) y la discretización (mallado).

- Etapa de procesamiento consta de la creación del trabajo para la simulación.
- Etapa de post procesamiento: se presenta los resultados de la simulación como se muestra en la Tabla 2.37 y la Figura 2.38.

En la Tabla 2.37 se muestra los resultados de la frecuencia natural de los 10 primeros modos de vibración presentes en la estructura de la máquina trituradora.

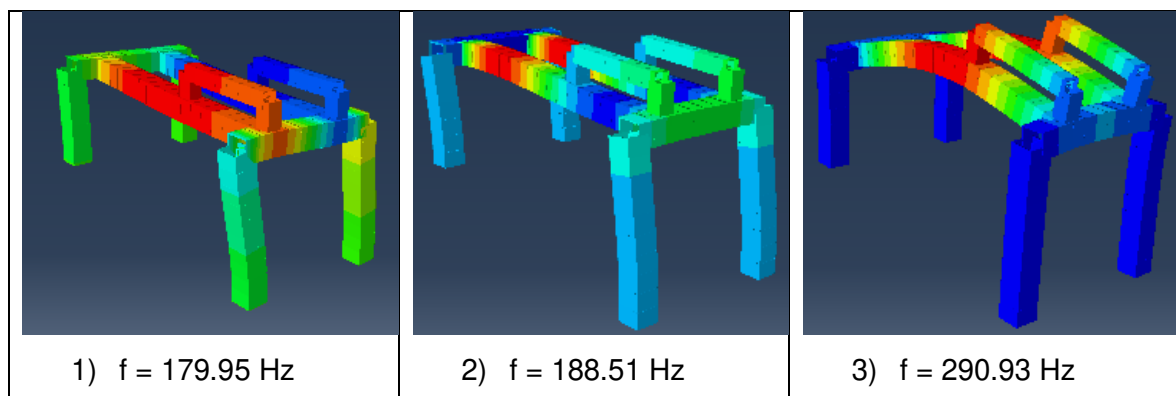
Tabla 2.37. Resultados de frecuencia de los 10 primeros modos de vibración.

Modos de vibración natural	Frecuencia (Valor)	Unidad Hertz [Ciclo/Segundo]
1º	179,95	Hz
2º	188,51	Hz
3º	290,93	Hz
4º	317,97	Hz
5º	355,96	Hz
6º	375,16	Hz
7º	438,62	Hz
8º	573,74	Hz
9º	653,66	Hz
10º	757,80	Hz

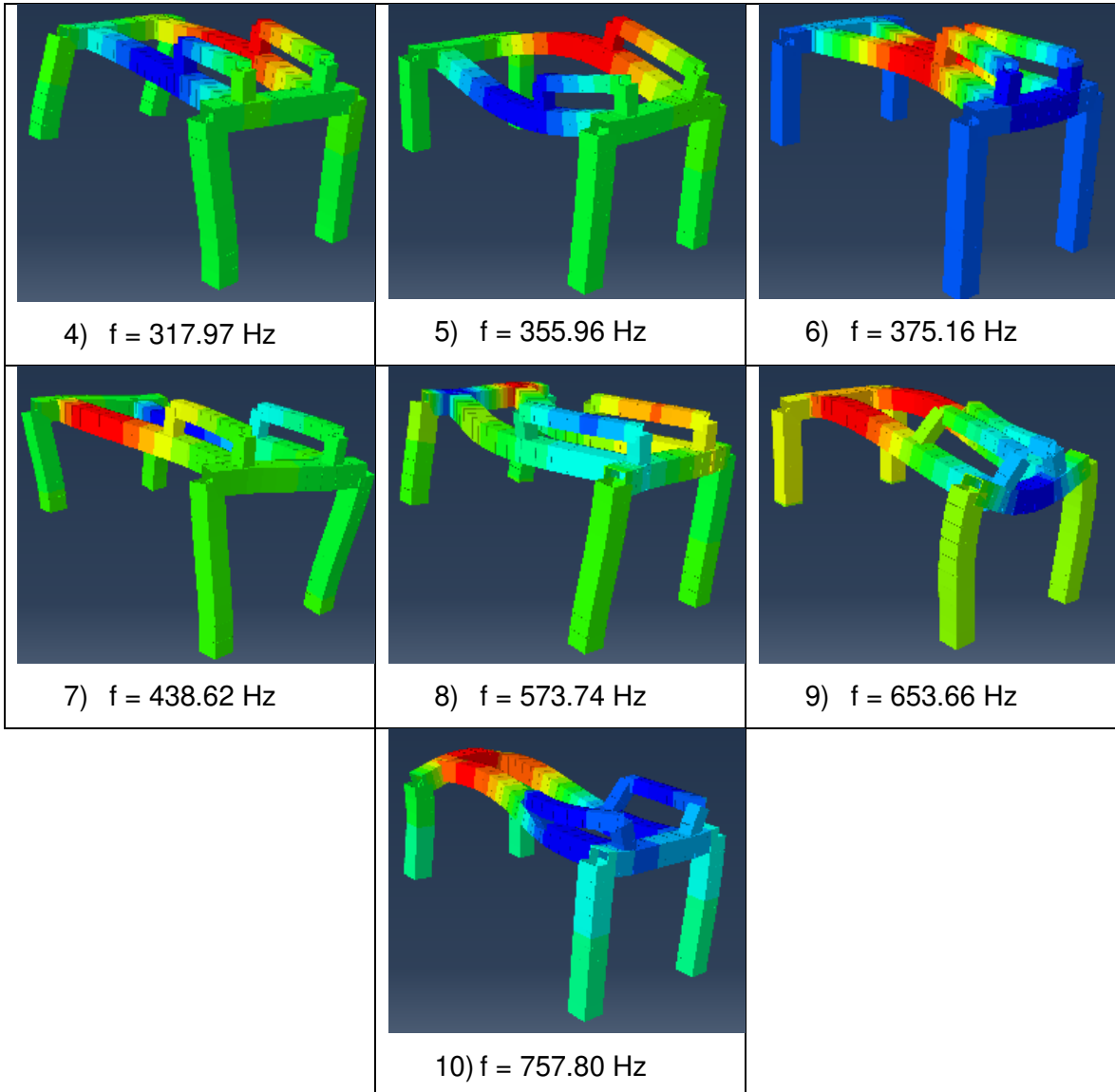
(Fuente: Propia)

En la Tabla 2.38 se muestra la frecuencia de cada modo de vibración y la tendencia a deformarse de la estructura.

Tabla 2.38. Modos de vibración de la estructura de la trituradora.







(Fuente: Propia)

Dentro de los 10 modos de vibración existe valores que se asemejan a los parámetros de trabajo del motor se tiene que funcionará a  $\omega = 2500 \text{ RPM}$  cuya frecuencia es  $f = \frac{\omega}{2\pi} = 397 \text{ Hz}$ . Para evitar fenómenos de resonancia se puede añadir disipadores de esta energía y así evitar un problema en la estructura por efecto de vibraciones.

## 2.5 Construcción y montaje

### 2.5.1 Construcción

Para la construcción de las piezas que constituyen la máquina trituradora se utiliza una gran cantidad de equipos, herramientas e instrumentos de medición, por lo cual se detalla a continuación:

- **Torno Paralelo**

Para el mecanizado de gran parte de las piezas de la trituradora se utiliza un torno convencional horizontal, el cual permite sujetar con el mandril la pieza y para el mecanizado se realiza en base al giro de esta base que al entrar en contacto con una herramienta de corte (cuchilla) se produce el arranque de viruta dando forma de acuerdo con las necesidades de cada pieza.

- **Cuchillas**

En el proceso de construcción de la máquina trituradora se utilizó cuchillas de acero rápido o HSS ya que estos elementos permiten trabajar en altas velocidades y una correcta penetración en el desbaste del material.

El tamaño de las cuchillas y brocas varían de acuerdo al tipo de mecanizado y el equipo utilizado en este proyecto las medidas variaban desde "1/8 hasta 6 mm.

- **Fresadora**

Este equipo permite tener un arranque de viruta a través de una herramienta de corte sujeta en el porta-fresas que gira a grandes velocidades. Para el presente proyecto se utilizó para realizar diferentes perforaciones en tubos de acero

- **Limas y ligas**

Las limas y ligas son herramientas manuales que se utilizan para el desgaste y afinado de piezas terminadas. En el caso de las lijas se utiliza después haber mecanizado en el torno con el fin de eliminar aristas vivas y obtener un mejor acabado superficial.

- **Soldadura MIG**

Es un tipo de soldadura por arco bajo gas protector con un electrodo consumible, este tipo de soldadura permite soldar en todas las posiciones también se obtiene un buen acabado además existe poca formación de gases contaminantes y tóxicos en la soldadura.

- **Sierras de cinta, amoladora**

La sierra de cinta permite realizar cortes en diferentes materiales donde se puede obtener piezas con geometrías irregulares. Por otro lado, la amoladora es una herramienta que sirve para lijar, pulir y cortar ciertos materiales en este proyecto se utilizó para cortar planchas de tol negro.

- **Equipos de protección personal (EPP)**

En el proceso de construcción se utilizó los siguientes EPP:

- Gafas
- Overol
- Guantes
- Zapatos de seguridad
- Casco

A Continuación, se detalla la materia prima y los diferentes elementos normalizados utilizados en el proceso de construcción, los mismo que se pueden encontrar en el mercado nacional.

- **Elementos normalizados**

- Motor de combustión interna de 6,5 hp
- Rodamientos
- Poleas
- Chavetas
- Poleas
- Bisagras
- Tornillos
- Tuercas

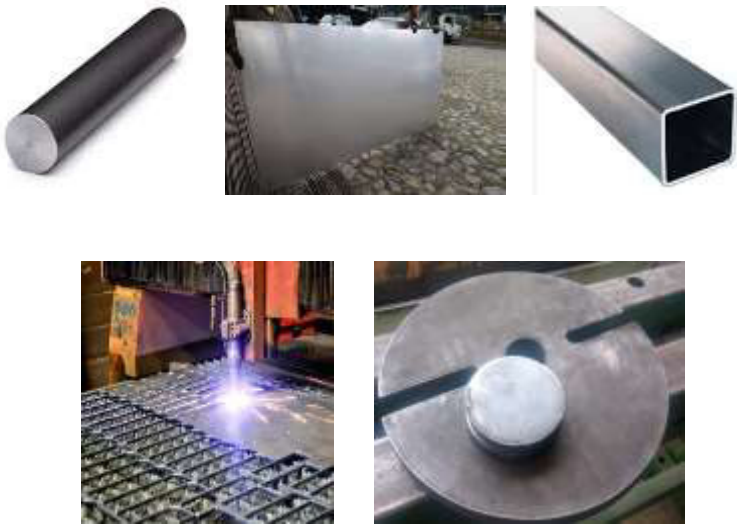

- **Materia prima**





- Tol galvanizado plancha 650 x 350 x 1 mm
- Tubo estructural (ASTM A36) cuadrado 75 x 75 x 1,5 mm; L = 1,5 m
- Tubo estructural (ASTM A36) cuadrado 50 x 50 x 1 mm; L = 1 m
- Plancha Acero ASTM-A36 250 x 330 x 6 mm
- Eje AISI 4340/705  $\varnothing$  5" ; L = 400 mm
- Pintura para metal Rust Oleum color verde

## **2.5.2 Proceso de construcción y montaje**

La construcción de los elementos que forman parte de la máquina trituradora se realizó siguiendo la siguiente secuencia que se detalla en la Tabla 2.39.

Tabla 2.39. Proceso de construcción de la máquina trituradora.

Nº1	Adquisición de la materia prima
	<p>La adquisición de gran parte de la materia prima como un eje de acero de <math>\varnothing 5''</math>, planchas de acero (<math>e=1</math> mm) y tubos estructurales (ASTM A36) cuadrado 75 x 75 x 1,5 mm; L = 1,5 m; se realizó en Empresas de aceros y hierros industriales. Además, en estas empresas se utiliza el servicio de corte por plasma para dar forma al disco de trituración.</p>
<p>Materia prima</p>	
Nº2	Fabricación de componentes estructurales
	<p>Para obtener los componentes estructurales es necesario maquinar elementos prefabricados mediante procesos de corte y perforado según las dimensiones de los planos de taller.</p>
<p>Proceso de corte</p>	

<p>Proceso de perforado</p>		
<p>Piezas obtenidas</p>	<p>Tubos cuadrados 75x75x1,5 mm</p>	
	<p>Tubos cuadrados 50x50x1,5 mm</p>	
	<p>Placa rectangular</p>	

Nº3	Ensamblaje de estructura
-----	--------------------------

La estructura se ensambla mediante uniones soldadas de los diferentes elementos estructurales, teniendo en cuenta las medidas proporcionadas en los planos.



Nº4	Fabricación de componentes de trituración
-----	---

Para obtener los componentes de trituración es necesario maquinar la materia prima descrita en N°1 mediante el uso de un torno paralelo, una fresadora y un taladro manual según las dimensiones proporcionadas en los planos de taller.

<p>Proceso de torneado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Refrentado</li> <li>Centrado</li> <li>Cilindrado</li> </ul>	
---	--

<p>Proceso de perforado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eje</li> <li>Disco</li> </ul>	
--	--

<p>Proceso de fresado Chavetero</p>	
<p>Nº5</p>	<p>Fabricación de la chumacera cónica</p>
<p>Para obtener la chumacera cónica es necesario maquinar la materia prima descrita en Nº1 mediante el uso de un torno paralelo, una fresadora y un taladro manual según las dimensiones proporcionadas en los planos de taller.</p>	
<p>Proceso de torneado Mandrinado</p>	
<p>Proceso de machuelado</p>	



Piezas obtenidas	Placa base de rodamiento cónico	
	Placas de cubierta	

Nº6	Ensamblaje de chumacera cónica
-----	--------------------------------

La chumacera cónica se ensambla mediante uniones emperradas de los diferentes elementos además se soldó a la base placas de soporte y se añadió una perforación para ubicar un graseo teniendo en cuenta las medidas proporcionadas en los planos.






Nº7	Ensamblaje del módulo de trituración
-----	--------------------------------------

Una vez obtenido el ensamblaje de la estructura donde se le añade placas guías para el desplazamiento del motor y los componentes de trituración se procede a ensamblar este módulo sobre la estructura, siguiendo las dimensiones de los planos.





Nº8	Fabricación de la carcasa	
<p>La construcción de la carcasa es necesario realizar proceso de corte de las planchas de tol galvanizado según las dimensiones proporcionadas en los planos</p>		
<p>Proceso de corte</p>		
<p>Proceso de rolado</p>		
<p>Piezas obtenidas</p>	<p>Elementos de la Carcasa</p>	

Nº9	Ensamblaje de la carcasa
-----	--------------------------

El ensamble de la carcasa se lo realiza sobre la estructura con uniones soldadas, según la dimensión es de los planos de taller. Además, en esta etapa de la construcción se añade patas a la estructura y el motor.



Nº10	Ensamble de las llantas en la estructura
------	--

Para el ensamble de las llantas en la máquina trituradora es necesario primero pintar la estructura junto la carcasa.



<p>Ensamble de las llantas</p>	
--------------------------------	--

<p>Nº11</p>	<p>Fabricación de la protección y tolva</p>
-------------	---

Para la construcción de la protección y tolva de la máquina es necesario realizar proceso de corte de las planchas de tol galvanizado según las dimensiones proporcionadas en los planos

<p>Proceso de corte Proceso de soldadura Proceso de pintura</p>	
---	---

<p>Nº12</p>	<p>Ensamblaje final de la Máquina Trituradora</p>
-------------	---

Para el ensamblaje total de la máquina trituradora se necesita tornillos para la sujeción de la protección en las bandas y un perno para la unión de la tolva en la máquina.



(Fuente: Propia)

## 2.6 Protocolo de pruebas

Una vez terminado el proceso fabricación y montaje de la máquina trituradora descrito en la anterior sección, se procede a detallar las actividades que se realizaron y forman parte del protocolo de pruebas.

Se utilizó 4 tipos de madera variando los diámetros de las ramas que van a ingresar en la máquina para después medir un promedio y desviación estándar del producto final para los 4 casos de estudio.

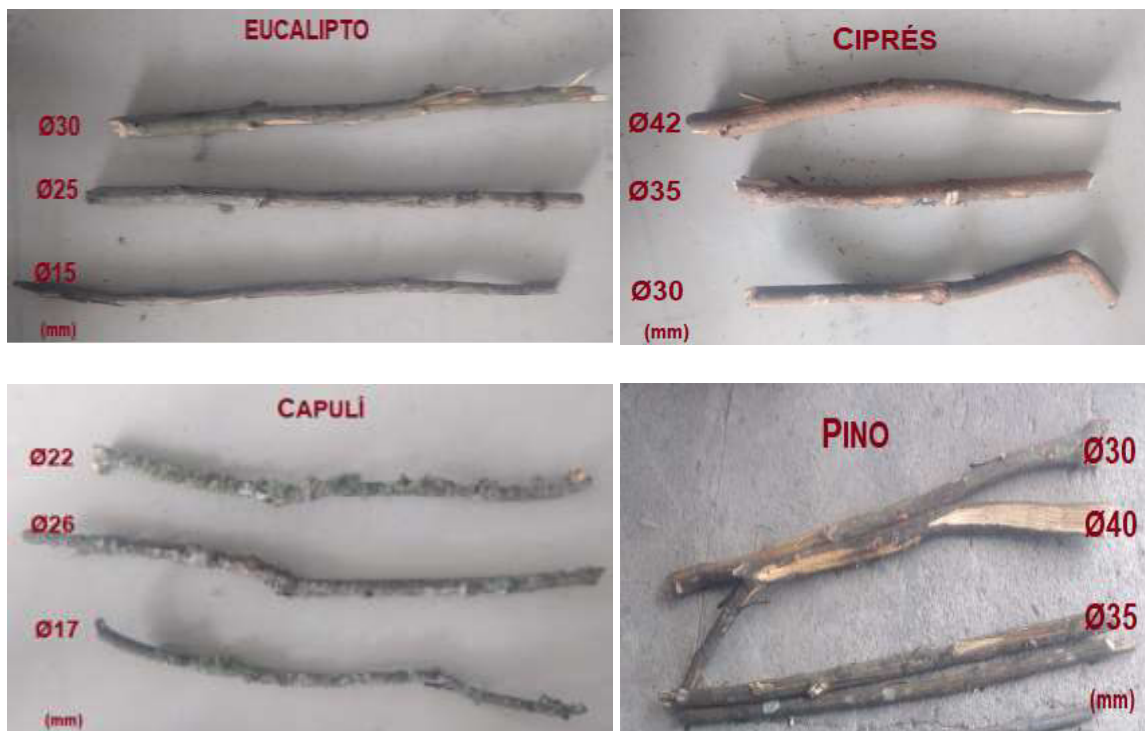


Figura 2.38. Tipos de madera de estudio con su diámetro respectivo

(Fuente: Propia)

### 2.6.1 Protocolo de corte

#### Objetivo

Describir el procedimiento a realizar para comprobar el corte de la madera y su producto final frente a 4 tipos de madera de diferentes diámetros.

#### Responsable

Inspector 1: Freddy Castillo

#### Conjunto de actividades

1. Medir y registrar el diámetro de cada rama según su tipo de madera
2. Preparar equipos de seguridad
3. Colocar la tolva en la máquina trituradora
4. Encender la máquina trituradora y comprobar que la máquina trituradora se mantenga en un nivel constante de RPM y registrar cualquier observación del equipo en funcionamiento.
5. Introducir una rama a la vez por la tolva
6. Recoger el material triturado en un recipiente con su respectiva identificación
7. Apagar el motor de la máquina trituradora
8. Medir y registrar el producto final

### **Observaciones**

El protocolo de corte consiste en evaluar el correcto funcionamiento de la máquina con el fin de determinar la aceptación del producto final por lo cual se utiliza flexómetro que permita realizar mediciones para realizar un estudio estadístico.

### **Entradas**

- Ramas de diferentes diámetros y tipos de madera
- Flexómetro
- Recipientes

### **Salidas**

- Comprobación del funcionamiento de la máquina trituradora frente a ramas de diferentes diámetros y tipos de madera.
- Comprobación del producto final de acuerdo con su dimensión

### **2.6.2 Aplicación del protocolo**

Se llevó a cabo el siguiente conjunto de actividades:

1. Se midió y registró el diámetro de cada rama según el tipo de madera al que pertenecía.



Figura 2.39. Registro y medición del diámetro de las ramas

(Fuente: Propia)

2. Se encendió la máquina trituradora en un lugar despejado de obstáculos donde permiten un trabajo seguro.
3. Se realiza el ingreso de una rama a la vez y se procede a recoger el producto con su respectiva identificación.





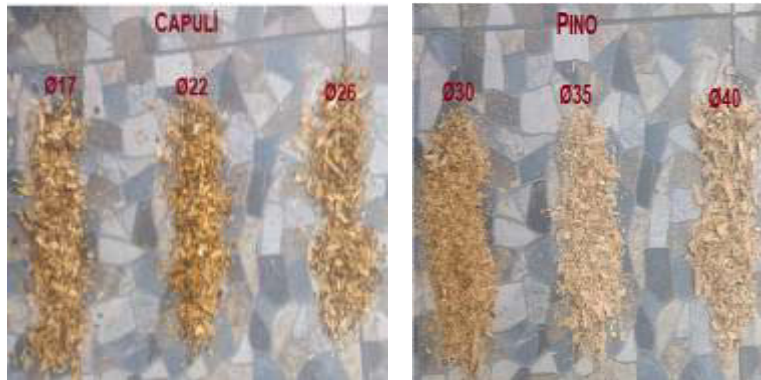


Figura 2.40. Ingreso de la rama por la tolva y registro producto final triturado

(Fuente: Propia)

4. Se procede a realizar mediciones del largo y ancho del producto final, como se muestra a continuación.

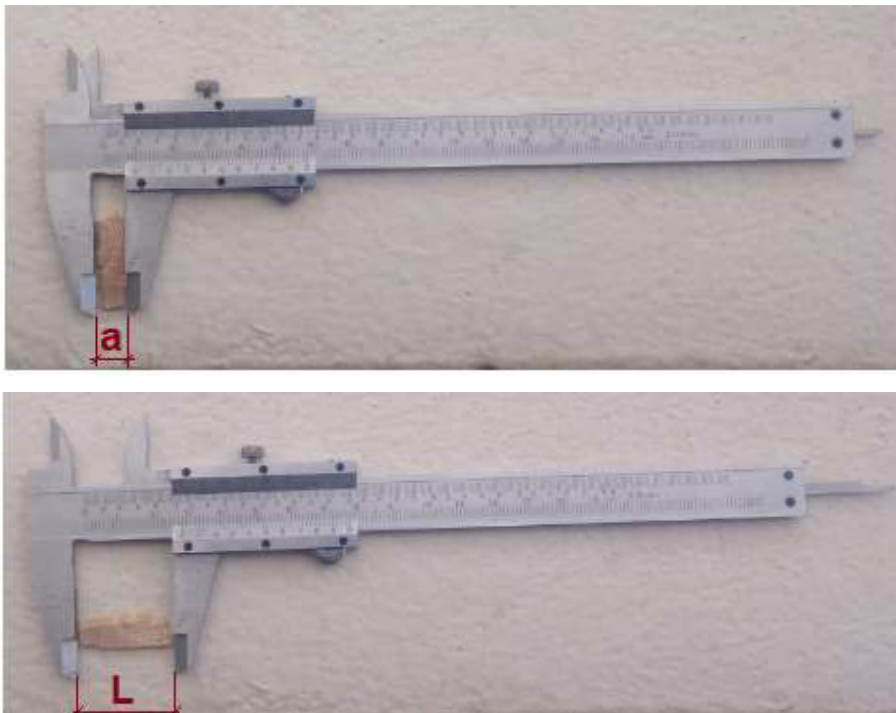


Figura 2.41. Mediciones de largo y ancho del material triturado

(Fuente: Propia)

5. Una vez realizado las mediciones de largo y ancho del producto final se obtiene las siguientes referencias estadísticas: promedio y la desviación estándar del material triturado.

Tabla 2.40. Análisis estadísticos del producto final

Tipo de madera			Promedio	Desviación estándar
Eucalipto	Ø15	L, (mm)	14,90	2,75
		a, (mm)	4,95	1,79
	Ø25	L, (mm)	19,95	2,93
		a, (mm)	8,60	3,15
	Ø30	L, (mm)	20,00	2,34
		a, (mm)	8,50	2,00
Tipo de madera			Promedio	Desviación estándar
Capulí	Ø17	L, (mm)	18,05	4,68
		a, (mm)	8,30	3,33
	Ø22	L, (mm)	14,75	4,35
		a, (mm)	6,35	2,56
	Ø26	L, (mm)	17,00	7,75
		a, (mm)	6,09	3,27
Tipo de madera			Promedio	Desviación estándar
Ciprés	Ø30	L, (mm)	19,70	4,00
		a, (mm)	7,25	1,71
	Ø35	L, (mm)	19,80	5,75
		a, (mm)	8,45	3,32
	Ø42	L, (mm)	21,40	5,54
		a, (mm)	8,30	3,16
Tipo de madera			Promedio	Desviación estándar
Pino	Ø30	L, (mm)	21,75	5,47
		a, (mm)	8,30	2,89
	Ø35	L, (mm)	19,30	3,84
		a, (mm)	6,30	2,00
	Ø40	L, (mm)	13,65	3,7
		a, (mm)	3,50	1,72

(Fuente: Propia)

Con estos valores se comprobó que el material triturado final presenta un correcto tamaño tanto para ser utilizado en el proceso de compostaje de acuerdo con (Guzmán & Grandes, 2018) que manifiestan que un tamaño óptimo de partícula para el proceso de compostaje es de 2- 5 cm.



6. Finalmente, se procede a tomar el tiempo de protocolo de corte en una rama de eucalipto cuyo diámetro es de 30 mm, de largo 1,80 m. Partiendo de estos datos más la densidad específica del eucalipto  $0,83 \text{ g/cm}^3$  (Spavento, 2008) se calculó la capacidad de trituración.

Tabla 2.41. Capacidad de trituración

Tipo de madera	Diámetro [cm]	Largo [cm]	Tiempo de trituración [min]	Densidad específica [ $\text{g/cm}^3$ ]	Capacidad de trituración [kg/h]
Eucalipto	3	180	1,24	0,83	63,28

(Fuente: Propia)

## 2.7 Estimación de costos

En esta sección se desarrolla los costos que se tuvo en el proceso de construcción de la máquina trituradora tomando en cuenta costos de elementos normalizados, costo del material, costos de fabricación y montaje. A continuación, se presenta el respectivo análisis.

### 2.7.1 Costos de materiales y consumibles

Para obtener la cantidad de material aproximada que se utilizará tanto en los miembros estructurales, disco de trituración y el eje principal, se utiliza un software de diseño asistido por computadora SolidWorks, donde se modela cada uno de los componentes de la trituradora obteniendo de esta forma los planos de taller y las dimensiones de corte para los perfiles y planchas de acero inoxidable, de manera que se optimiza el material y se reduce el desperdicio. Gran parte de los materiales fueron adquiridos en Empresas de aceros y hierros industriales en Quito facilitando el transporte hacia el taller donde se construyó la máquina trituradora. A continuación, se realiza el detalle de los costos de los materiales (ver Tabla 2.42 y Tabla 2.43):

Tabla 2.42. Costos de materiales

Elemento	Especificación	Unidad	Cantidad	Peso Total	Costo Unitario	Costo Total
				[kg]	[USD]	[USD]
Perfil	Tubo estructural (ASTM A36) cuadrado 75 x 75 x 2 mm; L = 5 m	U	1	22,60	1,96	44,30

Perfil	Tubo estructural (ASTM A36) cuadrado 50 x 50 x 2 mm; L = 1,5 m	U	1	4,55	1,95	8,86
Carcasa	Tol galvanizado plancha 650 x 350 x 1 mm	U	1	2,61	1,82	4,75
Placa	Plancha de Acero ASTM-A36; 250 x 330 x 6 mm	U	1	5,14	1,80	9,25
Disco	Plancha de Acero AISI 1010; Ø350 x 15 mm	U	1	15,60	1,80	28,08
Eje	Eje AISI 4340/705 Ø 5" ; L = 400 mm	U	1	39,80	1,82	72,44
					Subtotal	167,67
					IVA 12%	20,12
					<b>TOTAL</b>	<b>187,79</b>

(Fuente: Propia)

Tabla 2.43. Costos de consumibles

Elemento	Especificación	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
				[USD]	[USD]
Disco	DISCO DE CORTE METAL 4 <sup>1/2</sup> " HALSENBACK	U	2	5,19	10,38
Lijas	LIJA PARA HIERRO N180 NORTON	U	10	0,47	4,70
Broca	Broca para Metal 1/2"	U	1	8,75	8,75
				Subtotal	23,83
				IVA 12%	2,86
				<b>TOTAL</b>	<b>26,69</b>

(Fuente: Propia)

Sumando los costos de los materiales y consumibles a utilizar en la fabricación de la máquina trituradora, da como resultado 214,48 [USD]

### 2.7.2 Costos de elementos normalizados

De igual manera se obtiene el costo de elementos normalizados donde para definir la cantidad de pernos, tuercas, arandelas y tornillos se utiliza como referencia los planos de taller.

Los costos de elemento normalizados se muestran en la Tabla 2.44:

Tabla 2.44. Costos de elementos normalizados

Elemento	Especificación	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
				[USD]	[USD]
Motor	MOTOR ESTACIONARIO GX200 - 6.5HP	U	1	395,00	395,00
Polea	Polea Aluminio 2x5"	U	1	8,86	8,86
Polea	Polea Aluminio 2x6"	U	1	13,68	13,68
Bandas	Banda A65	U	2	7,50	15,00
Rodamiento	Rodamiento cónico 37 mm	U	1	6,00	6,00
Perno	Perno Hex Inox 18-8 (304) UNC 3/4 x 2-1/2"	U	4	0,42	1,68
Tuerca	Tuerca Hex Inox 18-8 (304) UNC	U	4	0,20	0,80
Arandela	Rodela Plana Inox 18-8 (304) Uso General 3/4"	U	4	0,15	0,60
Rodela presión	Rodela Presión Inox 18-8 (304)	U	4	0,12	0,48
Perno	Perno Hex MM 8.8 Flange Cadm M10 x 20	U	6	0,20	1,20
Tuerca	Tuerca Hex MM Flange 8.8 Cadm M10	U	6	0,20	1,20
Perno	Perno Hex MM 8.8 Flange Cadm M12 x 25	U	4	0,30	1,20
Tuerca	Tuerca Hex MM Flange 8.8 Cadm M12	U	4	0,30	1,20
Perno	Perno Allen MM C/Avellanada Inox 18-8 (304) M8 x 16	U	4	0,15	0,60
Cuchillas	Kit de cuchillas de trituradora L3-3/8"; W1-1/4"; e1/4"	U	2	21,55	43,10
Chumacera	Chumac. FBJ Piso 208-24 1 1/2"	U	1	4,94	4,94
Soporte ruedas	SOP. 845 A ACC GALV DOBLE FRENO RYG V CC 450 KG	U	2	11,96	23,92
Ruedas	R.N.C. 350-410-4 /10"	U	2	8,00	16,00
Ruedas	R.N.C. 350-410-4 /8"	U	2	6,00	12,00
				Subtotal	547,46
				IVA 12%	65,70
				<b>TOTAL</b>	<b>613,16</b>

(Fuente: Propia)

### 2.7.3 Costos de fabricación

Para el desarrollo de los costos de fabricación se toma en cuenta el criterio del dueño de la metalmecánica donde se construyó la máquina trituradora, debido a esto se debe añadir que los precios de fabricación pueden variar dependiendo el lugar donde se construya, en la Tabla 2.45 se resume los costos de fabricación:

Tabla 2.45. Costos de fabricación

DESCRIPCIÓN		PROCESO												COSTO TOTAL (\$)
		Torno		Fresa		Taladro		Corte		Dobladora		Soldadura		
		Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	Cantidad (h)	Costo (\$/h)	
ESTRUCTURA	Tubo cuadrados base	-	15	-	20	-	5	0,30	3	-	5	0,20	10	2,90
	Tubo cuadrado - soporte de la base	-	15	-	20	-	5	0,20	3	-	5	0,20	10	2,60
	Tubo cuadrado - soporte de la máquina	-	15	-	20	0,30	5	0,20	3	-	5	0,15	10	3,60
	Placa soporte motor	-	15	-	20	0,25	5	0,30	3	-	5	0,20	10	4,15
	Placa guía de motor	-	15	-	20	0,30	5	0,20	3	-	5	0,20	10	4,10
	Soporte de las ruedas	0,20	15	-	20	-	5	-	3	-	5	0,30	10	6,00
TRITURACION	Eje central	4,50	15	1	20	-	5	-	3	-	5	-	10	87,50
	Disco de trituración	2,00	15	-	20	0,30	5	0,30	3	-	5	-	10	32,40
	Poleas (eje central + motor)	0,40	15	-	20	-	5	-	3	-	5	-	10	6,00
CHUMACERA CÓNICA	Placa base	0,45	15	-	20	0,15	5	0,20	3	-	5	-	10	8,10
	Tapas	0,30	15	-	20	0,20	5	0,30	3	-	5	-	10	6,40
	Placas soporte	-	15	-	20	0,25	5	0,20	3	-	5	0,20	10	3,85
CARCASA	Tapa frontal (entrada)	-	15	-	20	-	5	0,25	3	-	5	0,30	10	3,75
	Tapa posterior (entrada)	-	15	-	20	-	5	0,25	3	-	5	0,30	10	3,75
	Tapa salida frontal	-	15	-	20	-	5	0,25	3	-	5	0,30	10	3,75
	Tapa salida posterior	-	15	-	20	-	5	0,25	3	-	5	0,30	10	3,75
	Unión circunferencia	-	15	-	20	-	5	0,25	3	0,15	5	0,30	10	4,50
	Tolva	-	15	-	20	0,20	5	0,25	3	0,30	5	0,30	10	6,25
Subtotal													193,35	
IVA 12%													23,20	
<b>TOTAL</b>													<b>216,55</b>	

(Fuente: Propia)

#### 2.7.4 Costo final

Para la elaboración del costo final de la máquina trituradora se considera los costos descritos en las secciones anteriores además se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Se tiene un costo indirecto de 10% que es la suma de aspectos como costos administrativos, costos financieros, transporte etc. Costos que son necesarios en la ejecución del proyecto y por lo general no se encuentran presentes en los costos directos.
- Costos de montaje de un 10% ya que se necesita mano de obra y carga.
- Costos de imprevistos de un 15% este tipo de costo nos ayuda a reaccionar ante situaciones económicas que no se encuentran dentro del presupuesto del proyecto.
- Costo de diseño de un 15% es la referencia de la utilidad proyectada del proyecto teniendo en cuenta las dificultades y destrezas técnicas utilizadas para la realización de este.
- Se estima una jornada de trabajo de 7 horas al día sin tomar en cuenta la hora de alimentación

En la Tabla 2.46 se muestra el costo total de máquina trituradora:

Tabla 2.46. Costo total de la máquina

Descripción	Costo [USD]
Costos de materiales	187,8
Costos de consumible	26,69
Costos de elementos normalizados	613,16
Costos de fabricación	216,55
<b>Subtotal (USD)</b>	<b>1044,2</b>
Costos indirectos (10%)	104,42
Costos de montaje (10%)	104,42
Costos imprevistos (15%)	156,63
Costos de diseño (15%)	156,63
<b>TOTAL (USD)</b>	<b>1782,85</b>

(Fuente: Propia)

Sumando los valores de los diferentes costos mencionados en la anterior sección, se obtuvo el costo total de la máquina trituradora es de 1782,85 [USD].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analiza los resultados encontrados en el desarrollo de la máquina trituradora, el protocolo de pruebas. Además, se analiza el costo final de la máquina con similares en el mercado nacional, así como su capacidad de trituración.

#### 3.1 Resultados

Como resultado del diseño mecánico, se obtuvo una máquina trituradora de ramas de poda de árboles y desbroces de diámetro 7 cm con una capacidad de trituración de 63,28 kg<sub>madera</sub>/h (ver Tabla 2.41). Esta máquina también puede ser utilizada en carpinterías para triturar restos de madera.

Como resultado de la energía necesaria para romper una rama de diámetro 8,5 cm se obtuvo que es 397,21 [J] (ver Tabla 2.26), esta energía se consigue a través de un disco de 35 cm de diámetro con un espesor de 15 mm que gire a 3600 RPM y para descargar esta energía se acopla 2 cuchillas de acero de alta calidad de 8,5 cm de largo que cortará las ramas que ingrese por la tolva.

En el desarrollo del protocolo de pruebas se trituró ramas de diferentes diámetros de capulí, eucalipto, ciprés y pino (ver Tabla 2.40), donde el producto final presentó medidas que varía en largo desde 0,5 cm a 2 cm y en ancho desde 0,5 cm a 0,8 cm. Estas medidas de viruta son óptimas para ser utilizado en el proceso de compostaje de acuerdo con (Guzmán & Grandes, 2018) que manifiestan que un tamaño óptimo de partícula para el proceso de compostaje es de 2- 5 cm.

La estructura presenta miembros estructurales como son tubos cuadrados de acero, para la unión de cada tubo presentan juntas soldadas. Además, consta de un eje principal de acero AISI 4340 que consta con una sección circular con perforaciones para la sujeción empernada con el disco de trituración de diámetro de 350 mm donde se ubica 2 cuchillas y un corte para el paso del material triturado. Cada una de las conexiones presentan arandelas planas, de presión y tuercas. La carcasa protege el núcleo de la máquina conformada por el disco y el eje central consta de piezas individuales soldadas en la parte inferior soldada a la estructura mientras que la parte superior de la carcasa es móvil sujeto mediante una bisagra de dos acciones.

Se colocó señales de seguridad en la tolva y protección de las bandas que indican riesgo de atrapamiento, también en la carcasa de la máquina para evitar que abran cuando se encuentre en funcionamiento.

La máquina trituradora obtenida cumple con todas las especificaciones técnicas propuestas dando satisfacción a cada uno de los requerimientos del cliente. En la siguiente Figura 3.1, se puede observar el resultado final del presente proyecto.



Figura 3.1. Máquina trituradora de ramas  
(Fuente: Propia)

## 3.2 Discusión

El diámetro de las ramas que se pueden triturar en la máquina desarrollada en el presente proyecto de titulación varía entre 1 a 7 cm máx., con un motor estacionario de 6,5 hp. Máquinas similares en el mercado presentan una capacidad de trituración de 2 a 5 cm máx., se analiza que la máquina se acopla a las necesidades personalizadas del cliente.

No se puede negar que se tiene un correcto dimensionamiento de una máquina trituradora de ramas de poda de árboles, pero resulta evidente que algunas piezas son sobredimensionadas debido a características propias de solicitaciones mecánicas de la madera que no se pueden agrupar debido a que es un material ortotrópico. Un diseño más eficaz pudiera obtenerse delimitando el tipo de madera, sin embargo, este enfoque resulta costoso debido que la demanda de este producto sería mínima ante la oferta de otras empresas proveedoras de este tipo de máquinas.

Sin dejar un lado el error humano, la falta de precisión de las máquinas y demás equipos manuales que se utilizan en la fabricación dentro del taller, existe la posibilidad de que la máquina trituradora trabaje bajo condiciones ambientales variables y esto provoque oxidación y no cumpla con su función principal. Por tal motivo, dentro del montaje de la máquina se utilizó pintura en gran parte de las piezas para de esta manera evitar que los elementos se dañen por condiciones ambientales.

Al llevar a cabo, el montaje se presentó problemas como el centrado del eje con las chumaceras debido que una de estas fue fabricada dentro del taller y la medida de altura variaba respecto a la otra chumacera normalizada la solución que se utilizó fue ir cortando la placa base a medida de la chumacera normalizada para nivelar esta diferencia. Otro problema que se presentó fue el encendido del motor que no podía girar libremente debido que las poleas se encontraban tensionadas con el núcleo de trituración. La solución que se optó fue adicionar placas guías junto a la placa de soporte del motor para que mientras se encienda el motor, este se encuentre alzado y de esta manera las bandas se encuentran libres de tensión y una vez encendido el motor se desliza suavemente revisando que exista cierto contacto hasta que gire libremente entre las bandas y la polea del motor.

Una decisión acertada fue colocar ruedas donde 2 constan de frenos, ya que, de no hacerlo se hubiera requerido de dos personas para cambiar de posición además de utilizar elementos adicionales para que la máquina se frene, esto implicaría pérdida de tiempo y mayor riesgo ergonómico para la operación de esta máquina.



En la aplicación del protocolo de corte se utilizó una rama de diámetro de 30 mm, de largo 1,80 m y se observó que el tiempo para triturar esta rama fue de 1,24 minutos. Partiendo de estos datos más la densidad específica del eucalipto  $0,83 \text{ g/cm}^3$  (Spavento, 2008) se calculó la capacidad de trituración de la máquina es  $63,28 \text{ kg}_{\text{madera}}/\text{h}$  (ver Tabla 2.41).

El modelado de la máquina ayudó a tener una idea más clara de los elementos que se necesitan para su fabricación, así como también permite cambiar el diseño y adecuarlo a piezas que se pueden fabricar de forma más fácil en el taller.

Finalmente, la máquina trituradora tiene un costo de \$1782,85 (ver Tabla 2.44). Máquinas similares en el mercado el precio varía entre \$1500 a \$2981, tomando como referencia estos precios, se evidencia que el trabajo de titulación podría ser 40% más económica que una máquina similar presente en el mercado nacional, cuya ventaja competitiva es tener un diseño robusto, resistente y confiable.

## 4. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una máquina trituradora de madera de poda de árboles y desbroces de diámetro 7 cm, con una capacidad de trituración de 63,28 kg<sub>madera</sub>/h (ver Tabla 2.41). Esta máquina también puede ser utilizada en carpinterías para triturar restos de madera. La estructura consta de elementos estructurales, un eje principal empernado a un disco de trituración acopladas 2 cuchillas de acero con un motor de 6,5 hp. La carcasa se realizó con planchas galvanizadas.
- A partir de la casa de la calidad se logró establecer especificaciones técnicas para el diseño de la máquina trituradora teniendo un orden de cumplimiento las necesidades del cliente (ve Figura 2.2).
- Se realizó un estudio de campo sobre diferentes medidas de diámetros de ramas de una poda de árboles obteniendo un estudio estadístico del diámetro promedio de una rama (ver Tabla 2.27), de esta manera se utiliza este diámetro y en base a la resistencia al impacto de diferentes tipos de madera presente en el país se obtiene la energía necesaria que debe producir el disco de trituración.
- Se determinó la geometría de la trituradora mediante el uso de herramientas computacionales CAD delimitando la medida del disco de trituración, cuya estructura consta de miembros estructurales como tubos cuadrados de acero, para la carcasa tol galvanizado.
- Se realizó un análisis en elementos finitos mediante el uso de software Abaqus de los 10 primeros modos de vibración (ver Tabla 2.37) de la estructura de la máquina trituradora obteniendo frecuencias naturales bajas que no provocan fenómenos de resonancia.
- Se elaboró planos de conjunto y de taller para la construcción de los componentes mecánicos según la mejor alternativa que cumplía con la mayoría de especificaciones técnicas propuestas a través del uso de métodos de criterios ponderados (ver Tabla 2.24).
- En el protocolo de pruebas, se trituró ramas de diferentes diámetros de capulí, eucalipto, ciprés y pino (ver Tabla 2.40), donde el producto final presentó medidas que varía en largo desde 0,5 cm a 2 cm y en ancho desde 0,5 cm a 0,8 cm. Estas medidas de viruta son óptimas y se encuentran el rango de 2 – 5 cm para ser utilizado en el proceso de compostaje.
- El costo total de la máquina trituradora es de 1782,85 [USD] tomando en cuenta costos directos e indirectos.

## Referencias Bibliográficas

- Almeida, D., Scaliante, R., Macedo, L., & Molina, J. (2011). *Resistência ao impacto na flexão de madeiras nativas e de reflorestamento*. Brasil: Madeira.
- Búa Torres, M. (30 de Abril de 2014). XUNTA DE GALICIA. Obtenido de <https://www.edu.xunta.gal/>:  
<https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contido/index.html>
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2011). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. México: Mc Graw Hill.
- Cali, A. (2018). "ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD DE PODA EN ARBOLADO URBANO PERTENECIENTE A LA CIUDAD DE LA PLATA". Buenos Aires: FCAYF.
- Cartagena, M. (1994). *La biosfera IV: el árbol muerto como fuente de materia prima, en "Introducción a la Química Industrial*. Barcelona: Reverté.
- Céspedes, J., & Gaitán, J. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS ESPECIES DE MADERA DE ACACIA, EUCALIPTO Y PINO CARIBE*. Colombia: UST.
- Cifuentes, K., & Vega, H. (2014). "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE TRITURADOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE LA PARROQUIA TENA-PROVINCIA NAPO EN EL 2014.". Riobamba: ESPOCH.
- Colina, L. (s.f.). *Reducción de tamaño*. Obtenido de Ingeniería de alimentos: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red\\_tam\\_solidos\\_intro.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf)
- Díaz, A. (1986). *Ciencia de la madera*. Cuba: Enpes.
- Esparza, C. (2010). *PRODUCCIÓN DE AGREGADOS*. Loja: UTPL.
- Gilman, E. (2002). *An Illustrated Guide to Pruning* . EEUU: Delmar Publishing.
- Guerrero, A., & Honorato, A. (2003). *Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba*. Mexico: Madera y Bosques.
- Guzmán, J., & Grandes, N. (2018). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS

*ORGÁNICOS EN LA FLORÍCOLA ADELFLOWERS*". Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi .

Hermoso, E., Fernández, J., Conde, M., Troya, R., & Cabrero, J. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA ASERRADA DE PINO RADIATA MODIFICADA TÉRMICAMENTE*. España: Maderas-Cienc Tecnol.

Hernandez, J. (2015). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE TRITURADOR DE DESECHOS ORGÁNICOS* . México: UNAM.

Hervás, V. I. (s.f). *Materiales de uso técnico. La Madera*.

Intermec, P. (2006). TRANSMISIÓN DE POTENCIA: POLEAS EN "V". En P. Intermec, *TRANSMISIÓN DE POTENCIA: POLEAS EN "V"* (pág. 27). Intermec.

Intriago, F. (2019). La mecanización agrícola y su impacto en el desarrollo agropecuario del Ecuador. En *La mecanización agrícola y su impacto en el desarrollo agropecuario del Ecuador*. Manabí: SATHIRI.

ISO 1940-1, N. (2003). *Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state* —. Suiza: ISO.

Kruger, H. (2000). *Información requerida para la producción en balanceo*. Ecuador: SCHENCK.

Modes, K. (2010). *EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE Pinus taeda E Eucalyptus grandis*. Brasil: Ciência Florestal.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson-Education.

Ow, L. F., Ghosh, S., & Sim, E. K. (2013). *Lesión mecánica y oclusión: una perspectiva urbana y tropical*. Obtenido de ELSEVIER: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.02.004>

Palacios, W. (2011). *Familias y géneros arbóreos Ecuador*. Quito: MAE.

Parra, R., Sáenz, O., & Pulgarín, J. (2010). *Guía para el manejo de los productos de la tala, poda y rocería*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Pertuzzatti, A., Conte, B., Missio, A., Gatto, D., & Santini, E. (2017). *Influência da Umidade na Resistência da Madeira de Eucalipto a Impactos*. Brasil: Produtos Florestais.

- Pozzer, J., & Guzowski, E. (2011). *Materiales y materias primas: Madera*. Buenos Aires: inet.
- Prefectura de Imbabura, G. (13 de Diciembre de 2020). *882 kilómetros de vías son intervenidas de manera permanente en la ruralidad*. Obtenido de GAD Provincial de Imbabura Web site: <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/component/k2/item/1392-882-kilometros-de-vias-son-intervenidas-de-manera-permanente-en-la-ruralidad>
- PSA, G. (2018). *Catálogo de especies arbóreas*. VIGO.
- Ramos, F., & Vega, K. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE HOJAS SECAS DE GUAYUSA CON UNA CAPACIDAD DE 6.5 QUINTALES POR HORA*. Quito: EPN.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- Rotorclip, C. (2005). *Catalogo de productos- anillos de retención*. Obtenido de <http://rotorclip.com/uk>: [http://rotorclip.com/uk/downloads/spanish\\_catalog.pdf](http://rotorclip.com/uk/downloads/spanish_catalog.pdf)
- Sodimac. (s.f.). *sodimac.com*. Obtenido de Poda: sus principios e importancia: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/content/a300010/poda:-sus-principios-e-importancia/>
- Spavento, E. (2008). *Propiedades físicas de la madera*. Argentina.
- STANGERLIN, M., MELO, R., GATTO, D., BELTRAME, R., TREVISAN, R., & CALEGARI, L. (2008). *QUALIFICAÇÃO DAS MADEIRAS DE Eucalyptus grandis, Eucalyptus camaldulensis Eucalyptus saligna ATRAVÉS DA RESISTÊNCIA AO CHOQUE*. Brasil: USFM.
- Toscano, V., & Vásconez, F. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LOS RESIDUOS DE PODA DE LA ESPOCH*. Riobamba: ESPOCH.
- Yepes, V. (2016). *Trituradoras giratorias*. España: UPV.

## Anexos

### ANEXO I – TABLA DE COEFICIENTES DE FLUCTUACIÓN PARA DISEÑO DE VOLANTES

COEFICIENTE DE FLUCTUACIÓN	
Tipo de maquina	Cs
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Maquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030-0,050
Maquinaria de corte	0,030-0,050
Maquinaria de hilanderas	0,01-0,02
Maquinaria textil	0,025

### ANEXO II – ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

MOTOR HONDA 6.5HP GX200	
DESCRIPCIÓN	
Características 4 Tiempos/Monocilíndrico/OHV	
Cilindraje 196cc	
Potencia 6.5hp @3600rpm	
Torque máximo 1,35 Kgf.m @2500rpm	
Filtro de aire Ciclónico de 3 etapas	
Sistema de arranque Manual / Retráctil	
Capacidad de aceite cárter 0,6 litros	
Combustible Gasolina Común	
Capacidad Tanque de combustible 3,6 litros	
Punta de eje Cilíndrica 3/4"	
Dimensiones (L/An/Al) 321X376X335 mm	
Peso en seco 16 Kg	
Sensor de aceite Si	

## ANEXO III – CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL



### TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)									
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105
100	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33
200	0.16	0.20	0.24	0.27	0.31	0.35	0.39	0.43	0.50	0.61
300	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.50	0.55	0.62	0.72	0.88
400	0.28	0.35	0.42	0.49	0.55	0.64	0.71	0.80	0.93	1.14
500	0.34	0.42	0.50	0.59	0.67	0.78	0.86	0.97	1.13	1.38
575	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.88	0.97	1.10	1.28	1.57
600	0.38	0.48	0.58	0.68	0.78	0.91	1.00	1.14	1.33	1.63
690	0.43	0.54	0.65	0.76	0.88	1.02	1.13	1.28	1.50	1.84
700	0.43	0.55	0.66	0.77	0.89	1.04	1.15	1.30	1.52	1.86
725	0.44	0.56	0.68	0.80	0.91	1.07	1.18	1.34	1.57	1.92
800	0.47	0.60	0.73	0.86	0.99	1.16	1.30	1.45	1.70	2.10
870	0.50	0.64	0.78	0.92	1.06	1.24	1.38	1.56	1.83	2.25
900	0.52	0.66	0.80	0.95	1.10	1.28	1.42	1.60	1.90	2.32
950	0.54	0.69	0.84	0.99	1.14	1.34	1.50	1.68	1.98	2.43
1000	0.56	0.72	0.87	1.03	1.20	1.40	1.55	1.76	2.07	2.54
1100	0.59	0.77	0.94	1.10	1.28	1.50	1.68	1.90	2.24	2.76
1160	0.62	0.80	0.98	1.16	1.34	1.58	1.76	2.00	2.35	2.90
1200	0.63	0.82	1.00	1.20	1.38	1.62	1.80	2.05	2.40	2.98
1300	0.66	0.87	1.07	1.27	1.47	1.73	1.93	2.20	2.58	3.20
1400	0.70	0.91	1.13	1.35	1.56	1.84	2.05	2.33	2.75	3.40
1425	0.71	0.93	1.15	1.36	1.58	1.87	2.08	2.37	2.80	3.45
1500	0.73	0.96	1.20	1.42	1.65	1.95	2.17	2.47	2.90	3.60
1600	0.76	1.00	1.25	1.50	1.73	2.05	2.30	2.60	3.07	3.80
1700	0.79	1.05	1.30	1.56	1.82	2.15	2.40	2.74	3.23	4.00
1750	0.80	1.07	1.33	1.60	1.86	2.20	2.46	2.80	3.30	4.10
1800	0.82	1.09	1.36	1.63	1.90	2.25	2.52	2.87	3.40	4.20
1900	0.84	1.13	1.42	1.70	1.98	2.35	2.63	3.00	3.54	4.38
2000	0.87	1.17	1.47	1.77	2.06	2.45	2.74	3.12	3.70	4.57
2100	0.90	1.20	1.52	1.83	2.14	2.54	2.85	3.25	3.84	4.76
2200	0.92	1.25	1.57	1.90	2.20	2.64	2.95	3.37	4.00	4.94
2300	0.94	1.28	1.62	1.96	2.30	2.73	3.05	3.50	4.13	5.10
2400	0.96	1.32	1.67	2.02	2.36	2.82	3.16	3.60	4.27	5.29
2500	0.98	1.35	1.70	2.07	2.43	2.90	3.26	3.72	4.40	5.46
2600	1.00	1.38	1.76	2.13	2.50	3.00	3.35	3.83	4.54	5.63
2700	1.02	1.42	1.80	2.20	2.57	3.08	3.45	3.94	4.68	5.80
2800	1.04	1.45	1.85	2.24	2.64	3.16	3.54	4.05	4.80	5.96
2850	1.05	1.46	1.87	2.27	2.67	3.20	3.60	4.10	4.87	6.03
2900	1.06	1.48	1.89	2.30	2.70	3.24	3.64	4.16	4.93	6.10
3000	1.07	1.50	1.93	2.35	2.77	3.32	3.73	4.26	5.06	6.27
3200	1.10	1.56	2.00	2.45	2.90	3.47	3.90	4.47	5.30	6.57
3400	1.13	1.60	2.08	2.55	3.00	3.62	4.07	4.66	5.53	6.85
3450	1.14	1.62	2.10	2.57	3.04	3.65	4.10	4.70	5.60	6.92
3600	1.15	1.65	2.15	2.64	3.12	3.76	4.23	4.85	5.75	7.12
3800	1.17	1.70	2.20	2.72	3.23	3.90	4.38	5.02	5.96	7.37
4000	1.20	1.73	2.27	2.80	3.33	4.02	4.52	5.20	6.16	7.60
4200	1.20	1.77	2.33	2.88	3.42	4.13	4.66	5.34	6.34	7.83
4400	1.21	1.80	2.38	2.95	3.50	4.24	4.78	5.50	6.50	8.03
4600	1.21	1.82	2.42	3.00	3.60	4.35	4.90	5.63	6.67	8.22
4800	1.21	1.84	2.46	3.07	3.66	4.44	5.00	5.75	6.82	8.38
5000	1.21	1.86	2.50	3.12	3.73	4.53	5.10	5.87	6.95	8.53
5200	1.20	1.87	2.52	3.16	3.80	4.60	5.20	5.97	7.07	8.66
5400	1.19	1.87	2.55	3.20	3.85	4.68	5.28	6.06	7.18	8.77
5600	1.17	1.88	2.56	3.24	3.90	4.74	5.36	6.15	7.27	8.86
5800	1.15	1.87	2.58	3.26	3.93	4.80	5.42	6.22	7.35	8.93
6000	1.13	1.87	2.59	3.28	3.96	4.84	5.47	6.27	7.40	8.98

#### ANEXO IV – PARÁMETROS DE BANDAS EN V

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.288

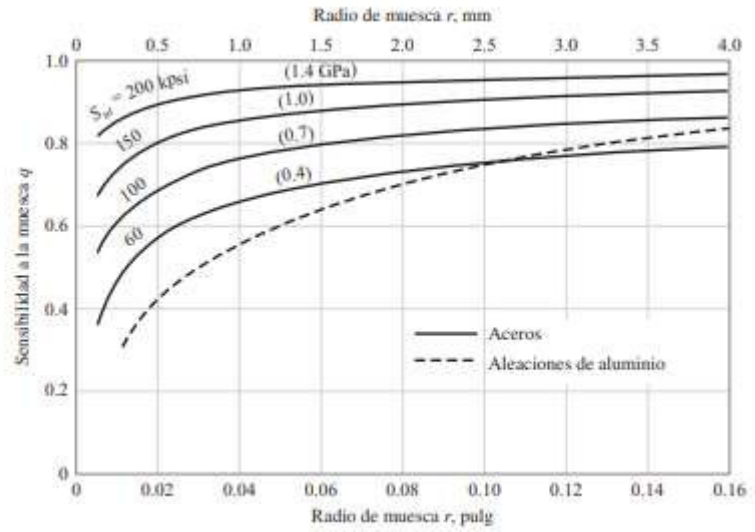
\* Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.



## ANEXO V – GRÁFICAS DE FACTORES TEÓRICOS DE CONCENTRACIÓN DEL ESFUERZO $K_t$

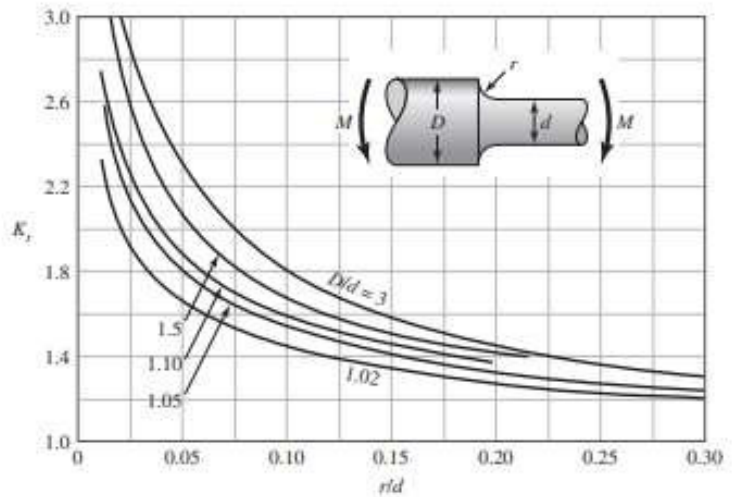
**Figura 6-20**

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 A-15-9**

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

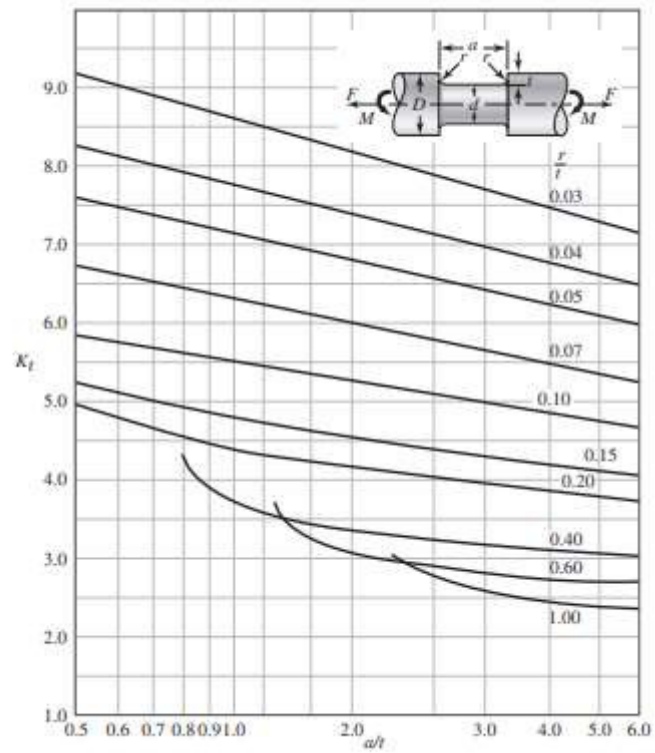


**Figura A-15-16**

Eje redondo con ranura de fondo plano en flexión y/o tensión.

$$\sigma_0 = \frac{4F}{\pi d^2} + \frac{32M}{\pi d^3}$$

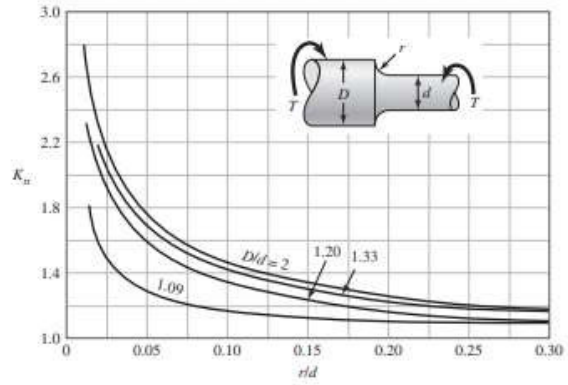
Fuente: W. D. Pilkey, *Peterson's Stress Concentration Factors*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York, 1997, p. 115.



## ANEXO VI – GRÁFICAS DE FACTORES TEÓRICOS DE CONCENTRACIÓN DEL ESFUERZO $K_{ts}$

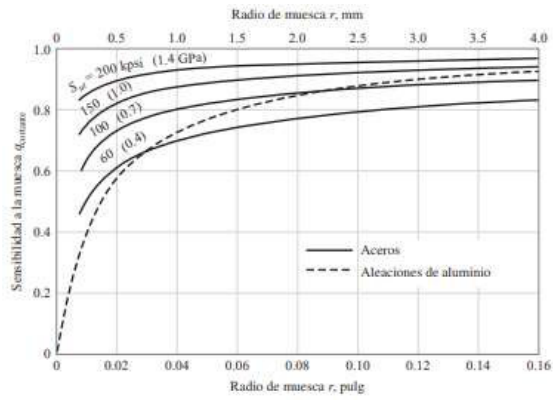
**Figura A-15-8**

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



**Figura 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  $q_{constante}$  correspondientes a la ordenada  $r = 0.16$  pulg (4 mm).

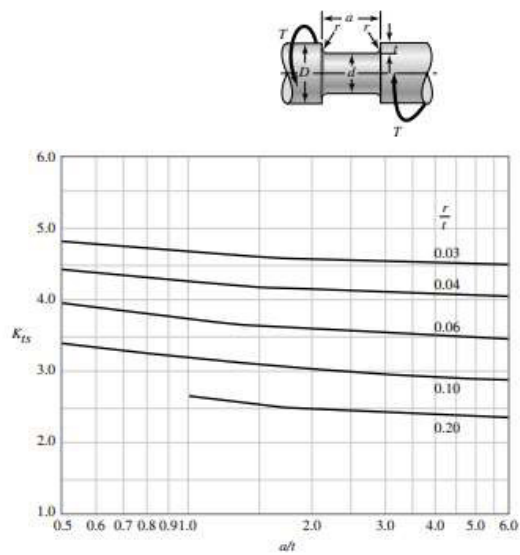


**Figura A-15-17**










Eje redondo con ranura de fondo plano en torsión.


$$\tau_0 = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Fuente: W. D. Pilkey, *Peterson's Stress Concentration Factors*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York, 1997, p. 133.



## ANEXO VII – MANUAL DE ENCENDIDO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

1	Levantar la placa soporte del motor y ajustar en esa posición	
2	Colocar en posición ON el switch ubicado en la parte frontal del motor	
3	Regular la maneta del acelerador hasta la mitad, en este punto no requiere exactitud	
4	Girar la palanca de combustible hacia la derecha Girar la palanca de la mariposa estranguladora hacia la izquierda en esta posición se encuentra cerrada.	
5	Jalar suavemente la cuerda de accionamiento retráctil hasta que se encienda el motor	
6	Retornar la palanca de la mariposa estranguladora hacia la derecha en esta posición se encuentra abierta	
7	Bajar suavemente la placa soporte del motor y ajustar en esa posición	
8	Regular el acelerador según el requerimiento	
9	Para apagar la máquina verificar que el acelerador no se encuentre accionado y colocar en posición OFF	

10	Cerrar el paso del combustible girando la palanca hacia la izquierda.	
----	---	---

## ANEXO VIII – TAMAÑO DE LA CUÑA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE

**TABLA 11-1** Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

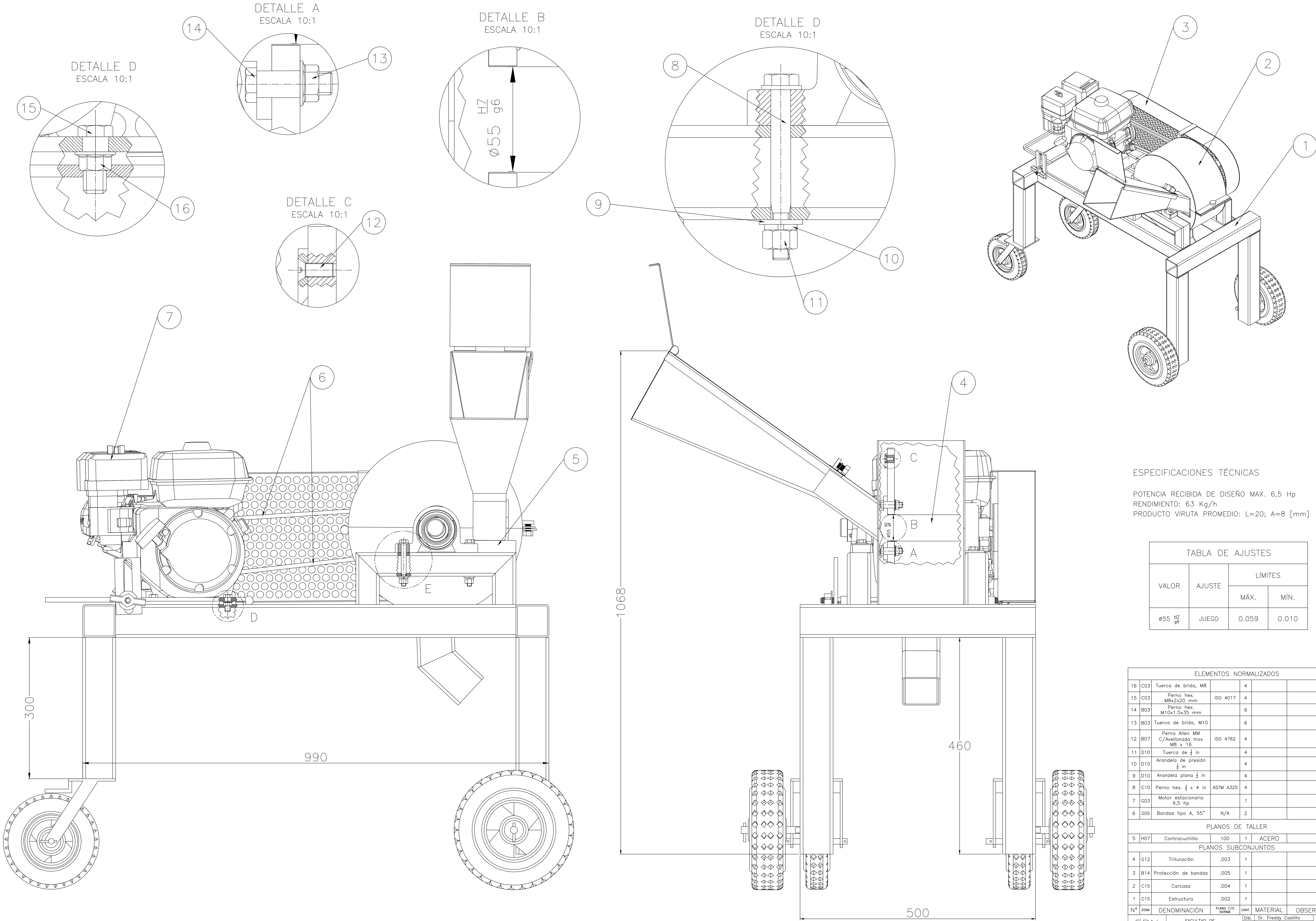
Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1/4	1/4	3/16
1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	5/16	5/16	1/4
1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3/8	3/8	1/4
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1/2	1/2	3/8
2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5/8	5/8	7/16
2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3/4	3/4	1/2
3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	7/8	7/8	5/8
3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1	1	3/4
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	7/8
5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1
6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	9	2	2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
9	11	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>
11	13	3	3	2
13	15	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
15	18	4		3
18	22	5		3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
22	26	6		4
26	30	7		5

*Fuente:* Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

*Nota:* Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

## **ANEXO VIII – PLANOS**





ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

POTENCIA RECIBIDA DE DISEÑO MAX. 6,5 Hp  
 RENDIMIENTO: 6,3 Kg/h  
 PRODUCTO VIRUTA PROMEDIO: L=20; A=8 [mm]

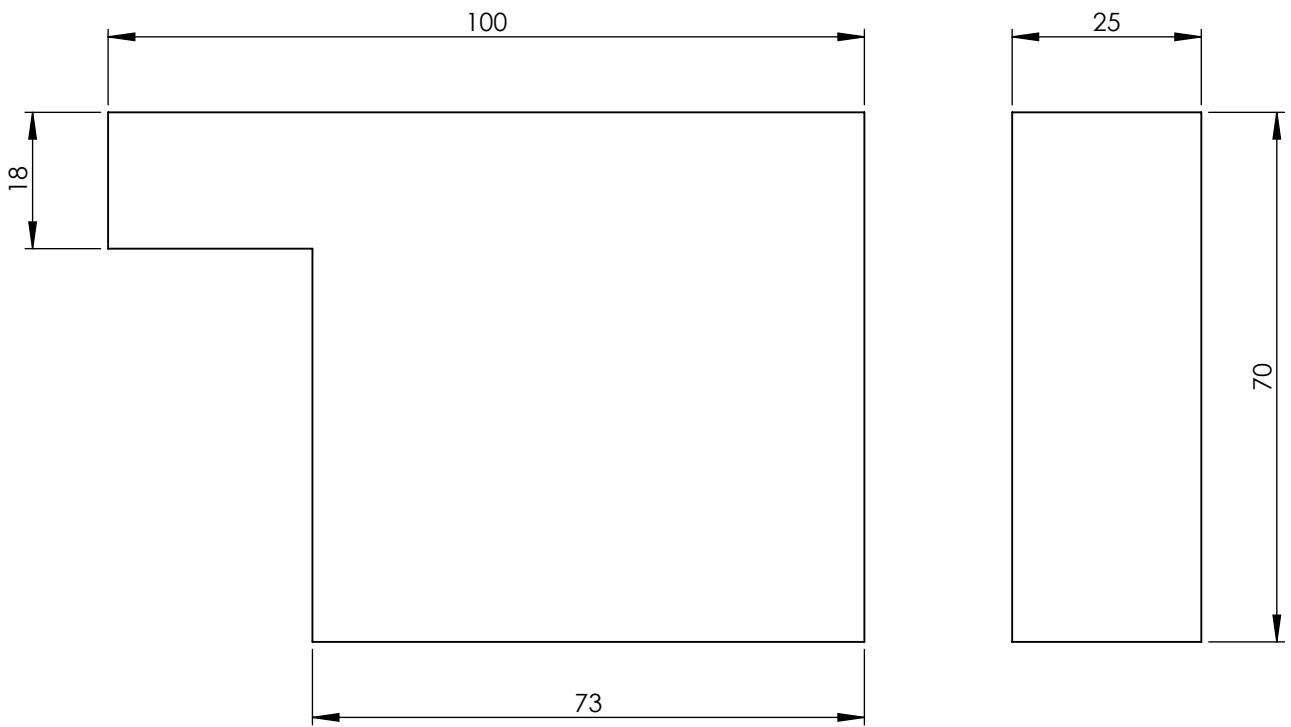
VALOR	AJUSTE	LIMITES	
		MÁX.	MÍN.
$\phi 55 \frac{H7}{g6}$	JUEGO	0.059	0.010

ELEMENTOS NORMALIZADOS				
16	C03	Tuerca de brida, MB	4	
15	C03	Perno hex. MBx2x20 mm	4	
14	B03	Perno hex. M10x1.5x35 mm	6	
13	B03	Tuerca de brida, M10	6	
12	B07	Perno Allen MM C/Avelanada Inox MB x 16	4	ISO 4762
11	D10	Tuerca de 1/2 in	4	
10	D10	Arandela de presión 1/2 in	4	
9	D10	Arandela plana 1/2 in	4	
8	C10	Perno hex. 1/2 x 4 in ASTM A325	4	
7	G03	Motor estacionario 6,5 hp	1	
6	G05	Bandas tipo A, 55"	N/A	2

PLANOS DE TALLER				
5	H07	Contracuchilla	100	1 ACERO
PLANOS SUBCONJUNTOS				
4	G12	Trituración	.003	1
3	B14	Protección de bandas	.005	1
2	C15	Carcasa	.004	1
1	C15	Estructura	.002	1

N°	2044	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMAL	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
EPN		FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA				
					Sr. Freddy Castillo	Escala: 1:2,5
					Sr. Freddy Castillo	
					Ing. Oscar Sotomayor, MSc	
						Fecha: 14-10-21

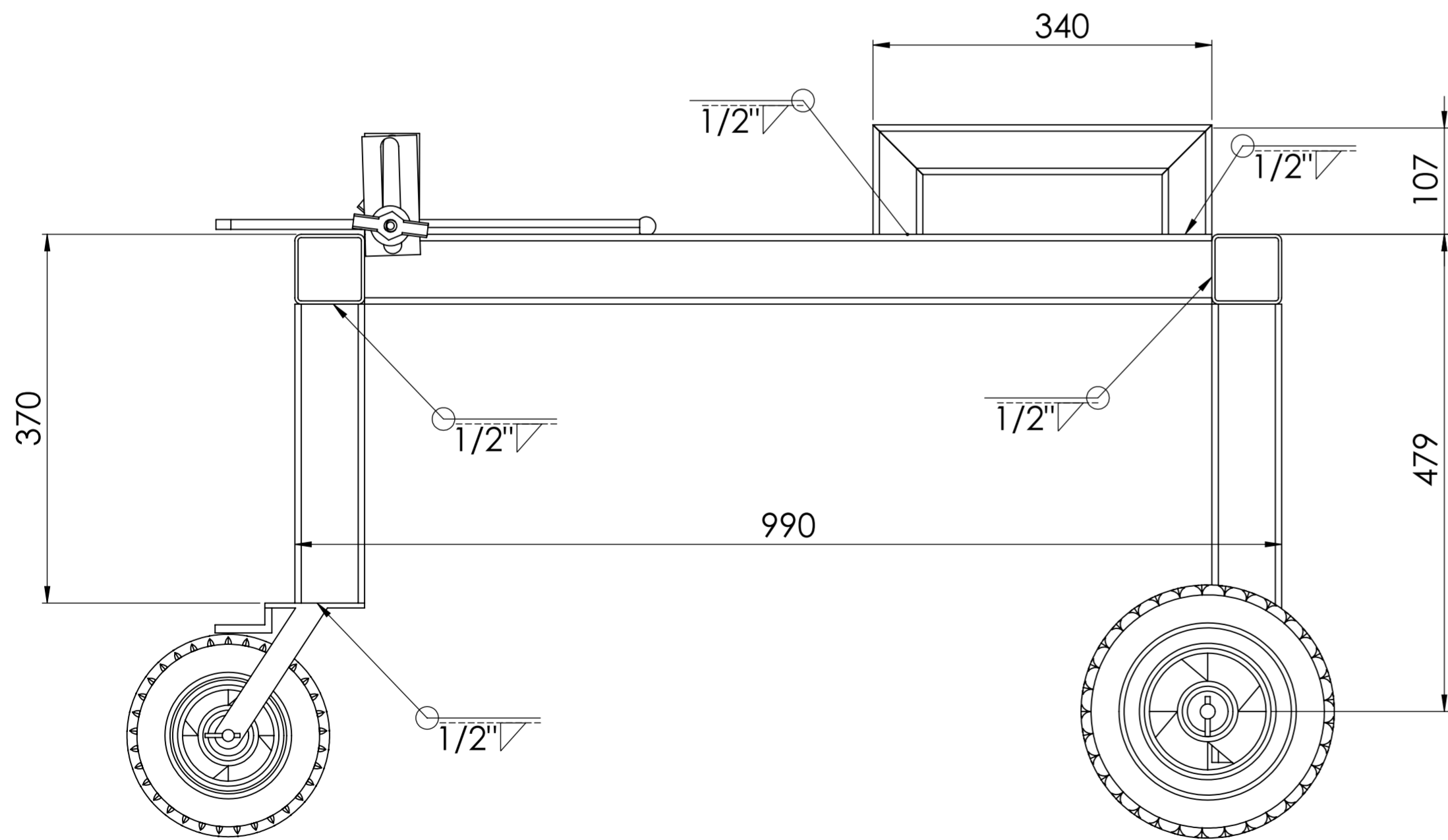
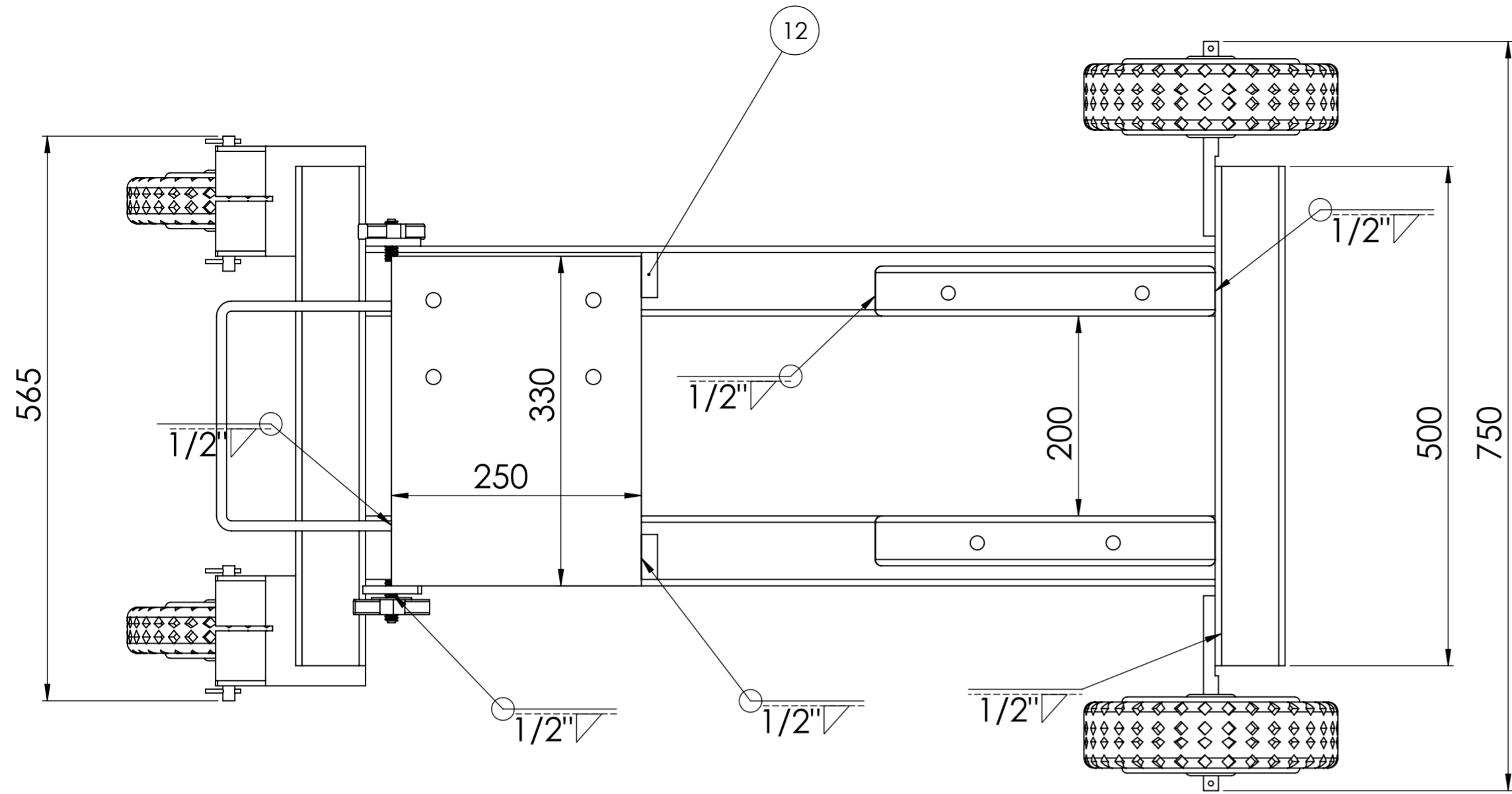




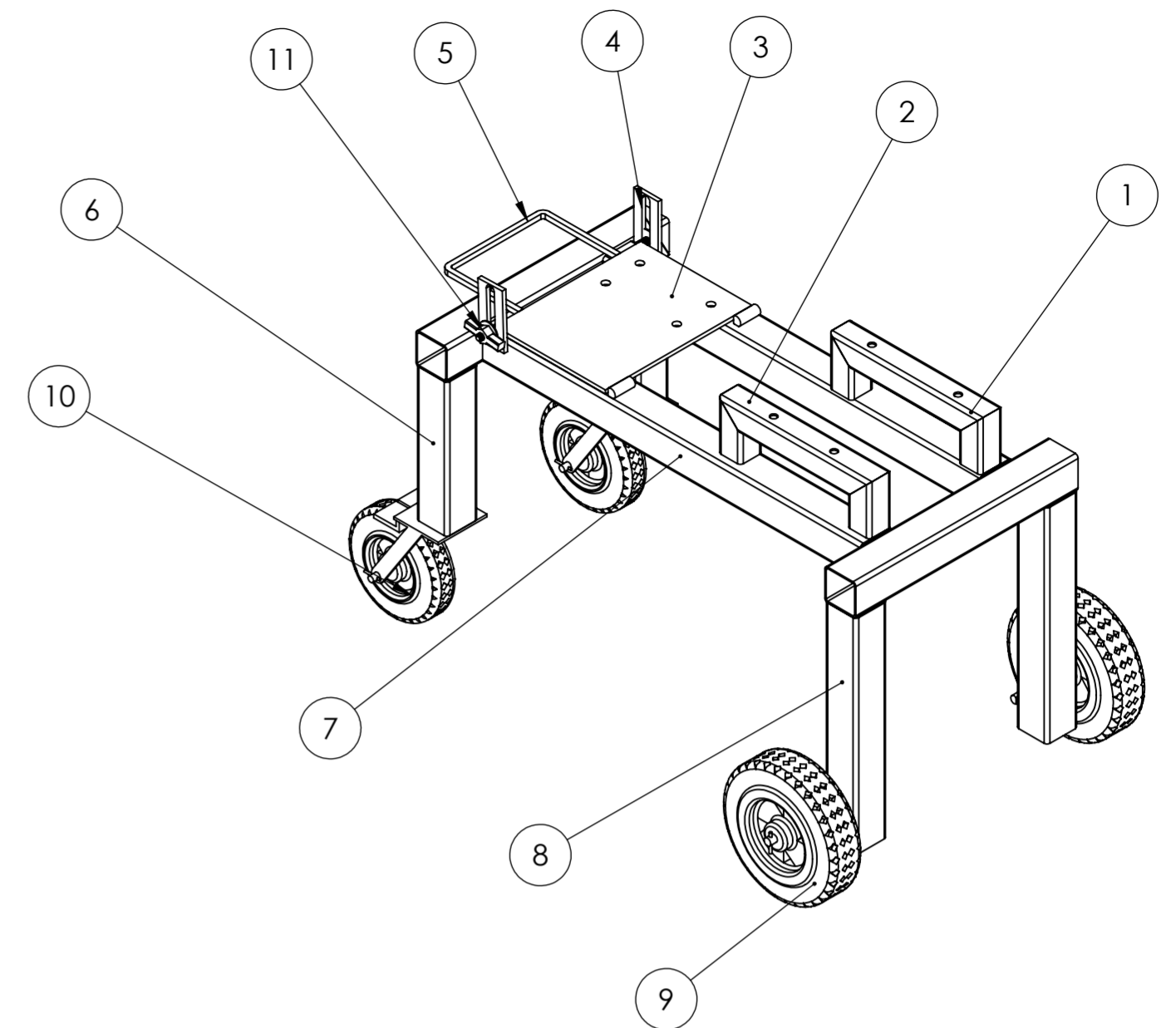
NOTA:

- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material:	ASTM A36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
				CONTRACUHILLA	

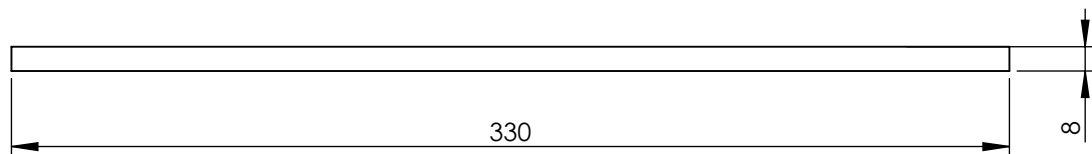
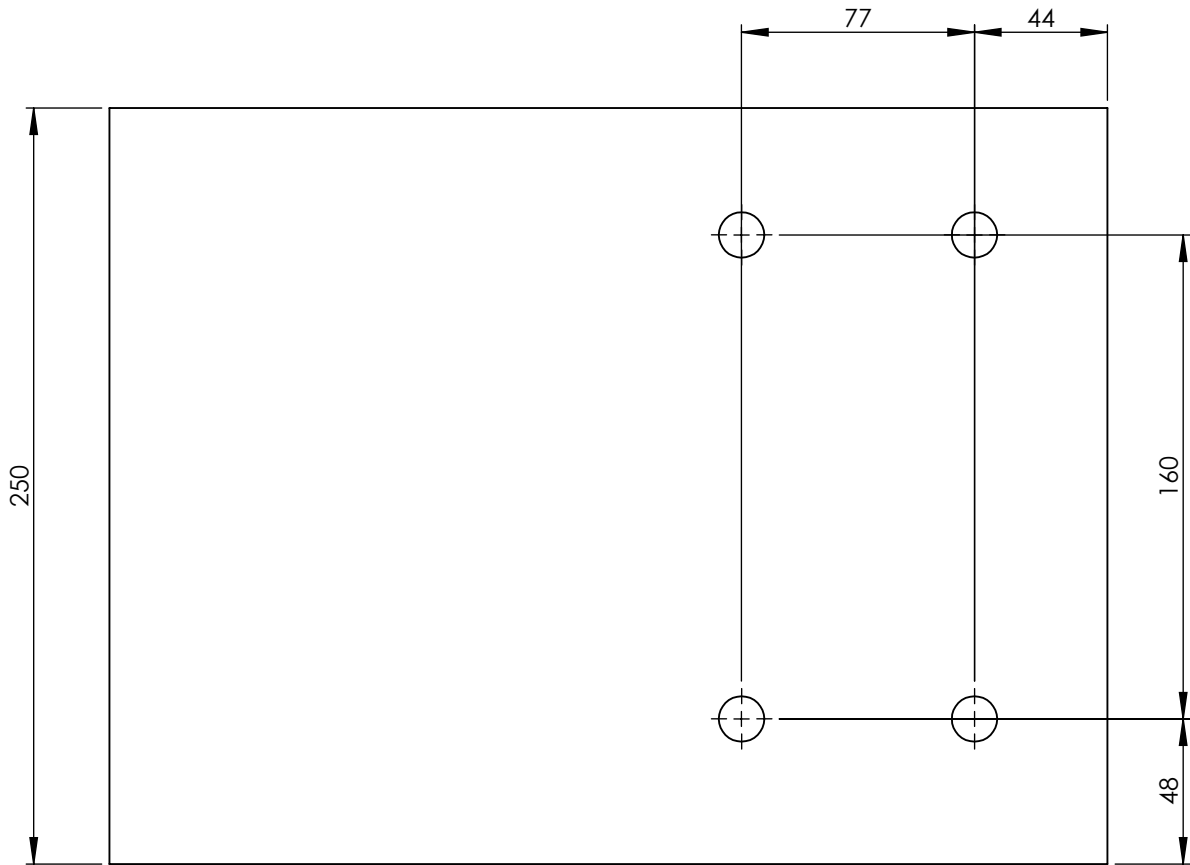
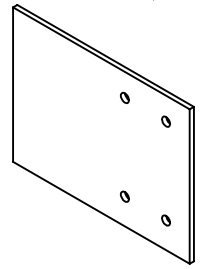


NOTA  
 Todas las aristas soldadas  
 Soldadura con electrodo 7018



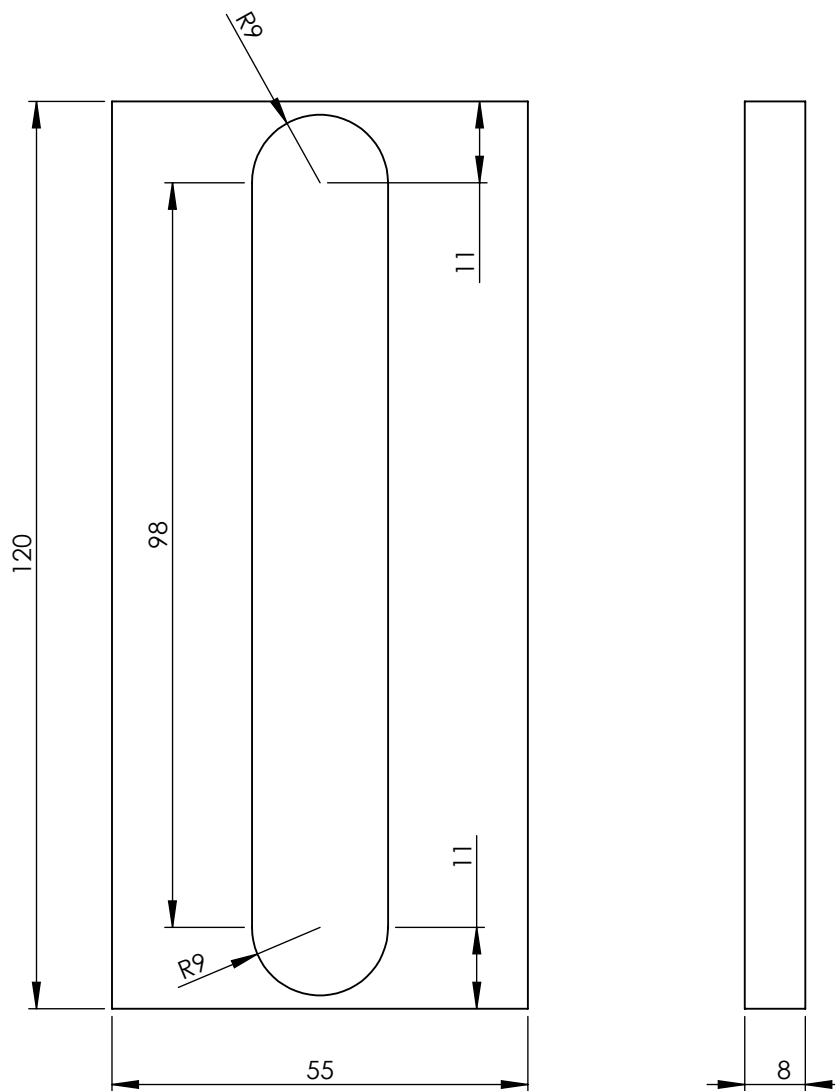
ELEMENTOS NORMALIZADOS						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
12	B03	Bisagra de doble acción Ø3/4"	N/A	2	ACERO	
11	A06	Terca mariposa M10	N/A	2		
10	A07	Garrucha en acero galvanizado Ø=8"	N/A	2		Soporte giratorio con freno
9	B07	Rueda neumática R.C.N 350-410-4/10"	N/A	2	Hierro con caucho	Rueda de caucho natural con rin de hierro
8	B07	Tubo cuadrado frontal	INEN 2415	2	ACERO	Tubo estructural cuadrado de 70 mm; L=460 mm
7	B07	Tubo cuadrado lateral	INEN 2415	2	ACERO	Tubo estructural cuadrado de 70 mm; L=850 mm
6	B06	Tubo cuadrado posterior	INEN 2415	2	ACERO	Tubo estructural cuadrado de 70 mm; L=300 mm
PLANOS DE TALLER						
5	A06	Barra de empuje	202	1	AISI 304	
4	A07	Placa guía	201	2	AISI 304	
3	A07	Placa soporte motor	200	1	AISI 304	
PLANOS DE SUBCONJUNTO						
2	B08	Soporte trituración izquierdo	.002-2	1		
1	B08	Soporte trituración derecho	.002-1	1		
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib. Sr. Freddy Castillo Dis. Sr. Freddy Castillo Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc		Escala: 1:5
ESTRUCTURA			EPN.T.002		Fecha: 14-10-21	

N8



- NOTA:
- Verificar perforaciones de acuerdo a especificaciones del motor
  - Eliminar aristas vivas
  - Acabado superficial para taladrado: N8

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Acero AISI 304	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			Fecha: 14-10-21	
SOPORTE TRITURACIÓN DERECHO		EPN.T.200		

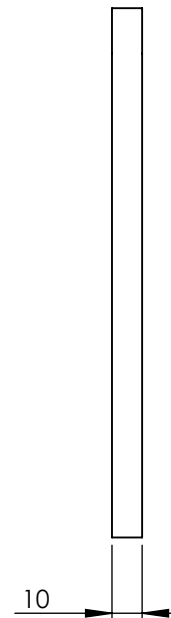
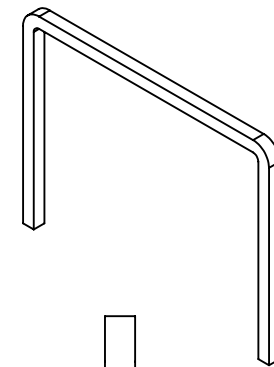
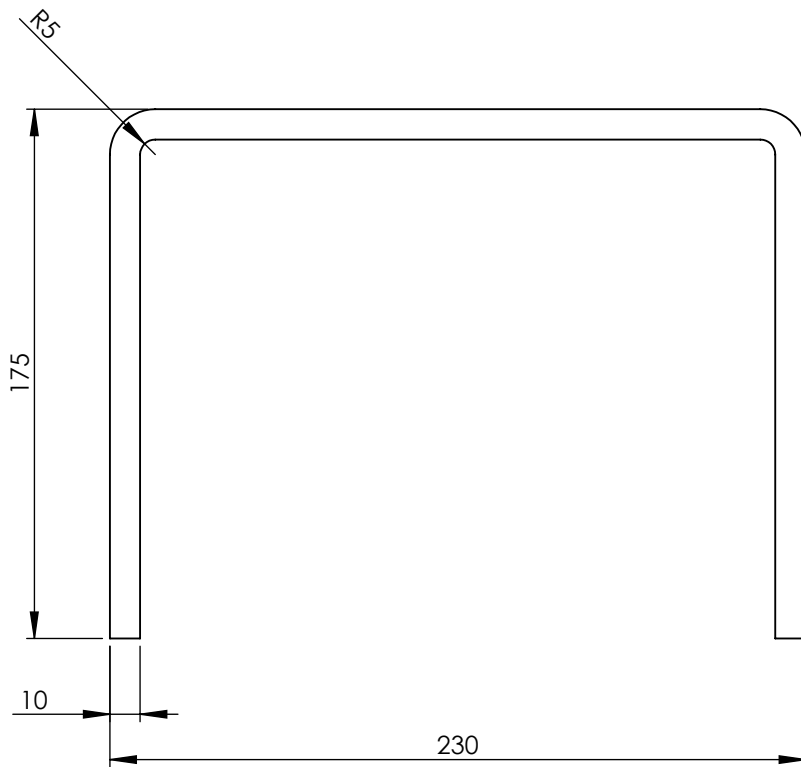


NOTA:

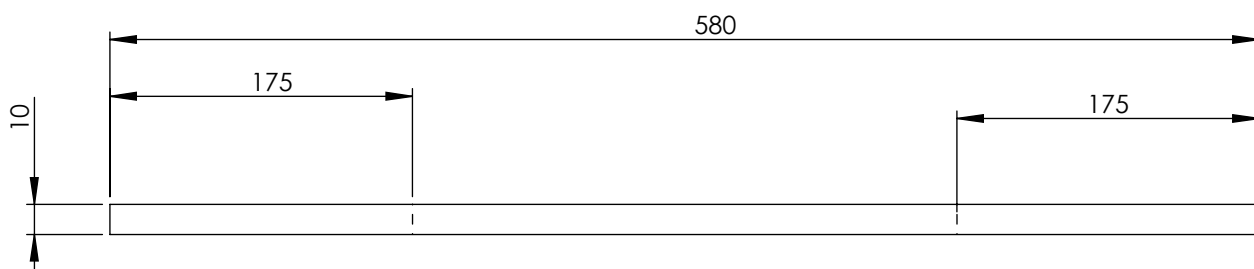
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material:	Acero AISI 304	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
PLACA GUÍA			EPN.T.201		Fecha: 14-10-21

N8



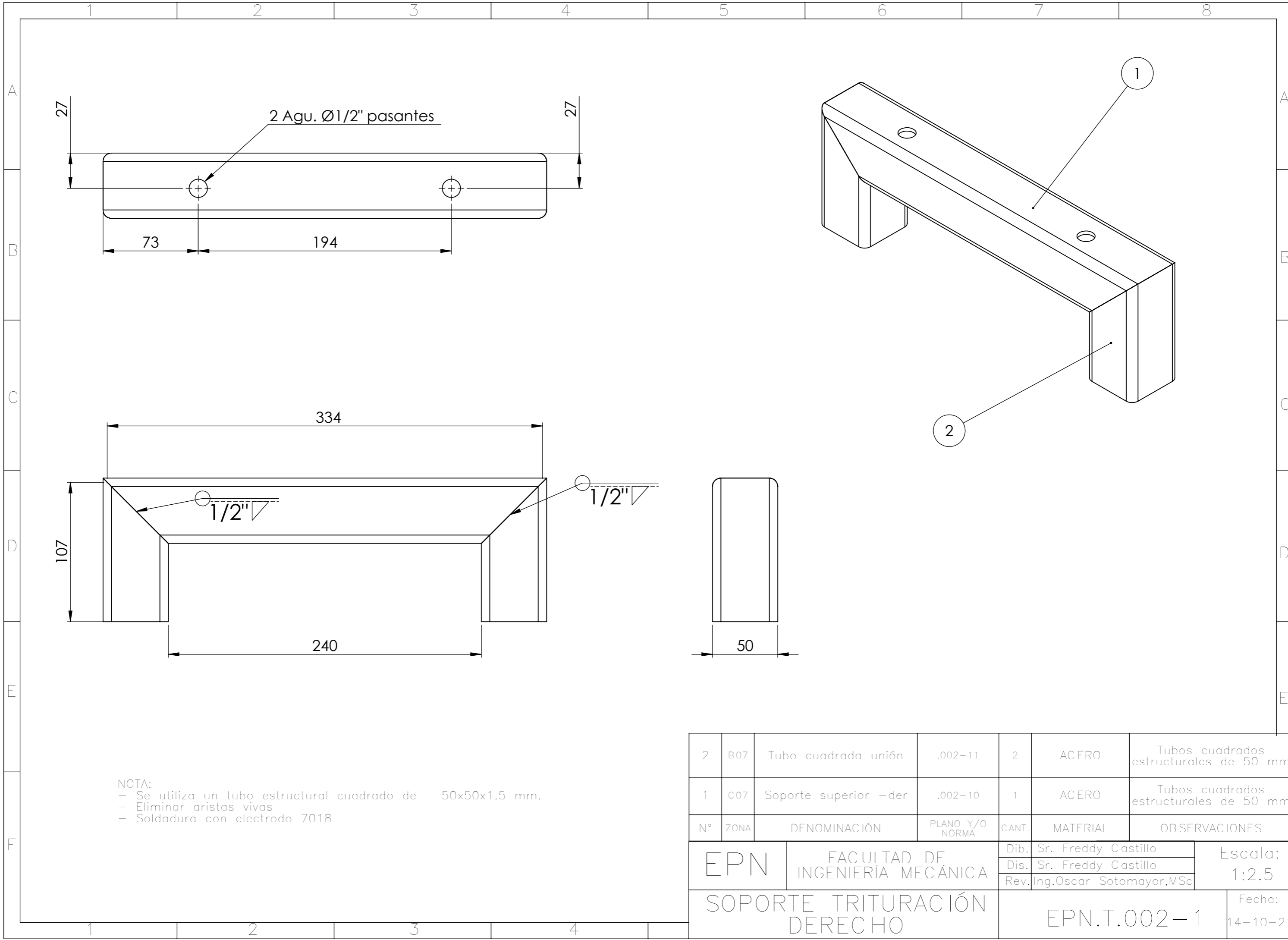
DESARROLLO



NOTA:

- Eliminar aristas vivas
- Acabado superficial N8

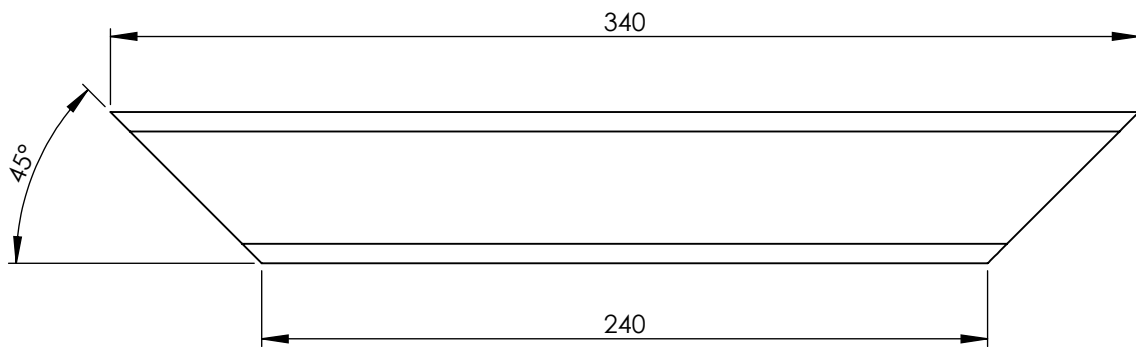
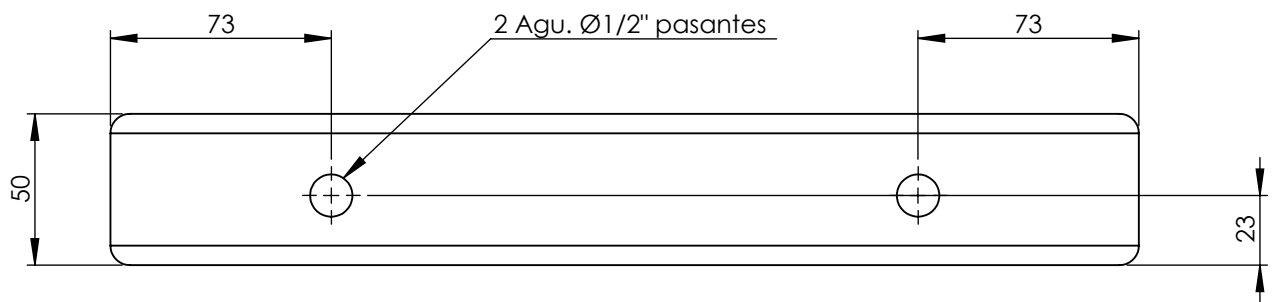
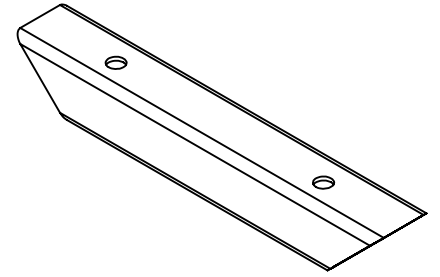
Trat. Térmico	Ninguno	<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Acero AISI 304	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
BARRA DE EMPUJE		EPN.T.202		Fecha: 14-10-21



NOTA:  
 - Se utiliza un tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.  
 - Eliminar aristas vivas  
 - Soldadura con electrodo 7018

2	B07	Tubo cuadrada unión	.002-11	2	ACERO	Tubos cuadrados estructurales de 50 mm
1	C07	Soporte superior -der	.002-10	1	ACERO	Tubos cuadrados estructurales de 50 mm
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib.	Sr. Freddy Castillo	
				Dis.	Sr. Freddy Castillo	
				Rev.	Ing. Oscar Sotomayor, MSc	
SOPORTE TRITURACIÓN DERECHO				EPN.T.002-1		Fecha: 14-10-21
						Escala: 1:2.5

N8

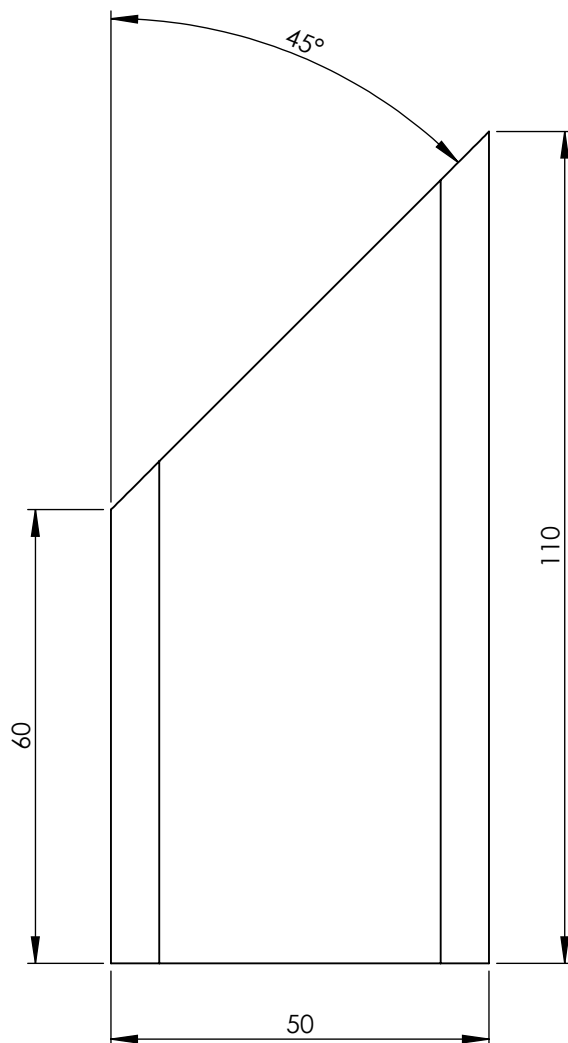
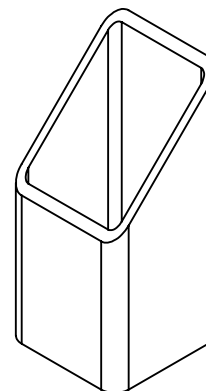


NOTA:

- Se utiliza un tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Acero ASTM 36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
SOPORTE SUPERIOR - DER		EPN.T.002.10		Fecha: 14-10-21

N8

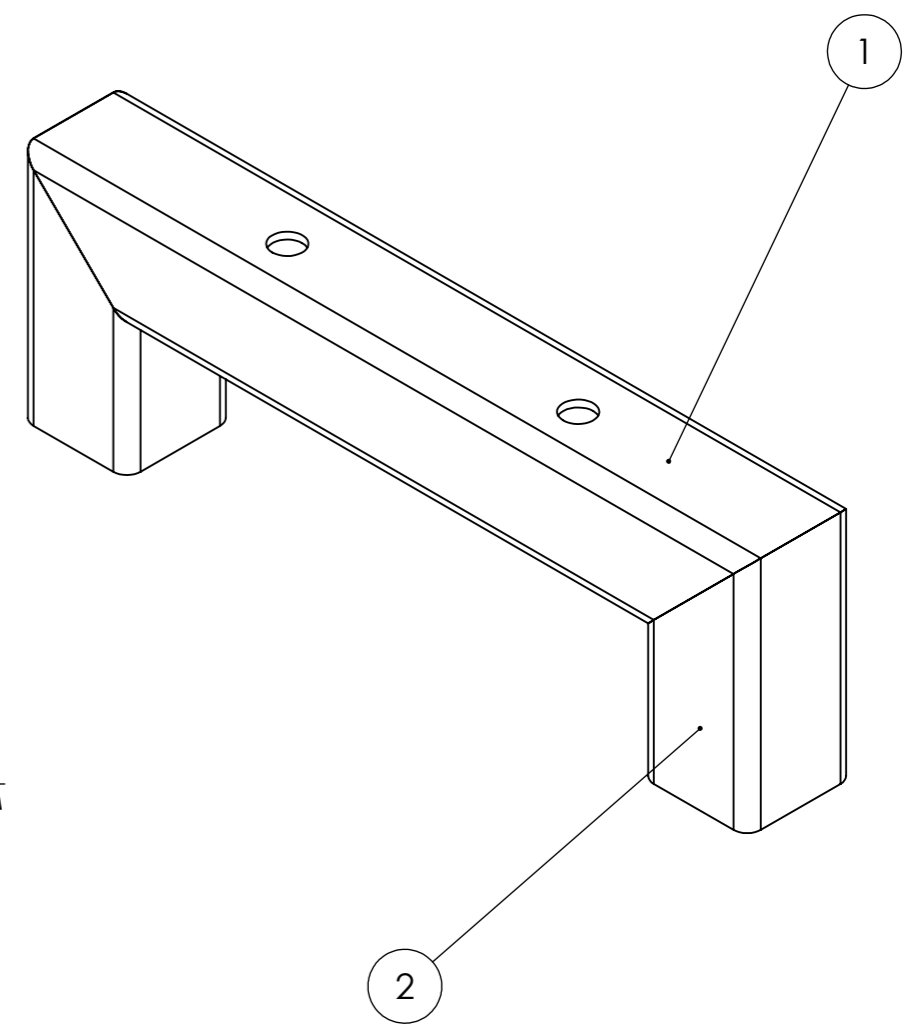
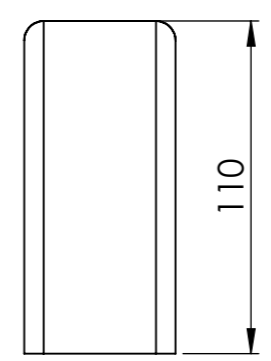
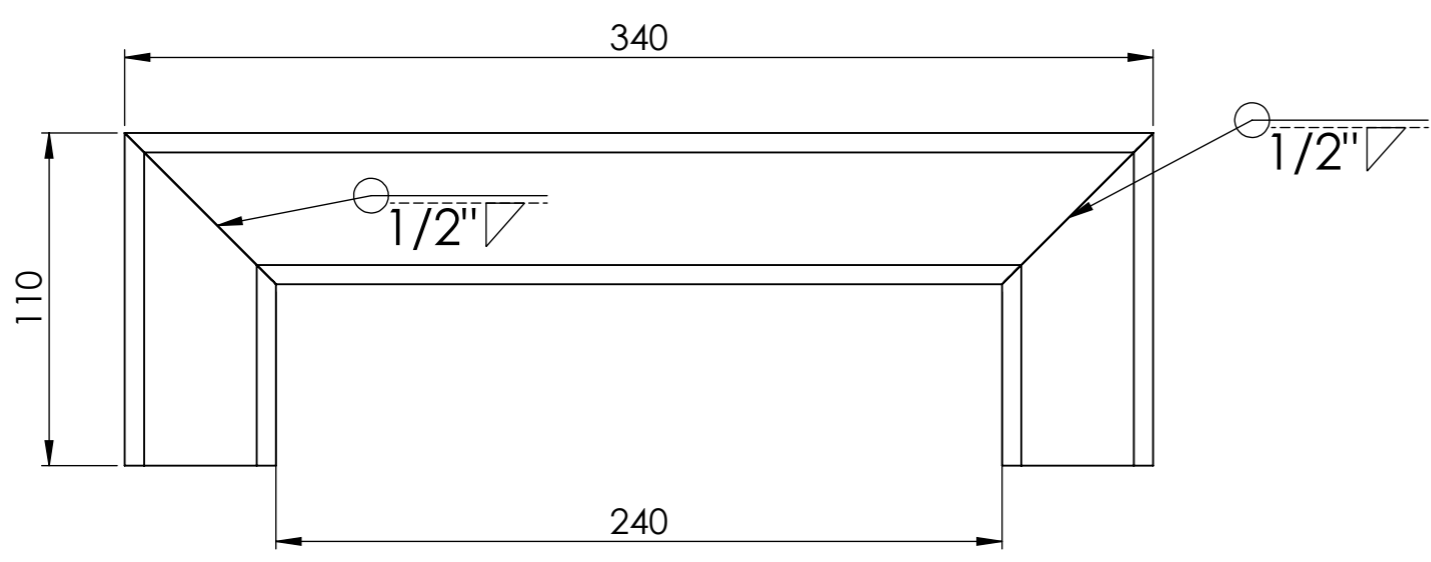
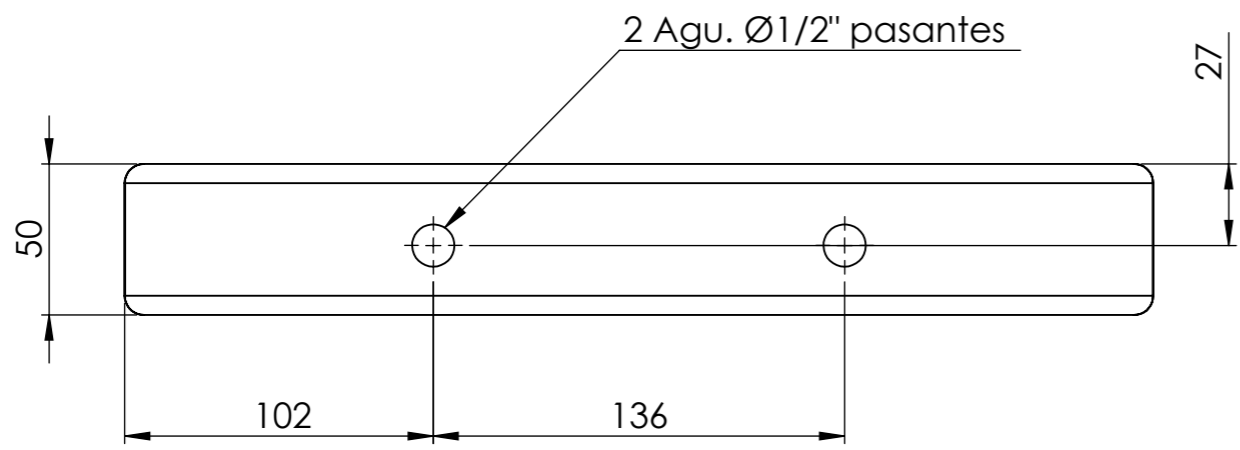


NOTA:

- Se utiliza un tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material:	Acero ASTM 36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
TUBO CUADRADO UNIÓN			EPN.T.002.11		Fecha: 14-10-21

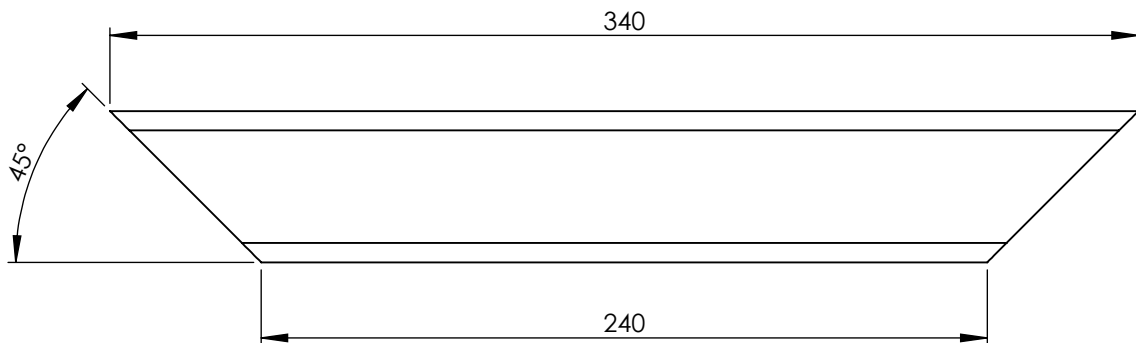
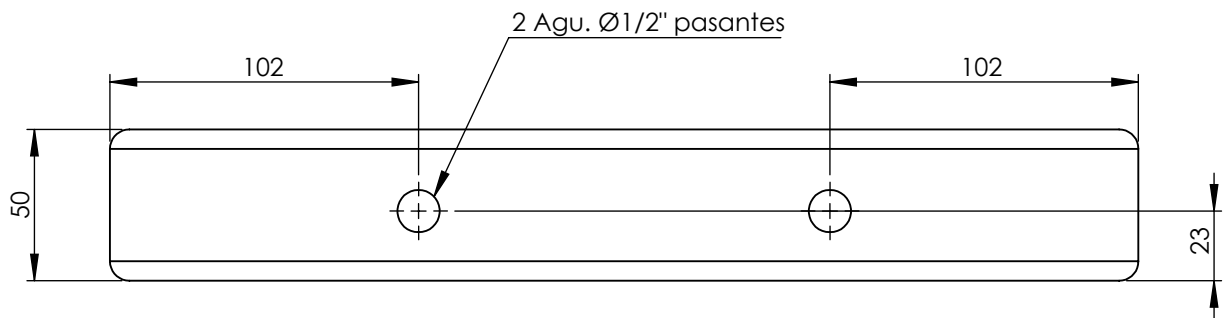
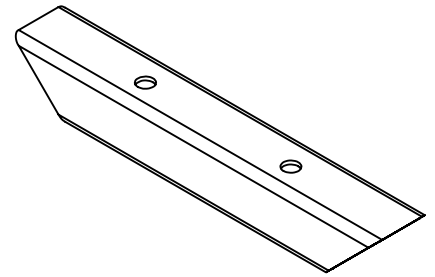




NOTA:  
 - Se utiliza un tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.  
 - Eliminar aristas vivas  
 - Soldadura con electrodo 7018

2	B07	Tubo cuadrada unión	.002-11	2	ACERO	Tubos cuadrados estructurales de 50 mm
1	C07	Soporte superior -izq	.002-20	1	ACERO	Tubos cuadrados estructurales de 50 mm
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib. Sr. Freddy Castillo		Escala: 1:2.5
				Dis. Sr. Freddy Castillo		
				Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc		
SOPORTE TRITURACIÓN IZQUIERDO				EPN.T.002-2		Fecha: 14-10-21

N8

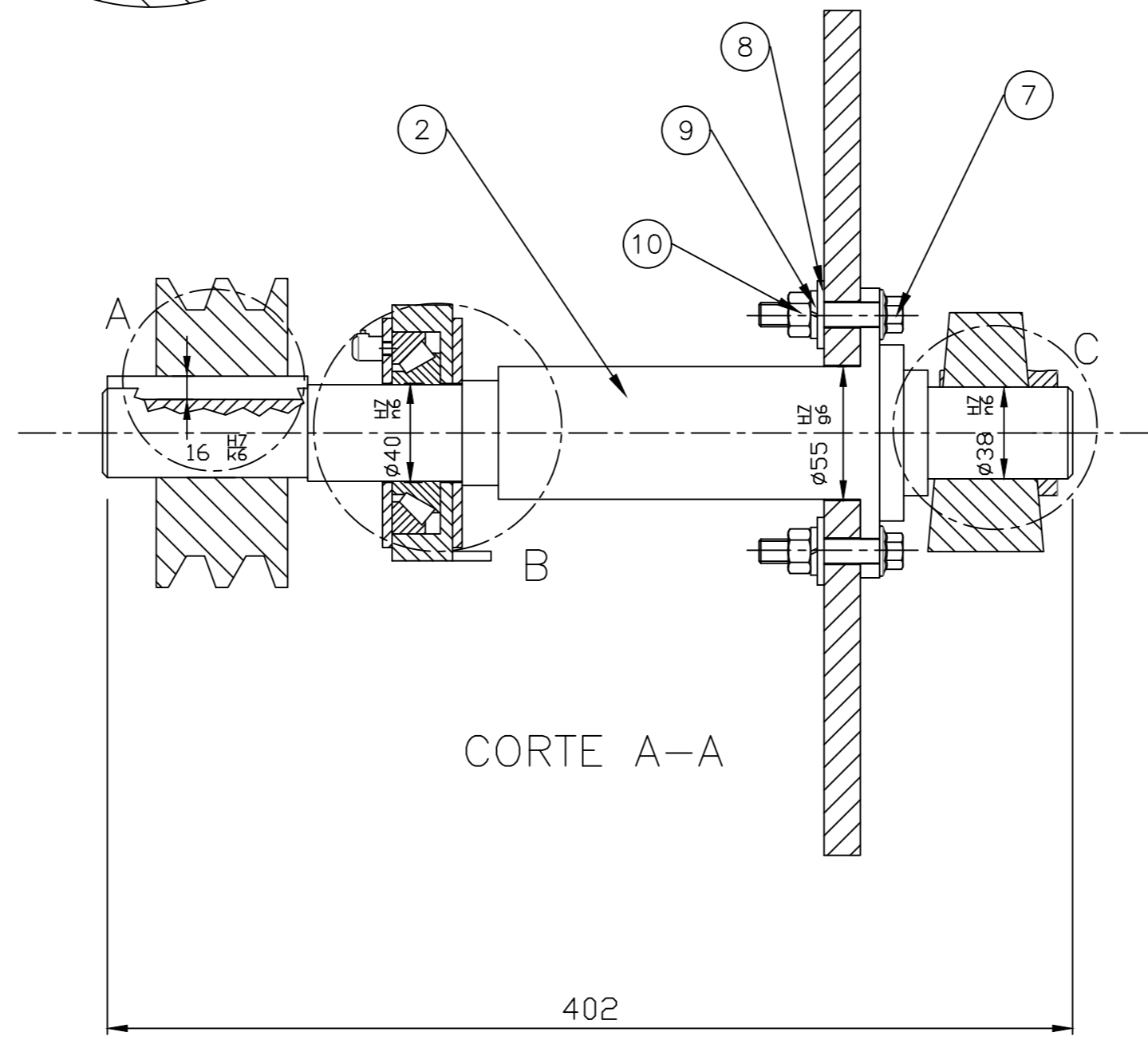
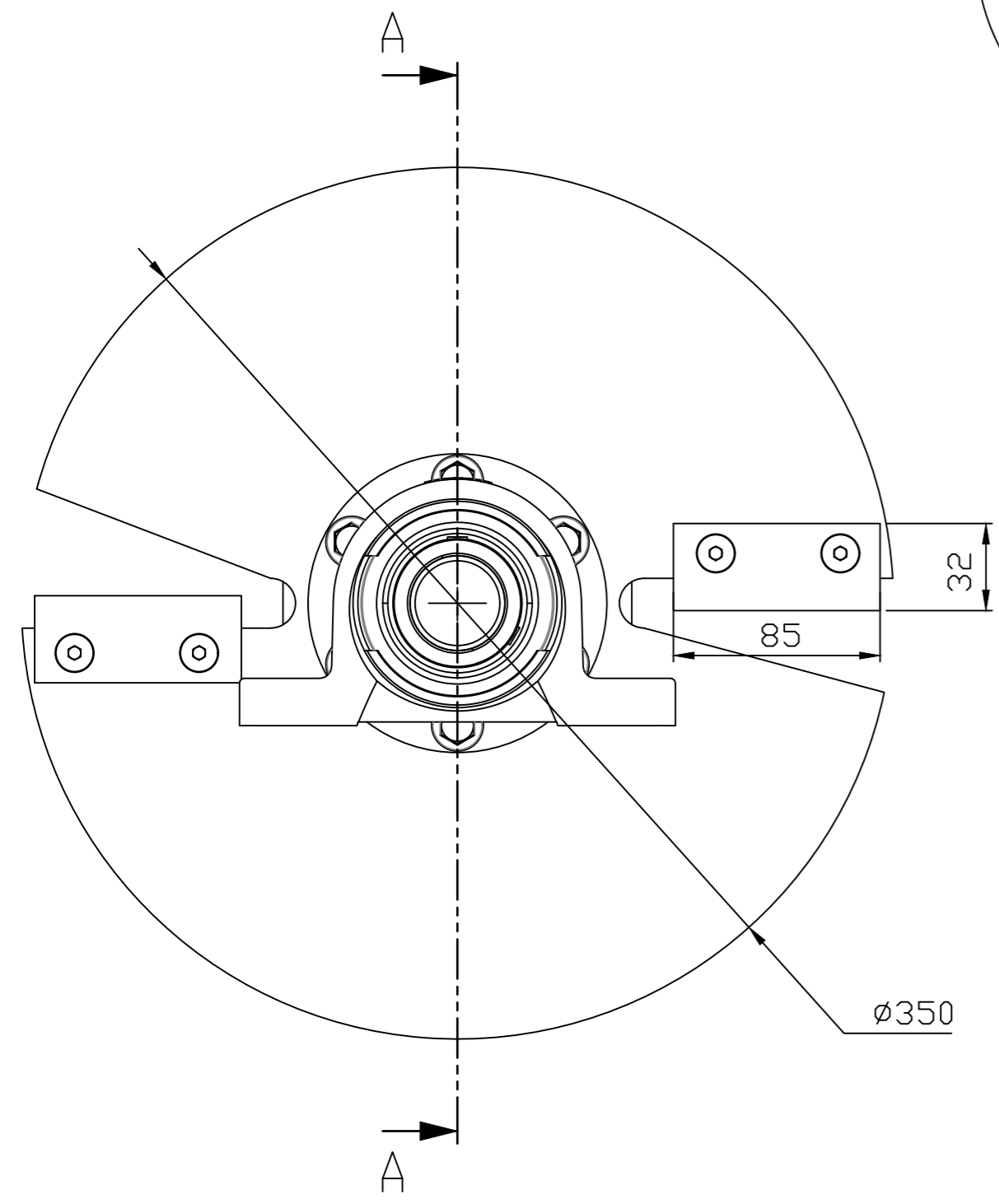
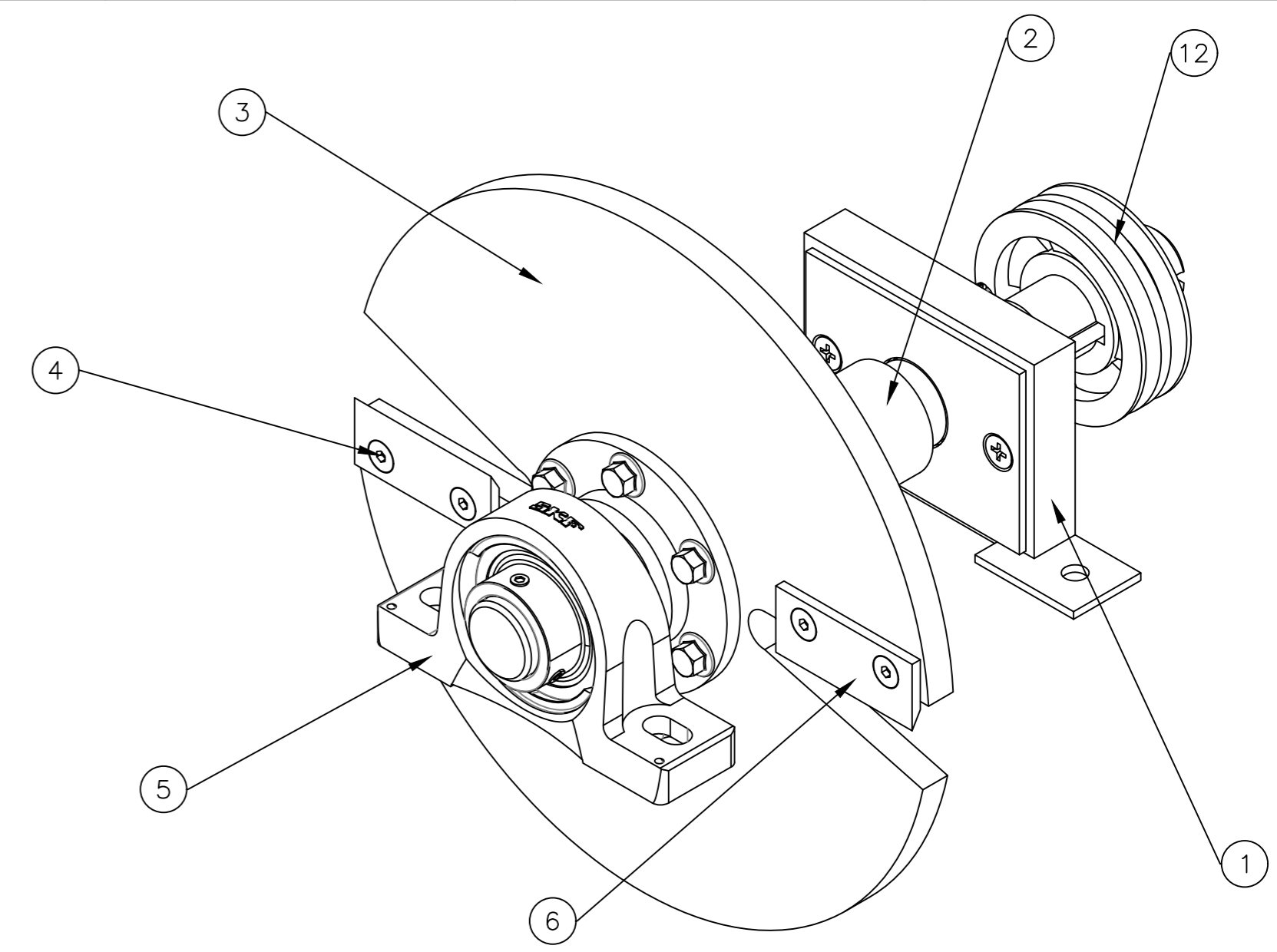
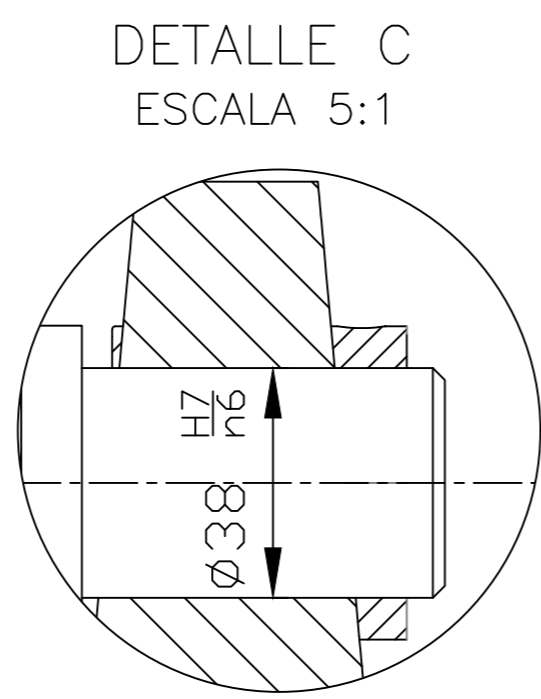
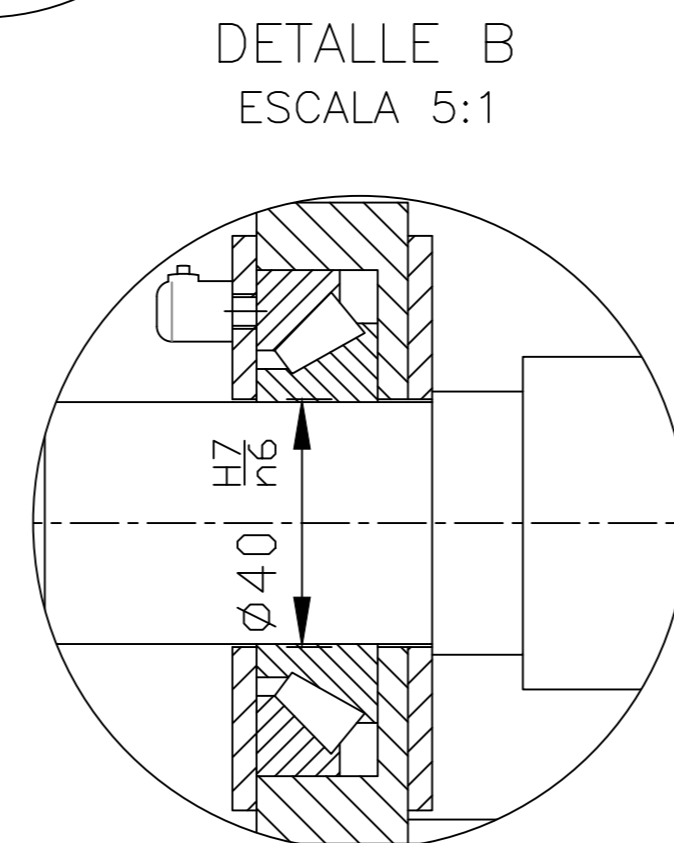
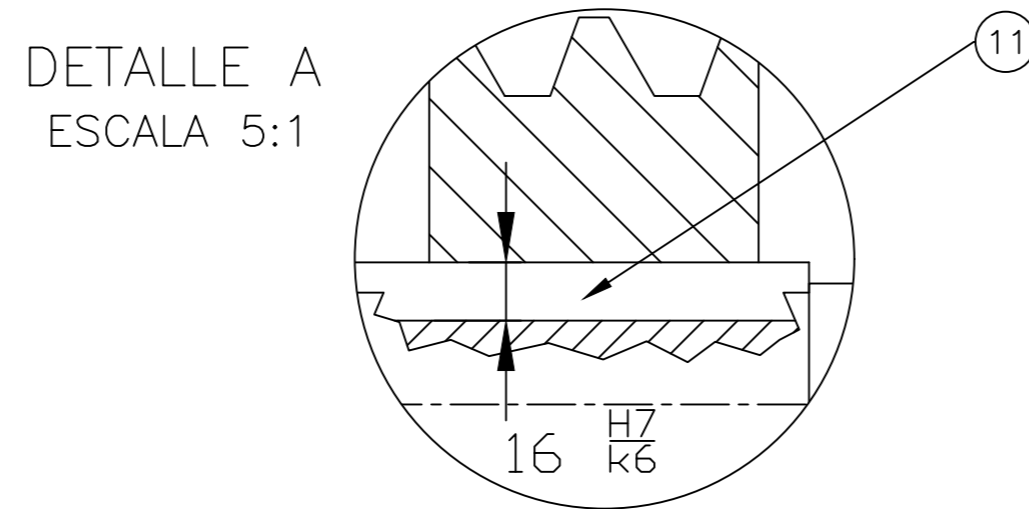


NOTA:

- Se utiliza un tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Acero ASTM 36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			Fecha: 14-10-21	
SOPORTE SUPERIOR - IZQ		EPN.T.002-20		

TABLA DE AJUSTES			
VALOR	AJUSTE	LÍMITES	
		MÁX.	MÍN.
16 $\frac{H7}{k6}$	APRIETE	0.017	-0.012
$\phi 40 \frac{H7}{n6}$	APRIETE	0.008	-0.033
$\phi 55 \frac{H7}{g6}$	JUEGO	0.059	0.010
$\phi 38 \frac{H7}{n6}$	APRIETE	0.008	-0.033



ELEMENTOS NORMALIZADOS					
12	A08	Polea de aluminio	N/A	1	ALUMINIO $\phi 4"$
11	B03	Cuña tipo A	DIN 6885	1	ACERO 16x50 mm
10	D05	Tuerca hexagonal M10	ASTM A325	6	ACERO
9	D05	Arandelas de presión	ASTM A325	6	ACERO $\phi 7/16"$
8	D05	Arandelas planas	ASTM A325	6	ACERO $\phi 7/16"$
7	D05	Pernos de brida cabeza hex.	AISI 304	6	ACERO M10x1.5x50 mm
6	C07	Cuchillas de corte para madera	N/A	2	85x32x6 mm
5	C06	Chumac. FBJ Piso 208-24 1 1/2"	N/A	1	
4	B06	Perno allen C/avellanada	AISI 304	4	ACERO M8X1.25X25 mm

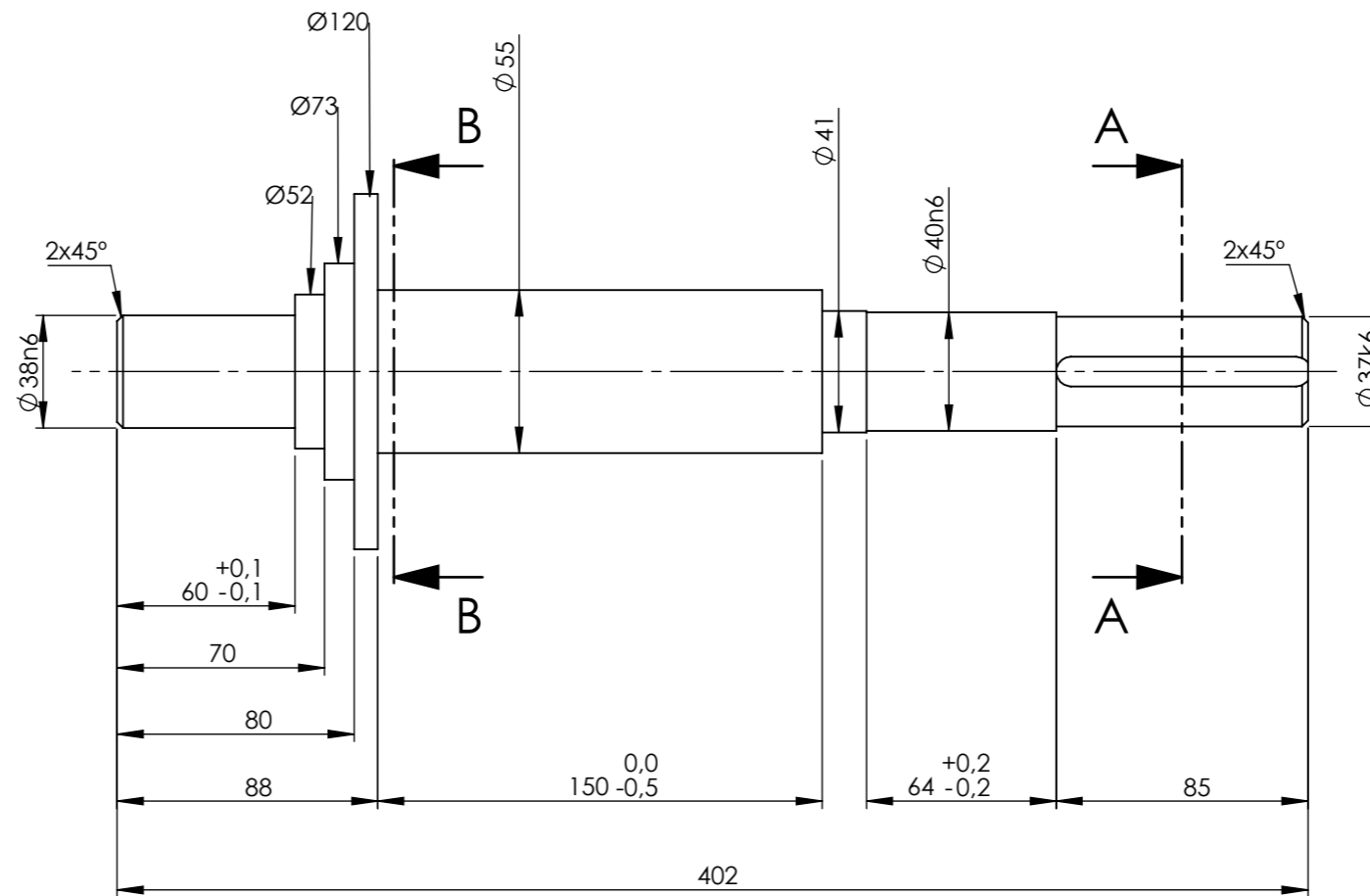
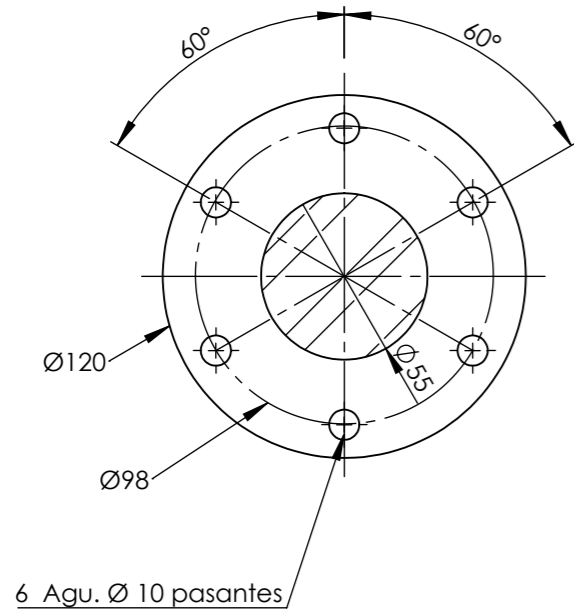
PLANOS DE TALLER					
3	B06	Disco de trituración	301	1	AISI 1010
2	A07	Eje principal	300	1	AISI 1045

PLANOS DE SUBCONJUNTO						
1	B07	Chumacera cónica	.003-1	1		
Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/D NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

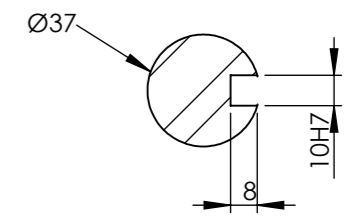
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Sr. Freddy Castillo	Escala: 1:2.5
		Dis. Sr. Freddy Castillo	
TRITURACIÓN		Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc	Fecha: 14-10-21

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS  
 POTENCIA RECIBIDA DE DISEÑO MAX. 6,5 Hp  
 RENDIMIENTO: 63 Kg/h

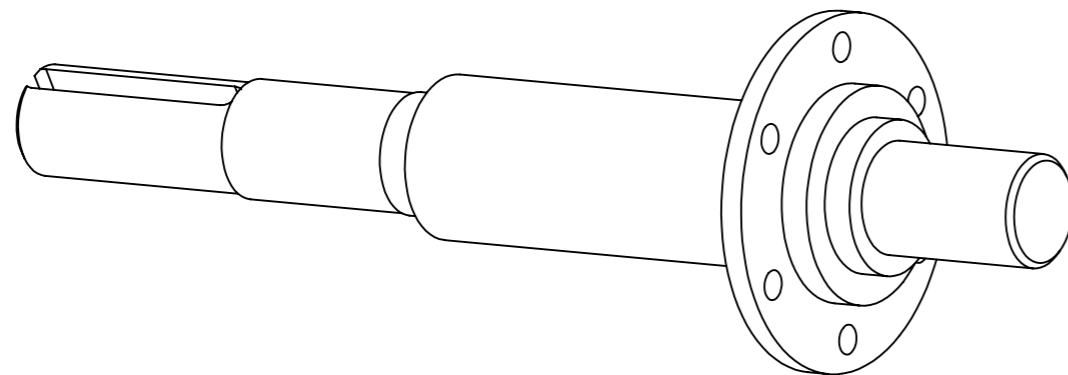
CORTE B-B  
ESCALA 1:2.5



CORTE A-A  
ESCALA 1:2.5



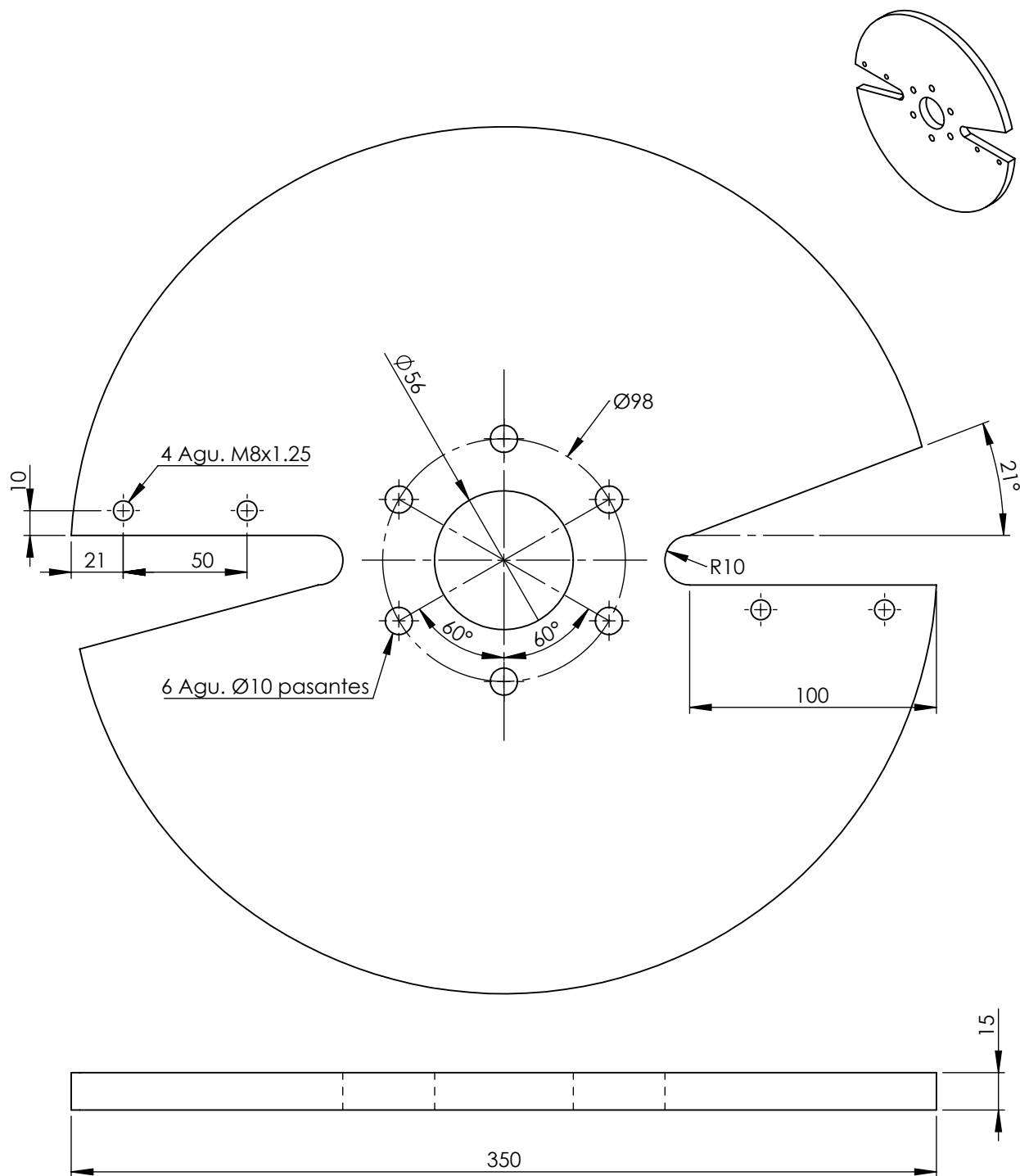
VALOR	LIMITES
Ø38 n6	38.033
	38.017
Ø37 k6	37.018
	37.002
Ø40 n6	40.033
	40.017
10 H7	10.015
	10.000



NOTA:  
 - Eliminar aristas vivas  
 - Acabado superficial N8  
 - Radio de acuerdo r=0.5

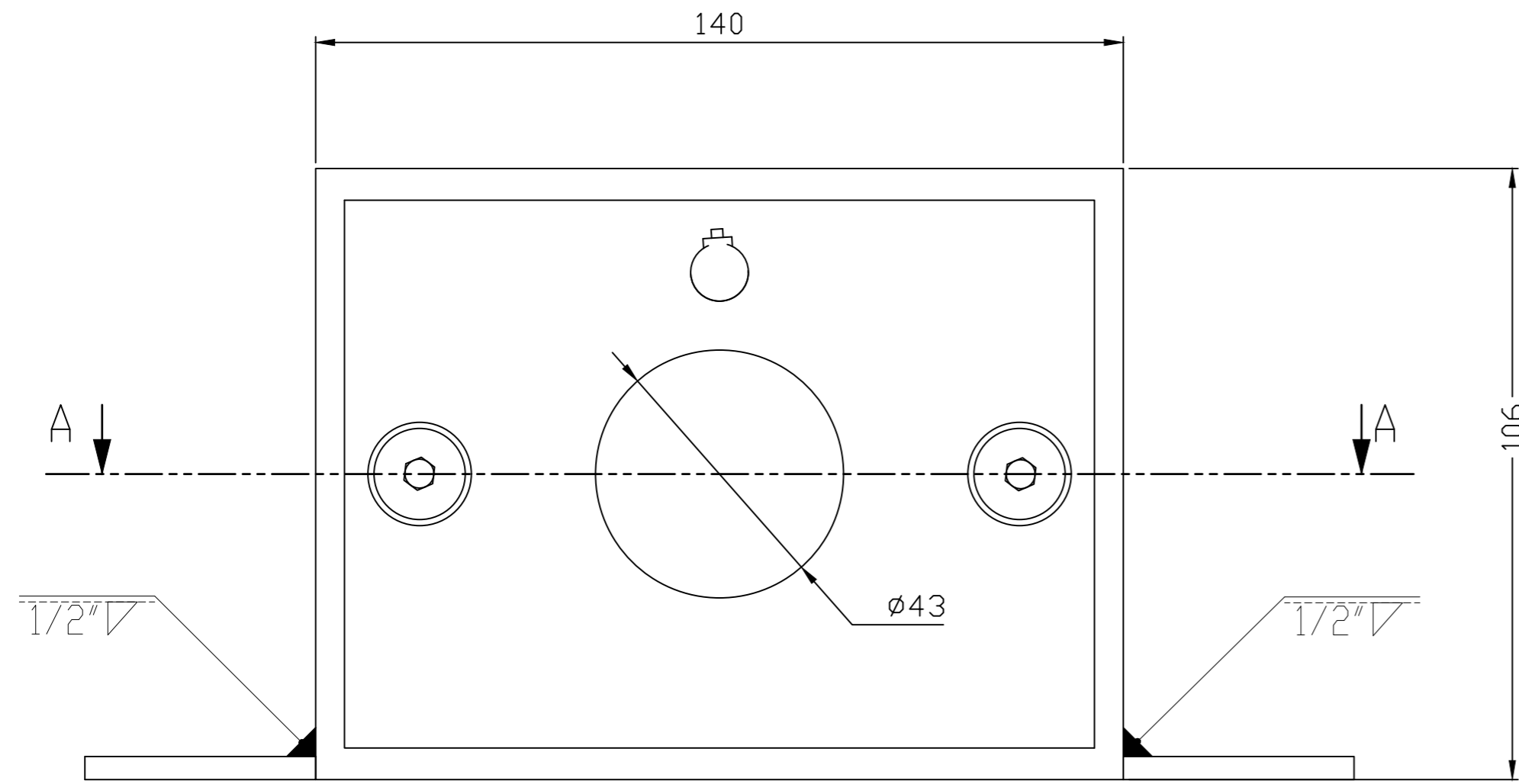
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo	
Material	Acero AISI 1045	Tol.Gral. ±0,1	Escala:	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			1:2.5	Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			EJE PRINCIPAL		EPN.T.300
				Fecha:	14-10-21

N8

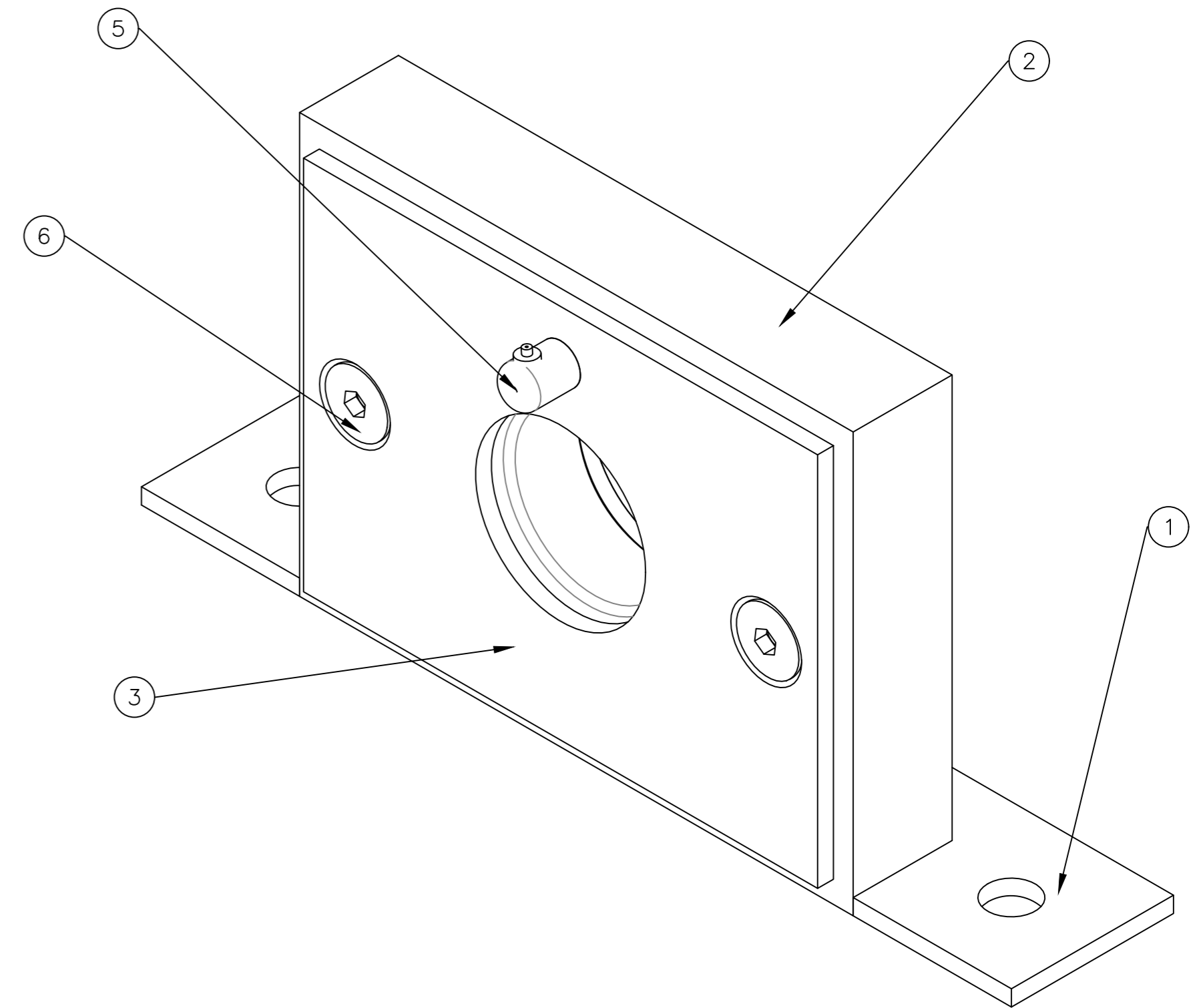
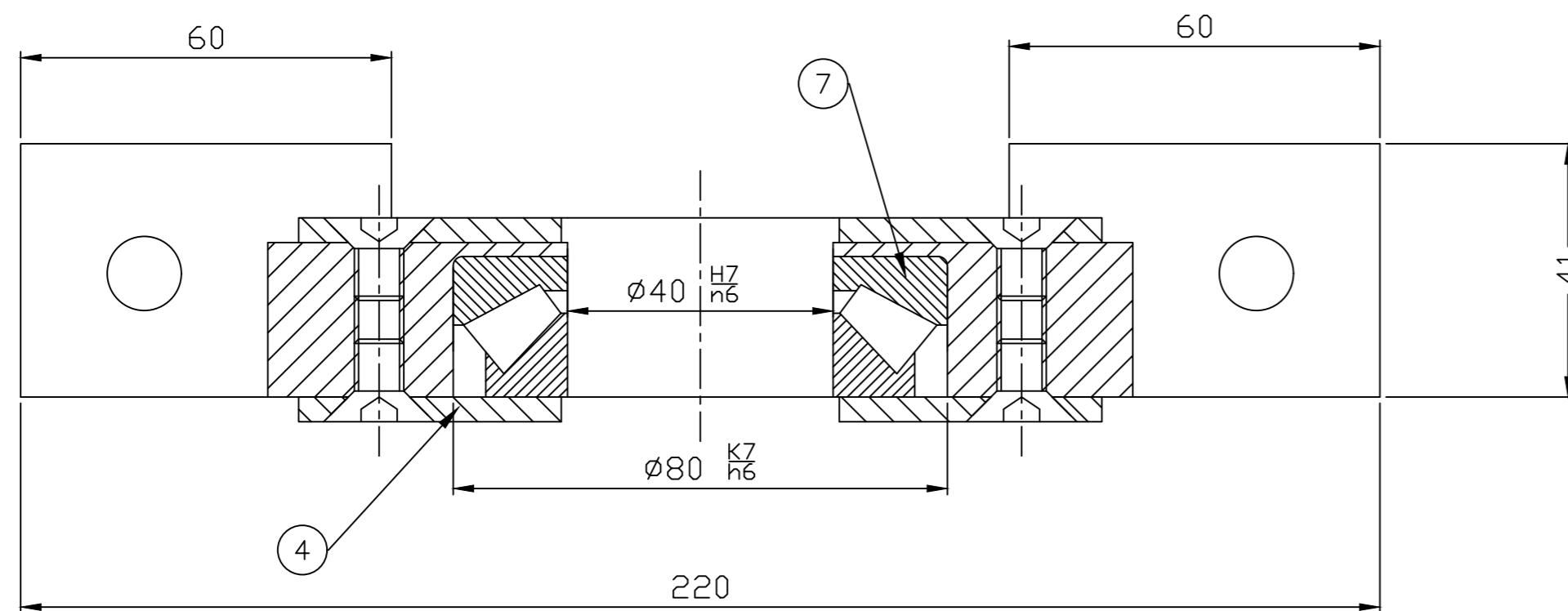


NOTA:  
 - Eliminar aristas vivas  
 - Acabado superficial N8

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Acero AISI 1010	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo	
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc	
			DISCO DE TRITURACIÓN		EPN.T.301



CORTE A-A

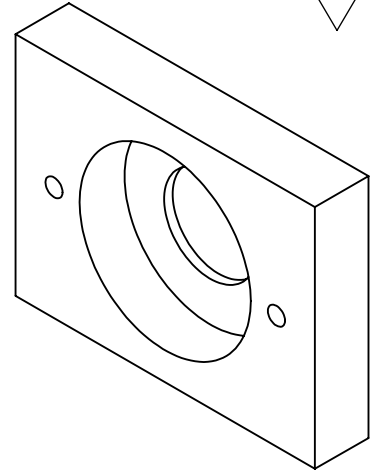


NOTA:  
Realizar perforaciones, traslapadas la tapas con la base soporte.  
Soldadura con electrodo 7018.

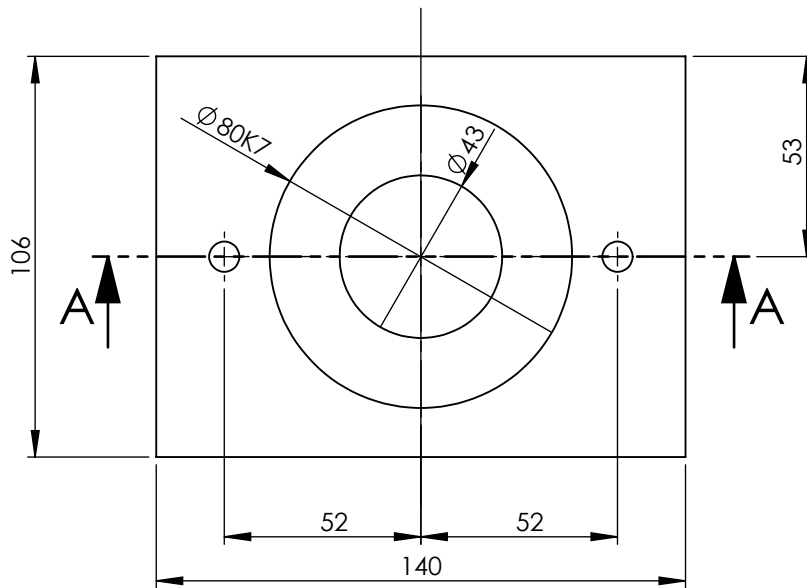
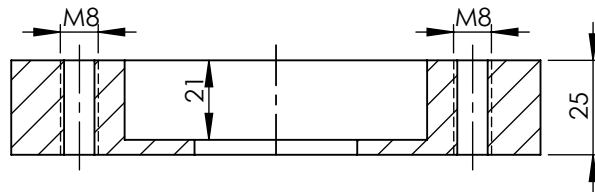
TABLA DE AJUSTES				
VALOR	AJUSTE	LÍMITES		
		MÁX.	MÍN.	
$\varnothing 40 \frac{H7}{h6}$	APRIETE	0.008	-0.033	
$\varnothing 80 \frac{K7}{h6}$	APRIETE	0.028	-0.021	

ELEMENTOS NORMALIZADOS						
7	D02	Rodamiento cónico	N/A	1		$\varnothing 40$ mm
6	A06	Perno allen c/avellanada	ISO 10642	1	AISI 1010	M8x15mm
5	A07	Grasero curvo $\varnothing 7/16"$	N/A	1		
PLANOS DE TALLER						
4	E02	Tapa de unión simple	.003-13	1	AISI 304	
3	B07	Tapa unión + grasero	.003-12	1	AISI 304	
2	A07	Placa soporte	.003-11	1	AISI 304	
1	C08	Placa de fijación	.003-10	1	AISI 304	
Nº	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/D NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib. Sr. Freddy Castillo	Escala: 1:1	
				Dis. Sr. Freddy Castillo		
				Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc		
CHUMACERA CÓNICA				EPN.T.003-1		Fecha: 14-10-21

N8



CORTE A-A



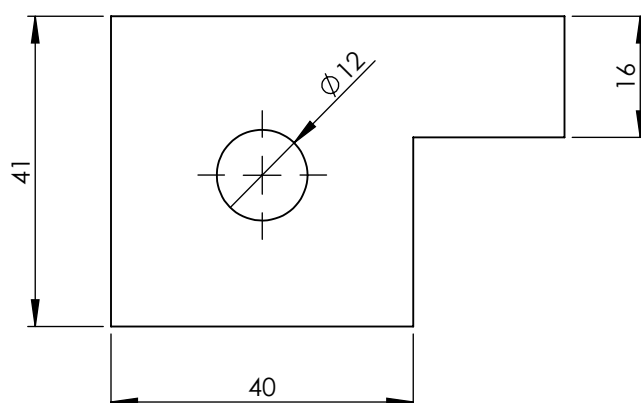
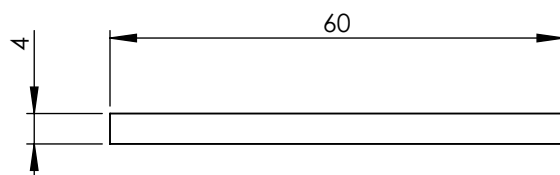
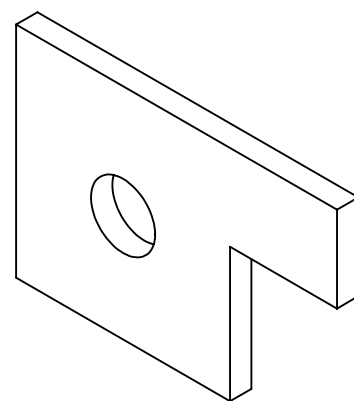
NOTA:

- Se utiliza una placa de  $e=25$  mm
- Eliminar aristas vivas

Ø80 K7	80.009
	79.979

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Placa acero $e=25$ mm	Tol.Gral. $\pm 0,1$	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			PLACA SOPORTE	
EPN.T.003-11		Fecha: 14-10-21		

N8



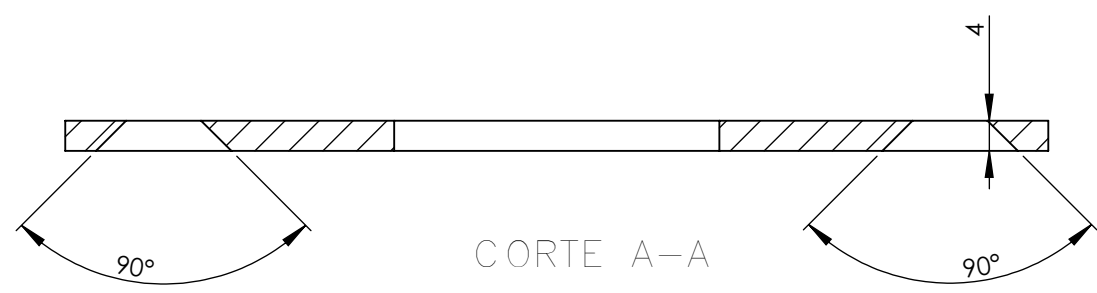
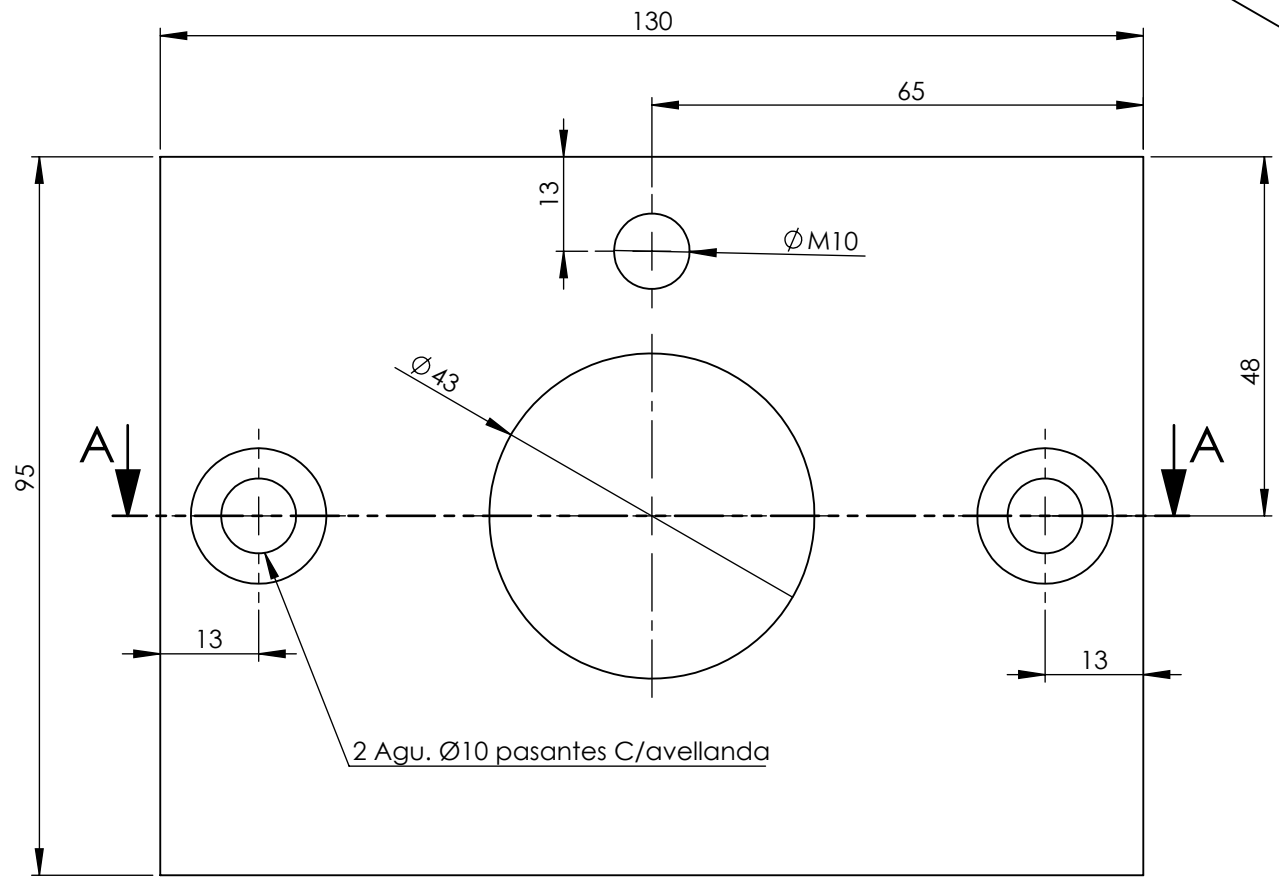
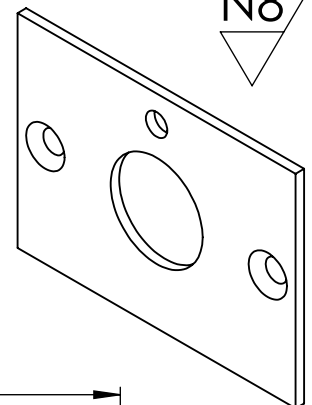
NOTA:

- Se utiliza una placa de  $e=4$  mm
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Placa acero $e=4$ mm	Tol.Gral. $\pm 0,1$	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			PLACA DE FIJACIÓN	
EPN.T.003-10		Fecha: 14-10-21		



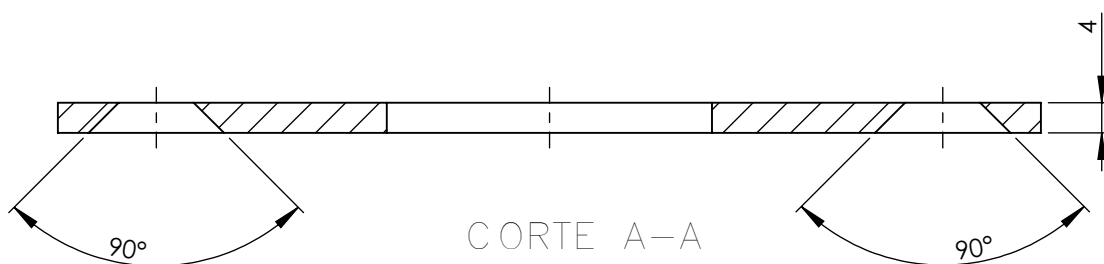
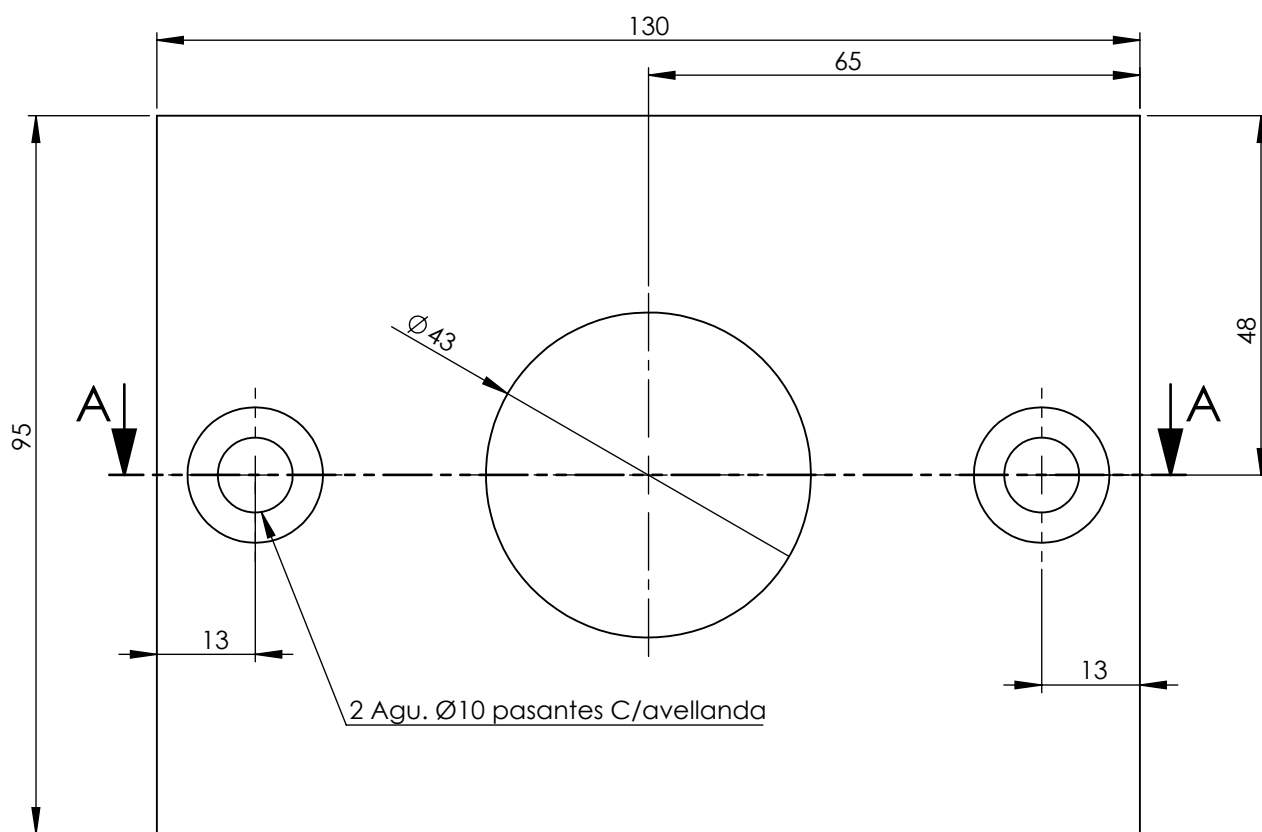
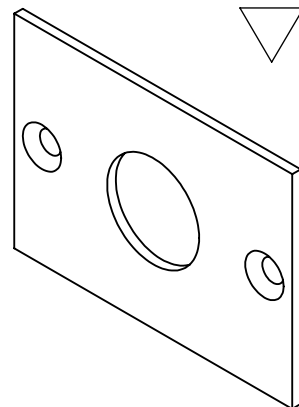
N8



NOTA:  
 - Se utiliza una placa de e=4 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Placa acero e=4 mm	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo	
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc	
			TAPA UNIÓN + GRASERO		EPN.T.003-12

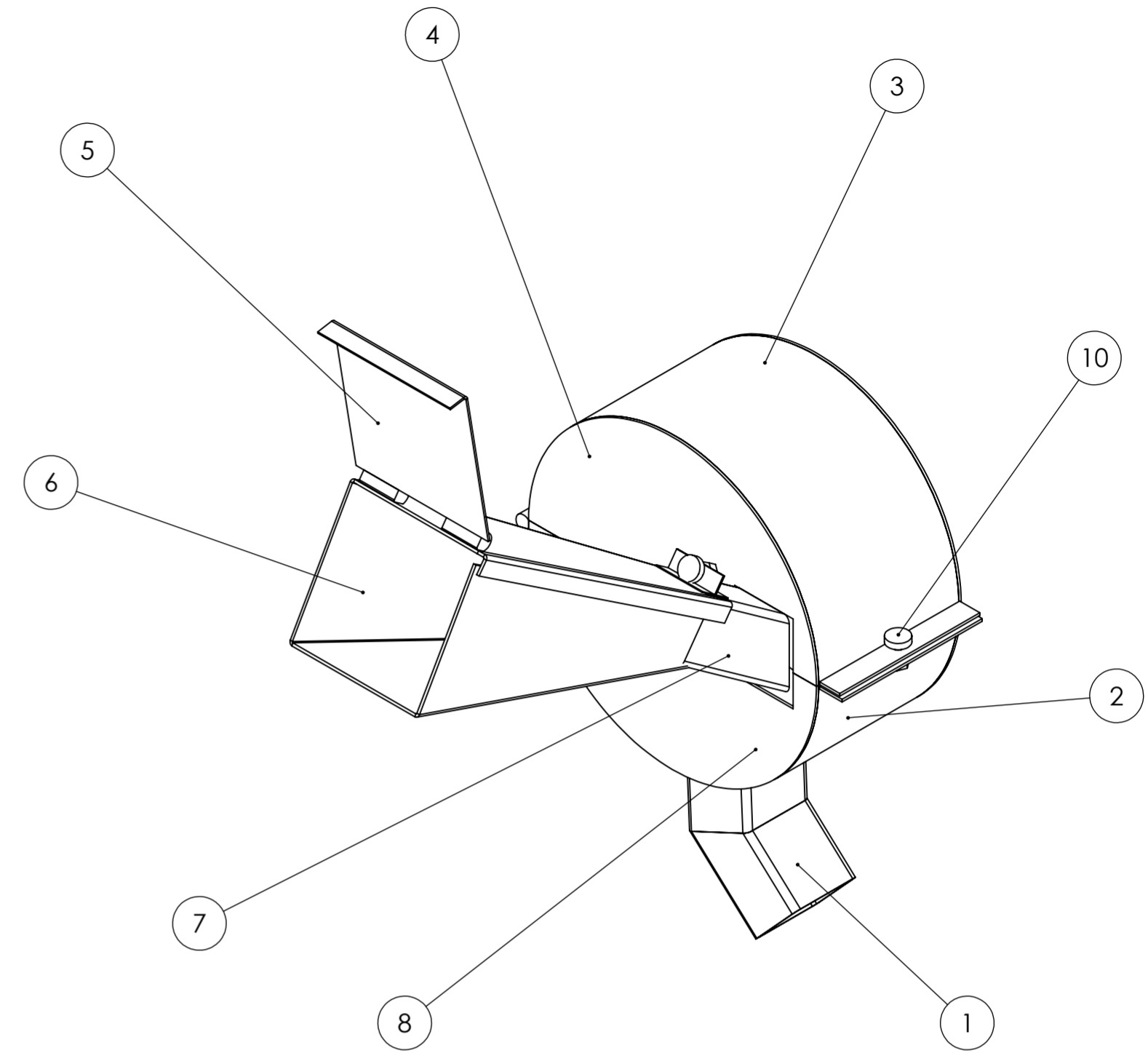
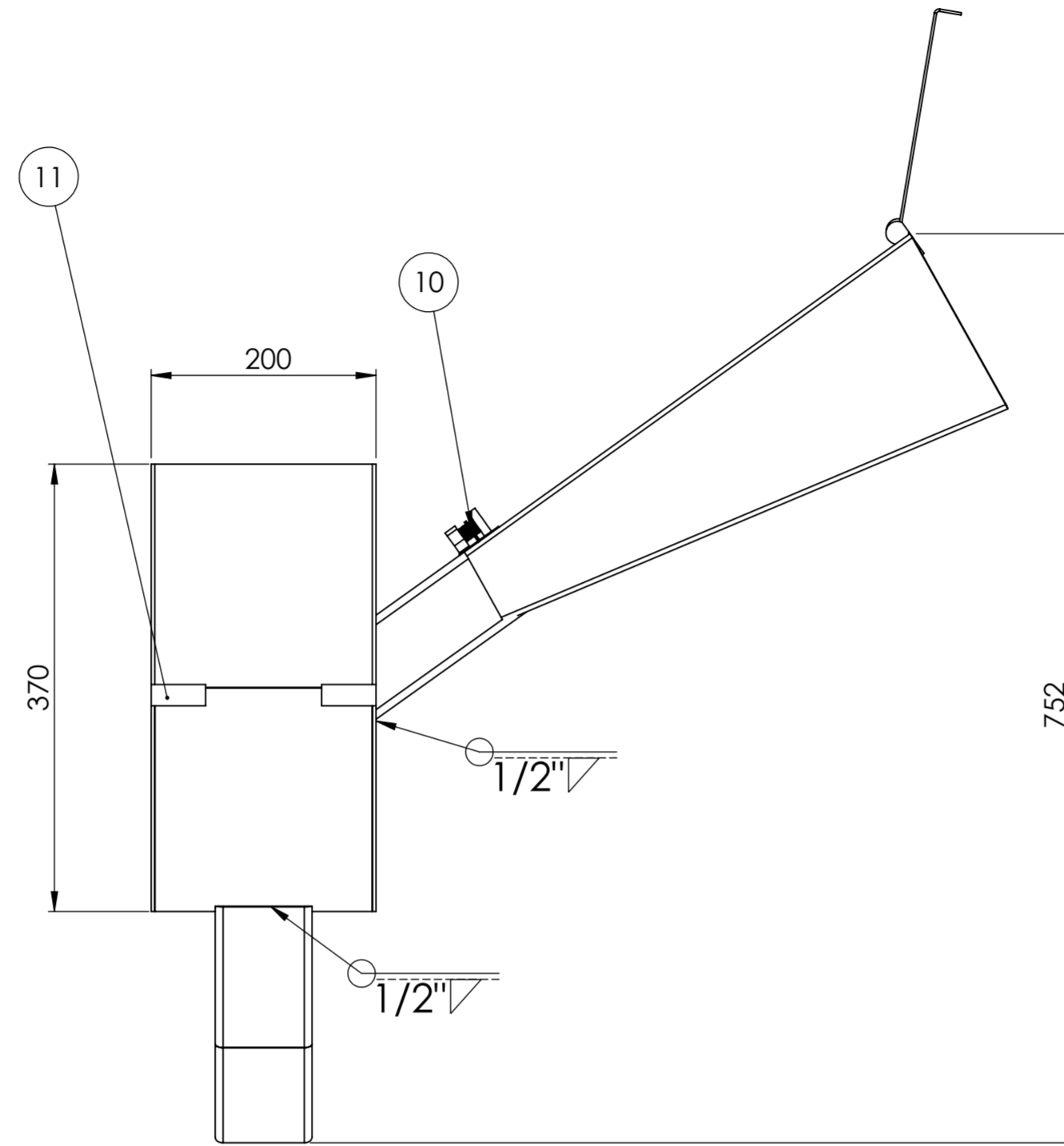
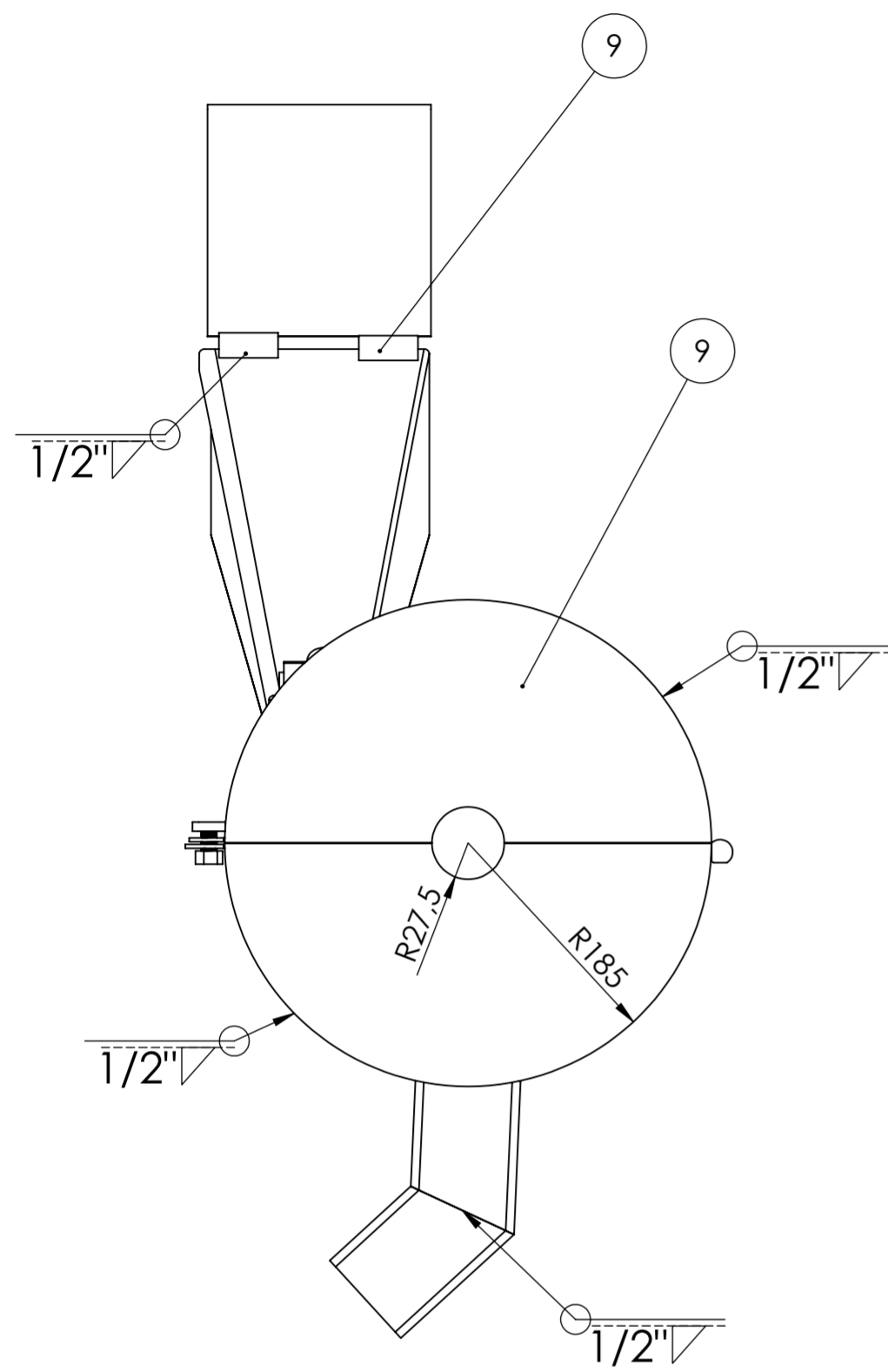
N8



NOTA:

- Se utiliza una placa de  $e=4$  mm
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: Placa acero $e=4$ mm	Tol.Gral. $\pm 0,1$	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			TAPA DE UNIÓN SIMPLE	



NOTA

\*En la soldadura de Los semicirculos con la tapa superior e inferior realizar puntos de soldadura, hasta definir la geometría final.

\*Para mayor sujección del soporte de la tolva, añadir pletinas (opcional).

Soldadura con electrodo 7018

ELEMENTOS NORMALIZADOS

11	C05	Bisagras de doble acción	N/A	4		Ø3/4"
10	B08	Niveladoras de muebles M12	N/A	2		

PLANOS DE TALLER

9	C02	Semicirculo	407	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
8	C08	Semicirculo de entrada inferior	406	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
7	B08	Soporte de tolva	405	1	Acero	Tubo estructural cuadrado 75x75x2 mm
6	B06	Tolva	404	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
5	B06	Tapa de la tolva	403	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
4	B07	Semicirculo de entrada superior	402	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
3	B07	Tapa superior	401	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm
2	C08	Tapa inferior	400	1	Acero	Tol galv. e=1.4 mm

PLANOS DE SUBCONJUNTO

1	C07	Salida trituración	.004-1	1		
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES

EPN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

Dib. Sr. Freddy Castillo  
Dis. Sr. Freddy Castillo  
Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc

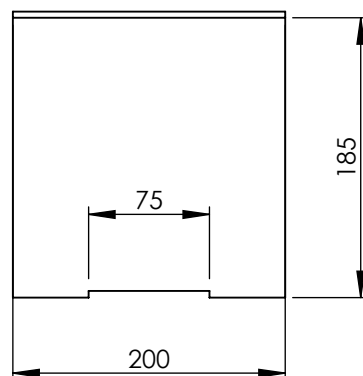
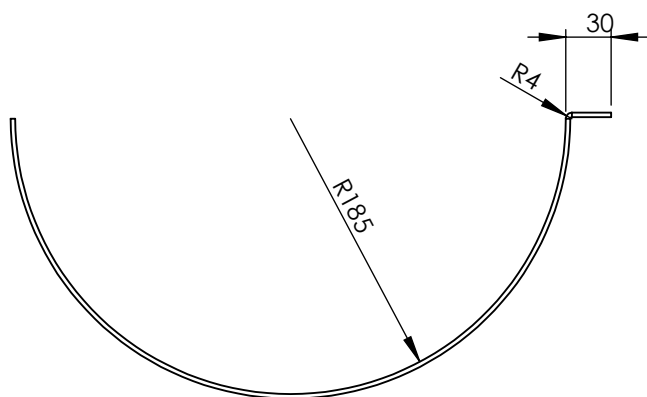
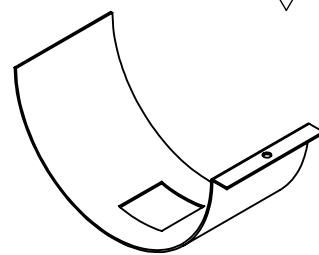
Escala: 1:5

CARCASA

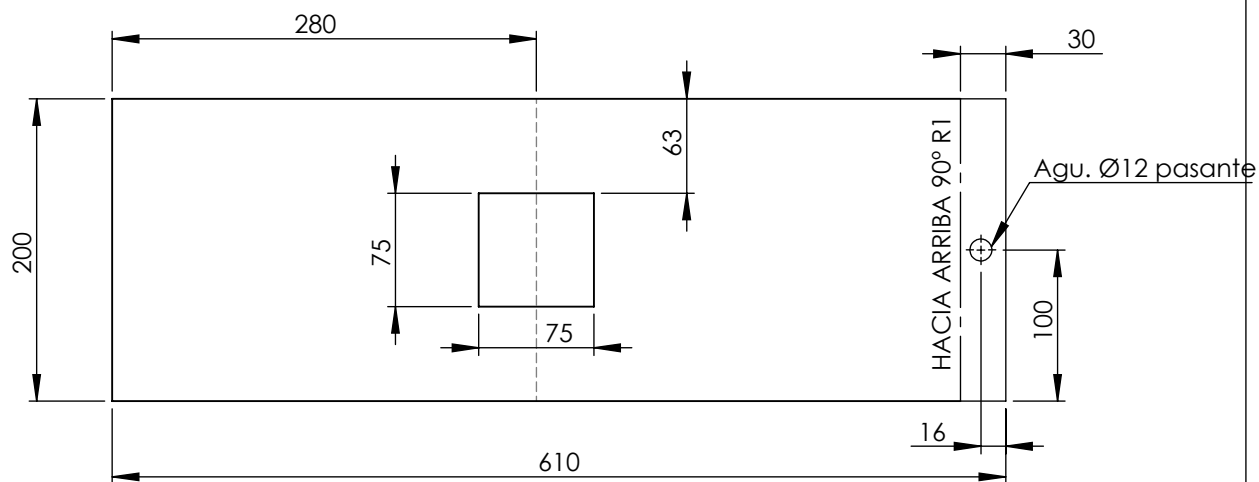
EPN.T.004

Fecha: 14-10-21

N8



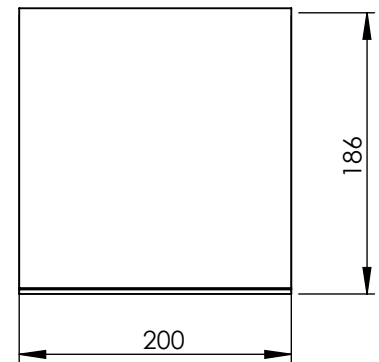
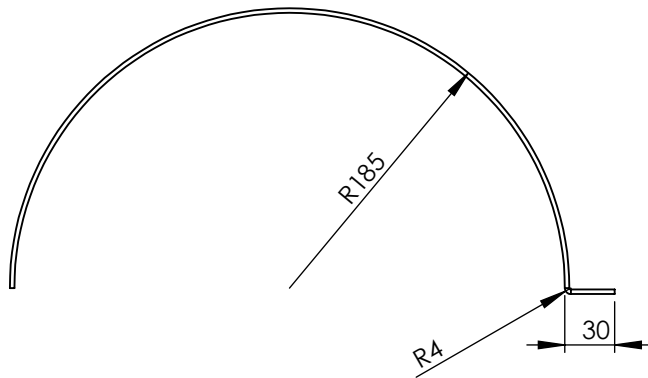
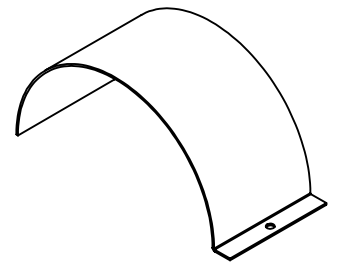
DESARROLLO



- NOTA:
- Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm
  - Eliminar aristas vivas
  - Verificar perforaciones con tapa superior

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Sr. Freddy Castillo	
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala:	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			1:5	Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
TAPA INFERIOR		EPN.T.400		Fecha: 14-10-21	

N8



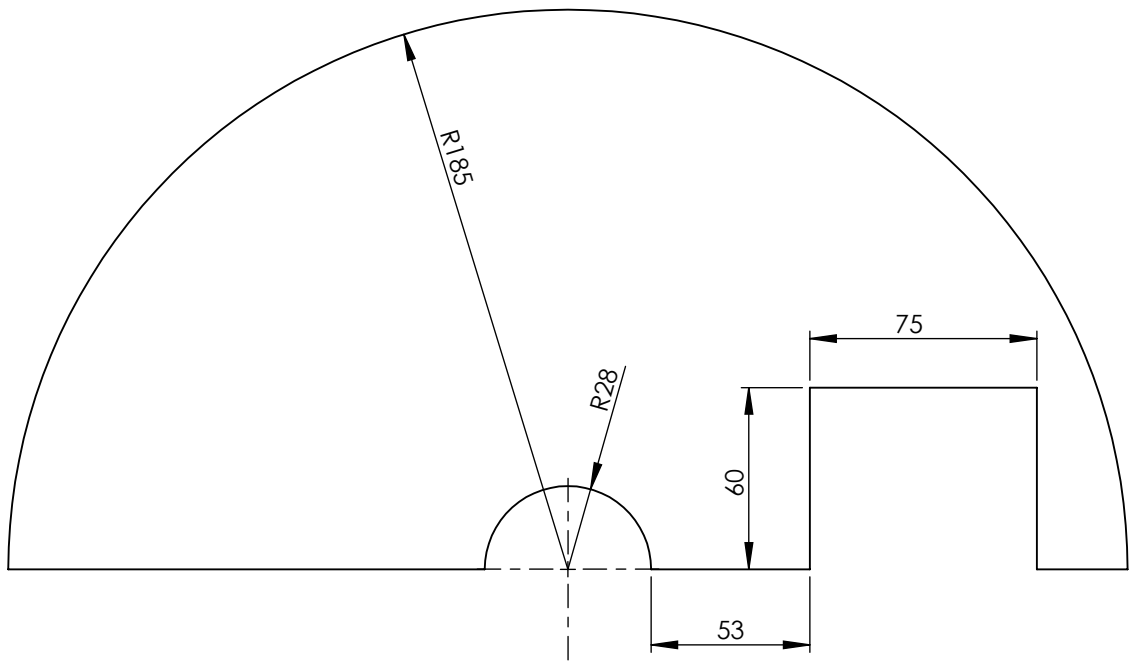
DESARROLLO



NOTA:

- Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm
- Eliminar aristas vivas
- Verificar perforaciones con tapa inferior

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Sr. Freddy Castillo	
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala:	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			1:5	Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
TAPA SUPERIOR		EPN.T.401		Fecha: 14-10-21	



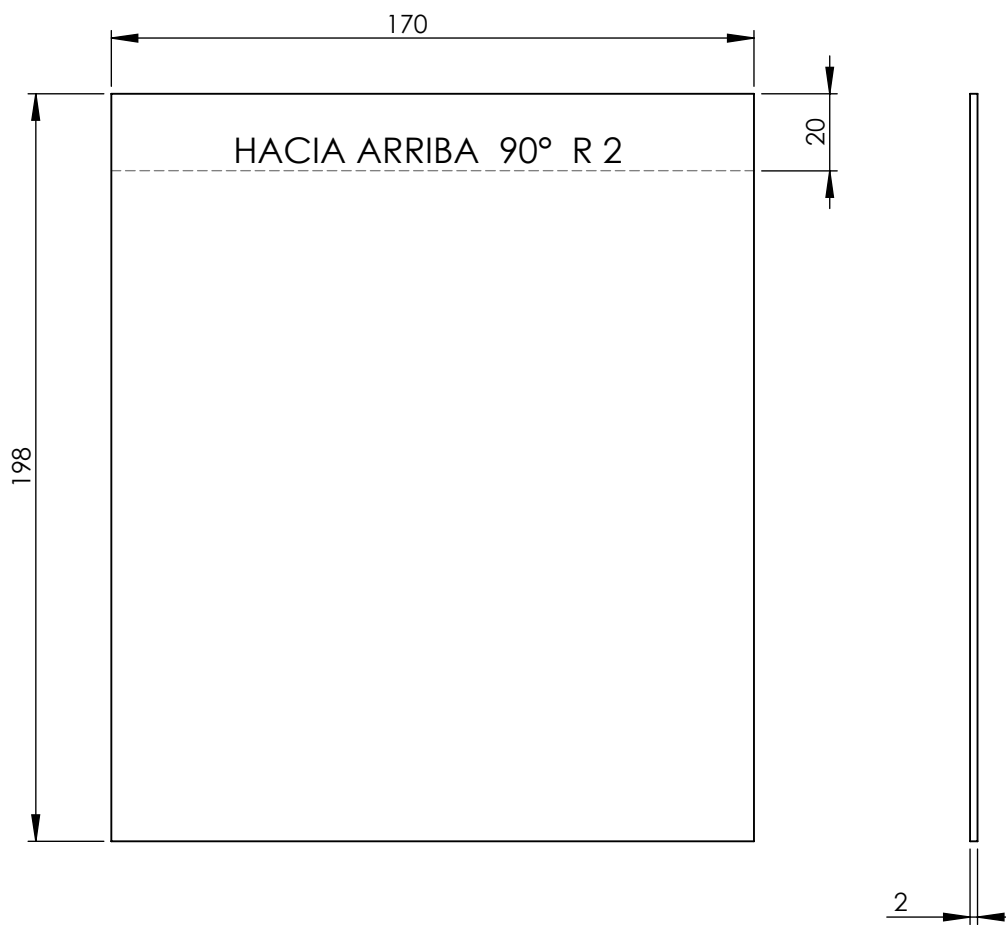
NOTA:  
 - Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado				
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral.	Escala:	Dib.	Sr. Freddy Castillo
		±0,1	1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
SEMICIRCULO DE ENTRADA SUPERIOR			EPN.T.402		Fecha: 14-10-21

N8



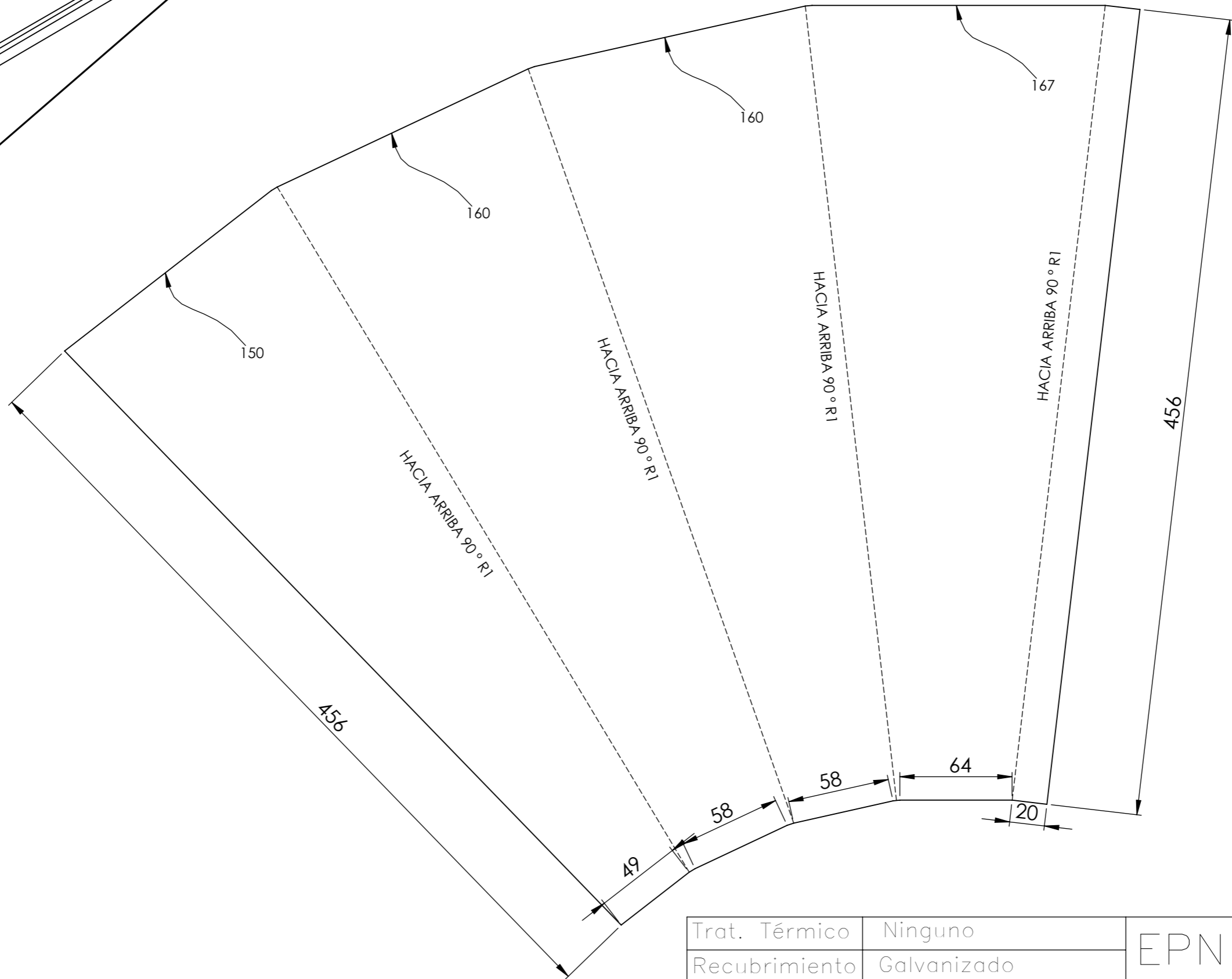
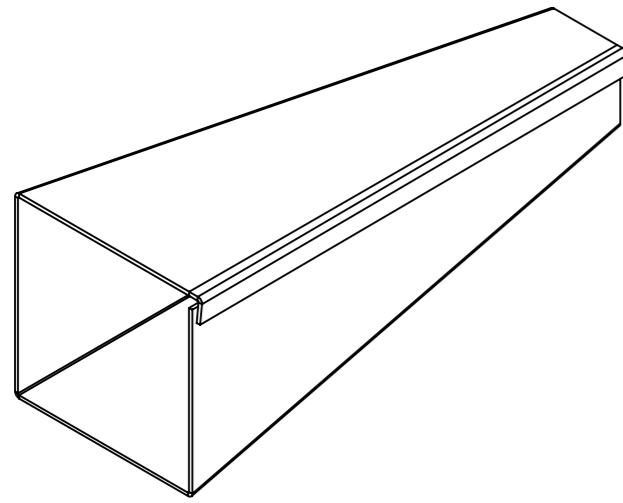
DESARROLLO



NOTA:  
 - Realizar el dobléz con un R2  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Sr. Freddy Castillo	
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala:	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			1:1	Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
TAPA DE LA TOLVA		EPN.T.403		Fecha: 14-10-21	

DESARROLLO

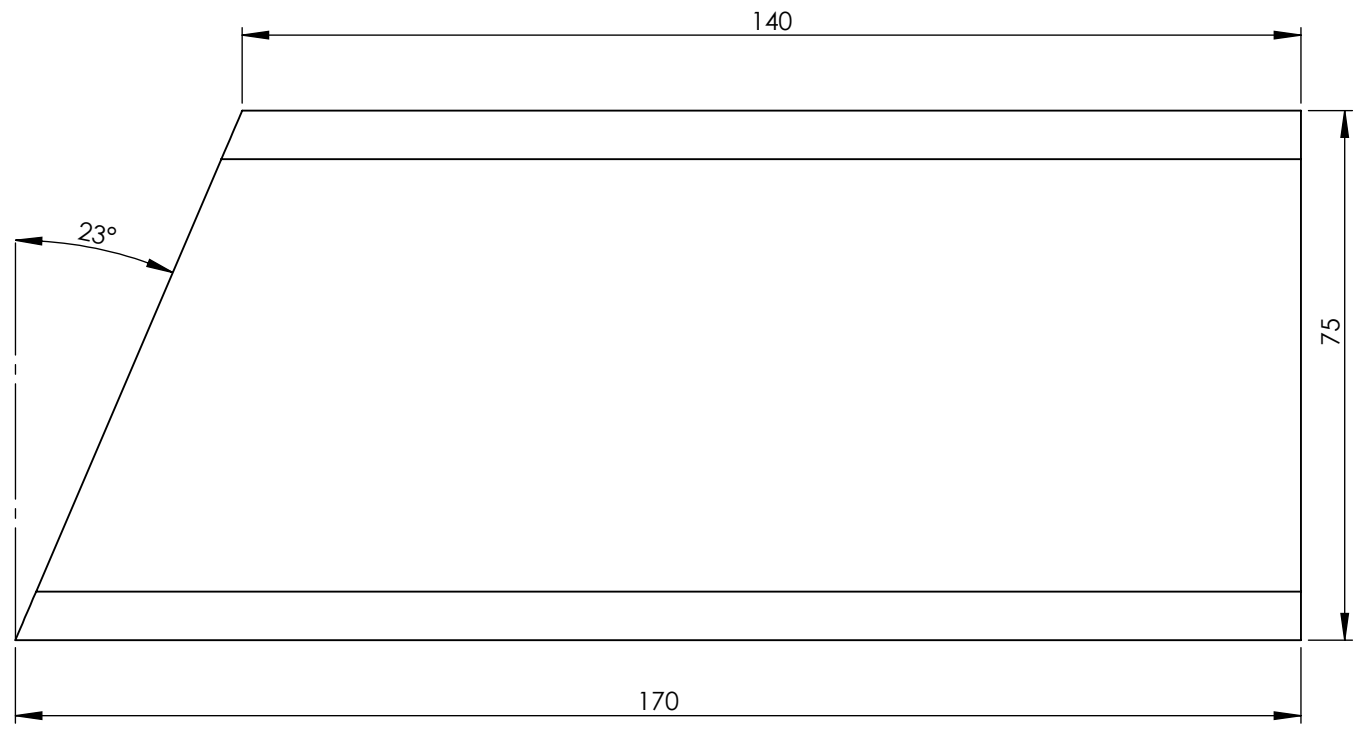
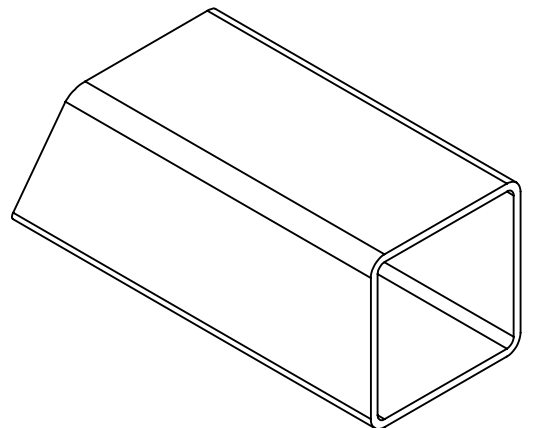


NOTA:  
 - Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis. Sr. Freddy Castillo
				Rev. Ing.Oscar Sotomayor,MSc
TOLVA			EPN.T.404	Fecha: 14-10-21

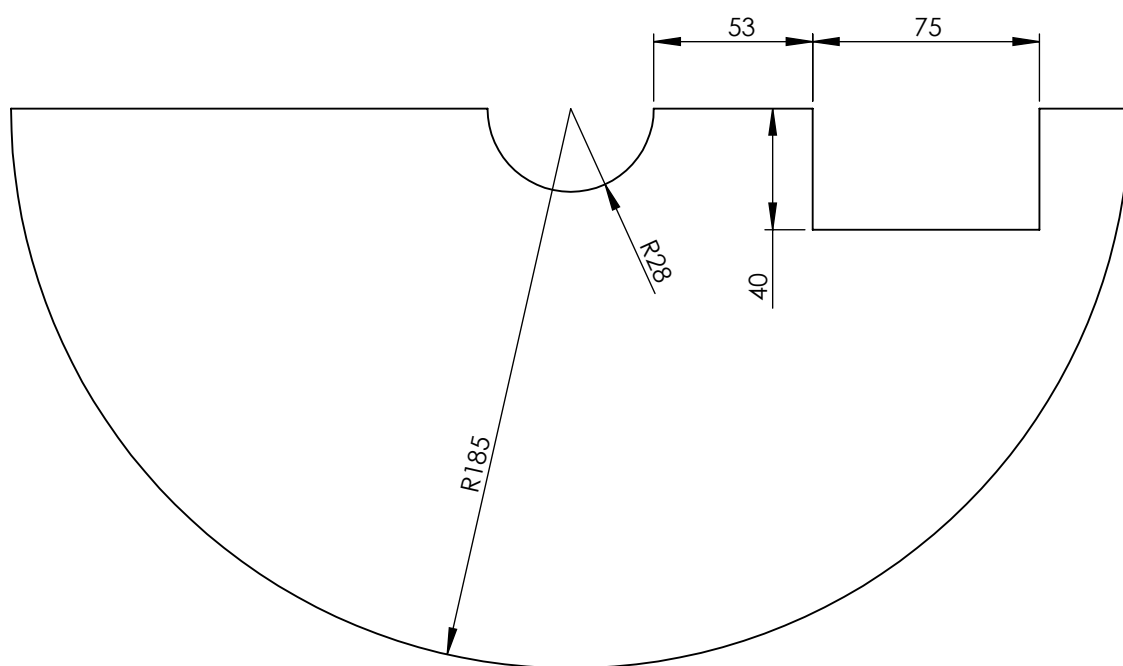


N8



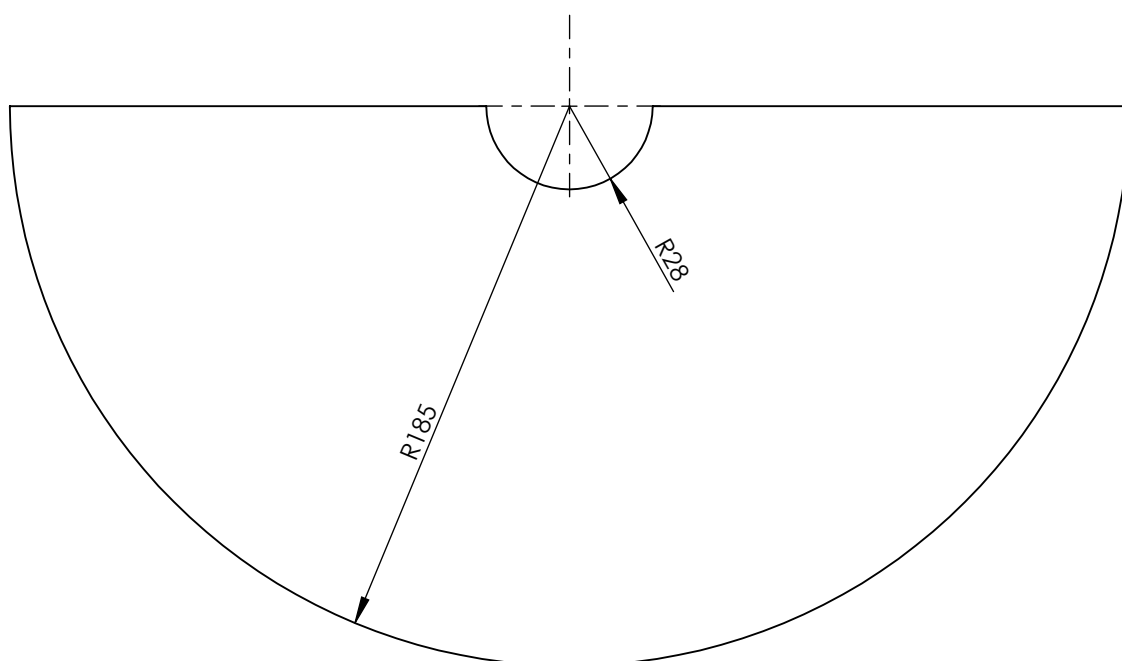
NOTA:  
 - Se utiliza un tubo estructural cuadrado 75x75x2 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno				
Material:	Tol galv. e=1.4 mm	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dib.	Sr. Freddy Castillo
				Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
SOPORTE TOLVA			EPN.T.405		Fecha: 14-10-21



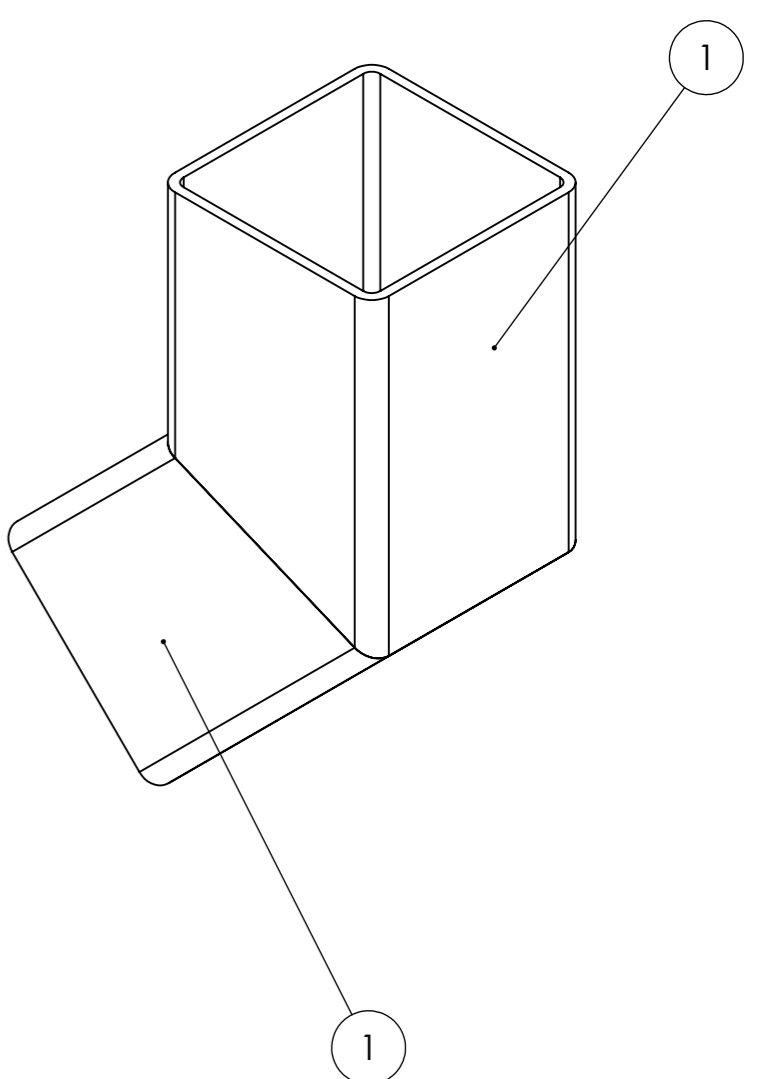
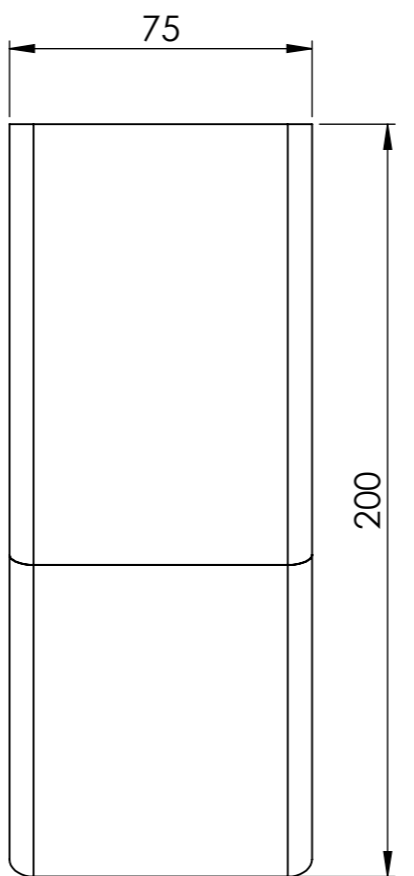
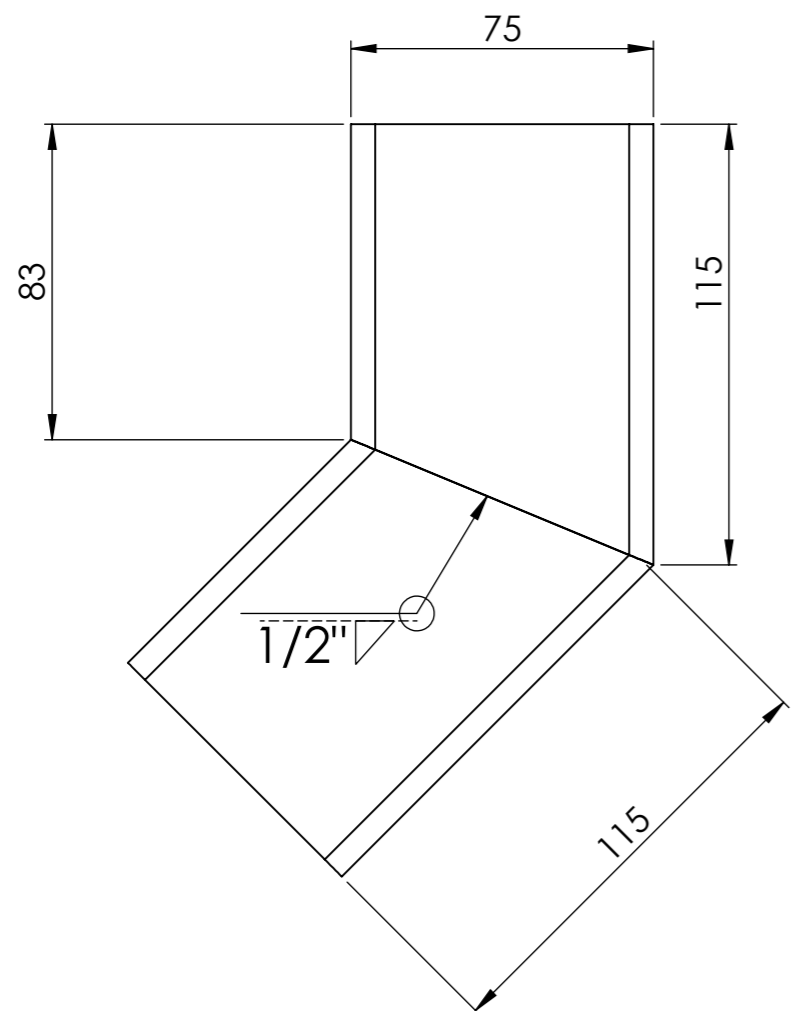
NOTA:  
 - Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado				
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral.	Escala:	Dib.	Sr. Freddy Castillo
		±0,1	1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
SEMICIRCULO DE ENTRADA INFERIOR			EPN.T.406		Fecha: 14-10-21



NOTA:  
 - Se utiliza tol galvanizado e=1.4 mm  
 - Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado				
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dib.	Sr. Freddy Castillo
				Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
SEMICIRCULO			EPN.T.407		Fecha: 14-10-21

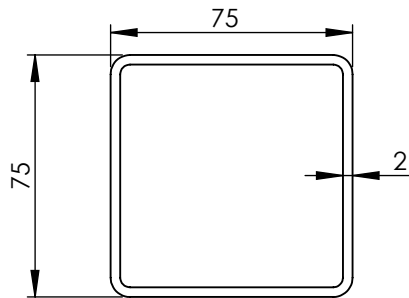
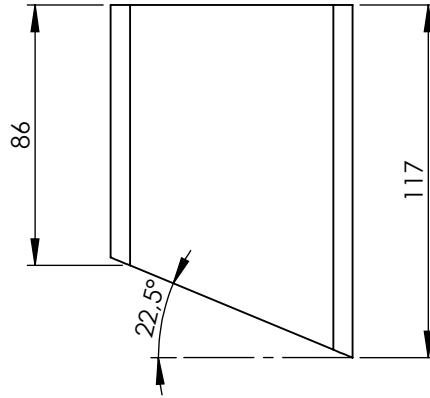


NOTA

\*Para mayor sujección de la salida de trituración, añadir pletinas (opcional)

Soldadura con electrodo 7018

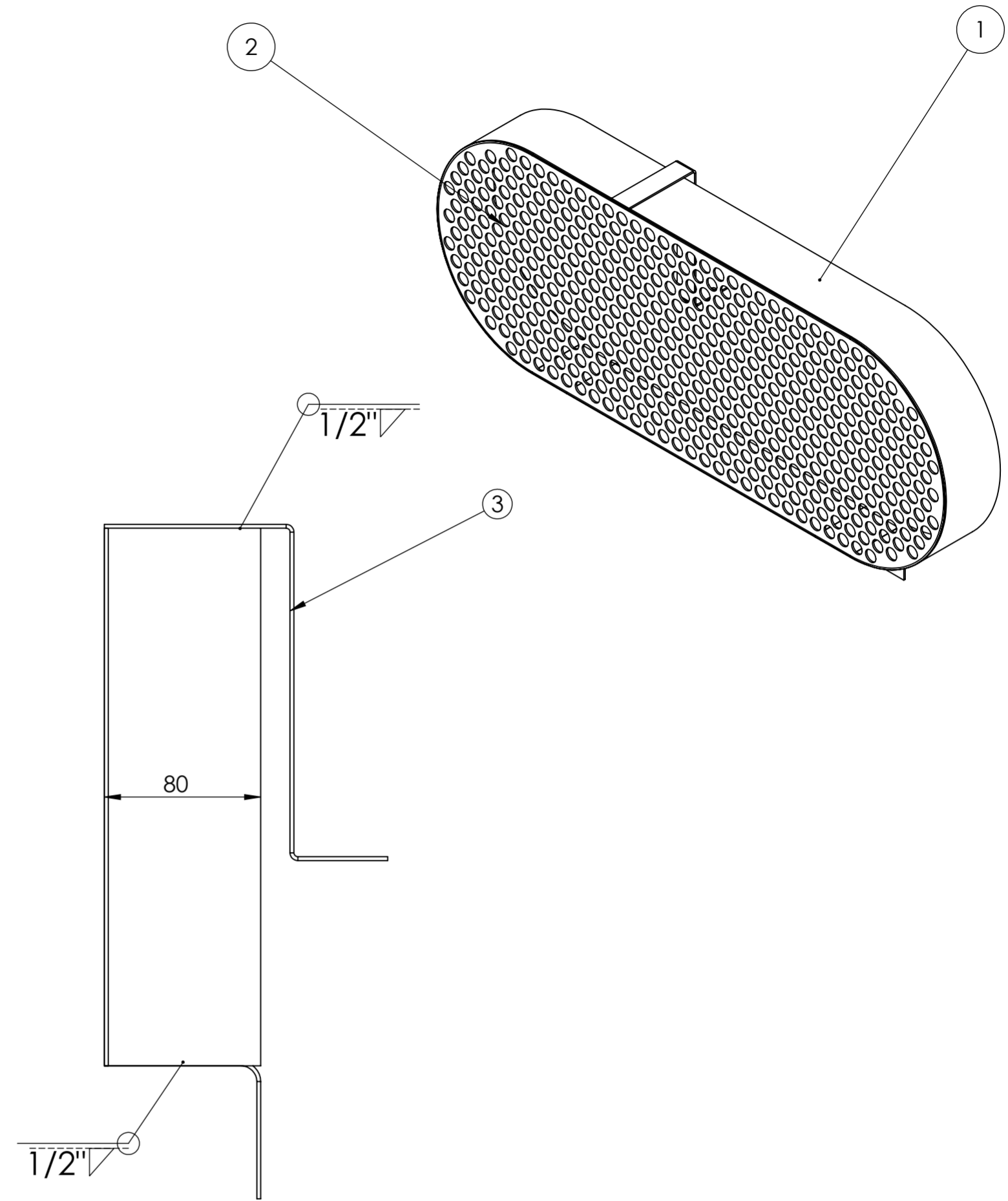
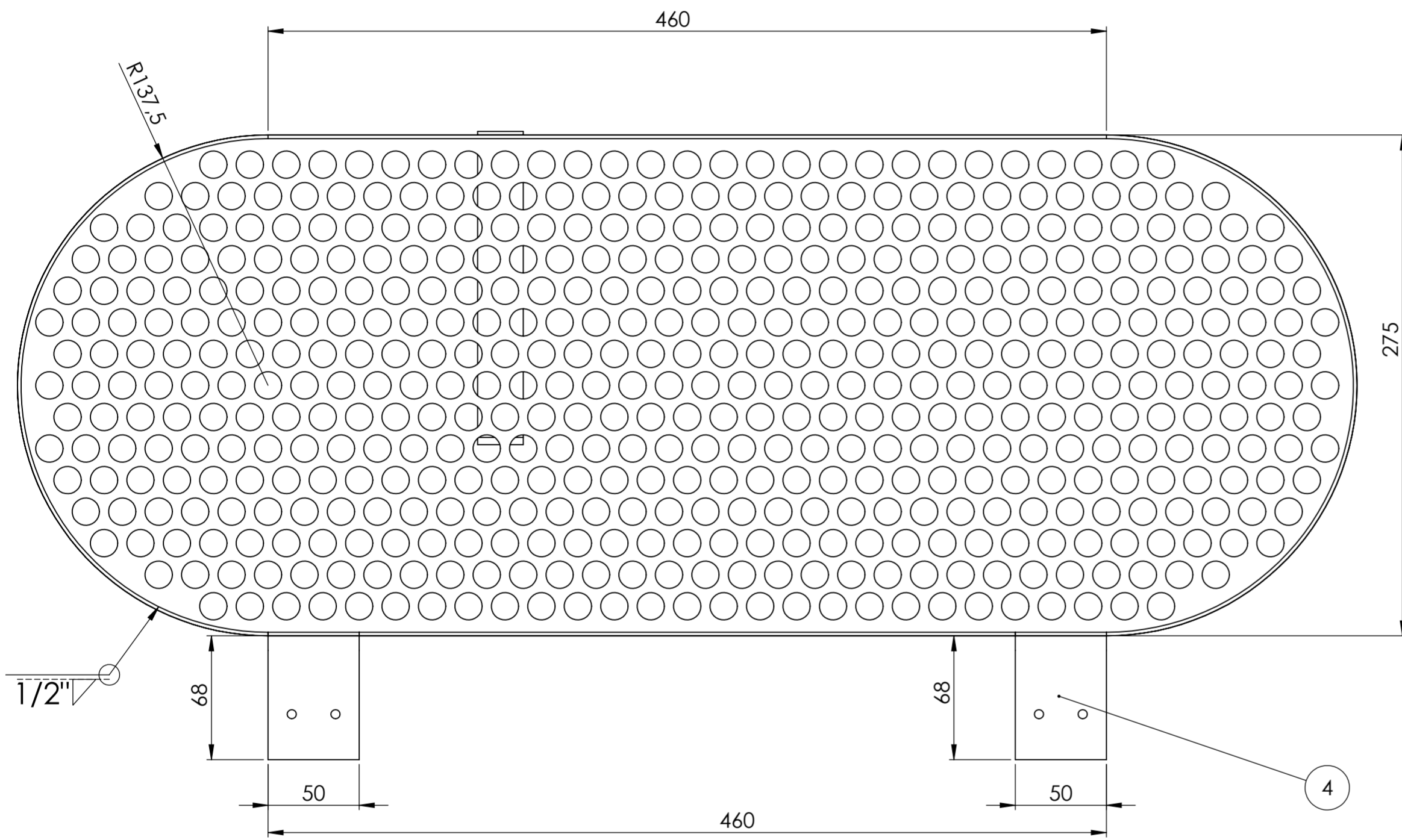
PLANOS DE TALLER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	C02	Tubo salida superior	.004-10	2	ASTM A36	Tubo estructural cuadrado 75x75x2 mm
EPN				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Escala: 1:2.5
				Dib. Sr. Freddy Castillo		
				Dis. Sr. Freddy Castillo		Fecha: 14-10-21
				Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc		
SALIDA TRITURACIÓN				EPN.T.004-1		



NOTA:

- Se utiliza un tubo estructural, 75x75; e=2 mm
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno				
Material: ASTM A36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dib.	Sr. Freddy Castillo	
			Dis.	Sr. Freddy Castillo	
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc	
TUBO SALIDA SUPERIOR			EPN.T.004-10		Fecha: 14-10-21



NOTA

\*En la soldadura de la unión de la protección con la placa metálica perforada, realizar puntos de soldadura, hasta definir la geometría final.

\*Para mayor sujección de las piezas, añadir pletinas (opcional).

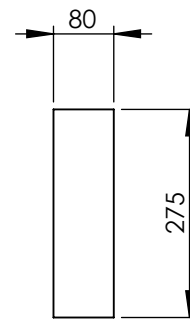
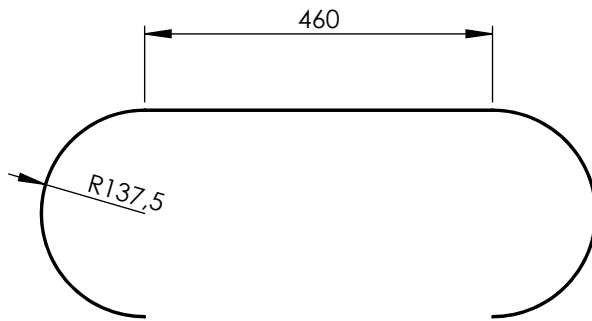
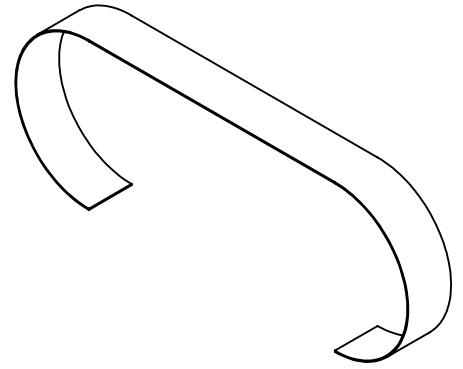
Soldadura con electrodo 7018

PLANOS DE TALLER						
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIONES
4	E04	Soporte unión inferior	503	1	ASTM A36	
3	C06	Soporte unión superior	502	1	ASTM A36	
2	B08	Placa perforada metálica	501	1		
1	B08	Unión de la protección	500	1	ASTM A653	Tol. galv. e=2mm

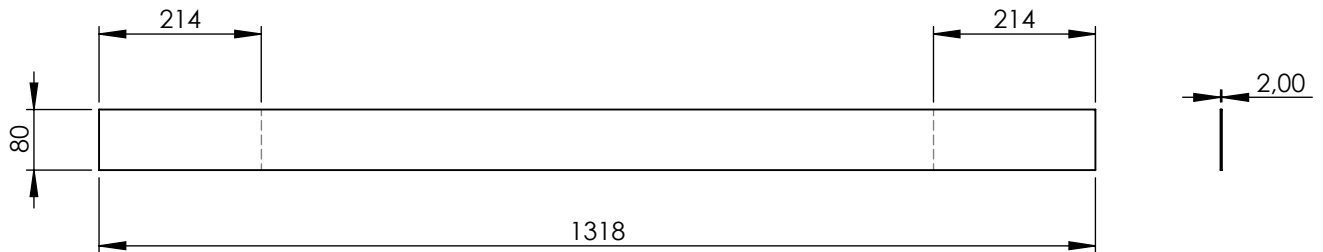
  

EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Sr. Freddy Castillo	Escala: 1:2.5
		Dis. Sr. Freddy Castillo	
		Rev. Ing. Oscar Sotomayor, MSc	
PROTECCIÓN DE BANDAS		EPN.T.005	Fecha: 14-10-21

N8



DESARROLLO

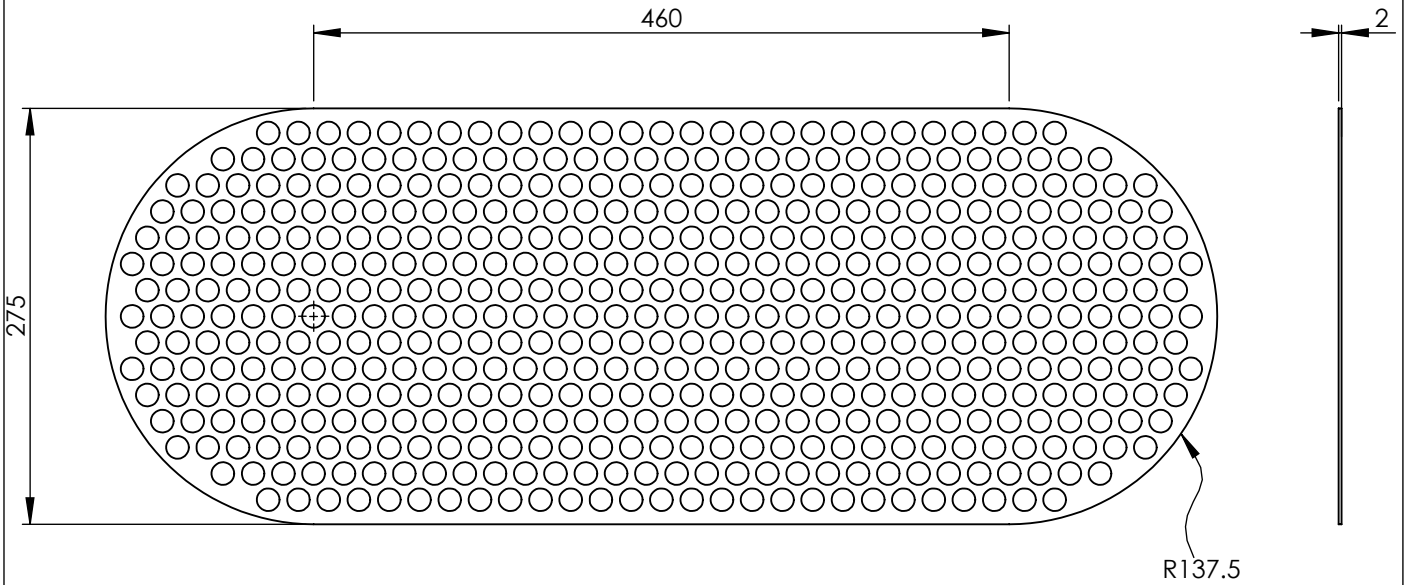


NOTA:

- Eliminar aristas vivas
- Se utiliza tol galv. e=2 mm

Trat. Térmico	Ninguno		<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Galvanizado				
Material:	Lámina de acero AISI 1018	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:10	Dib.	Sr. Freddy Castillo
				Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
Unión de la protección			EPN.T.500		Fecha: 14-10-21

N8



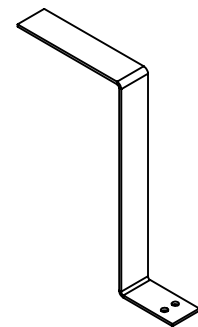
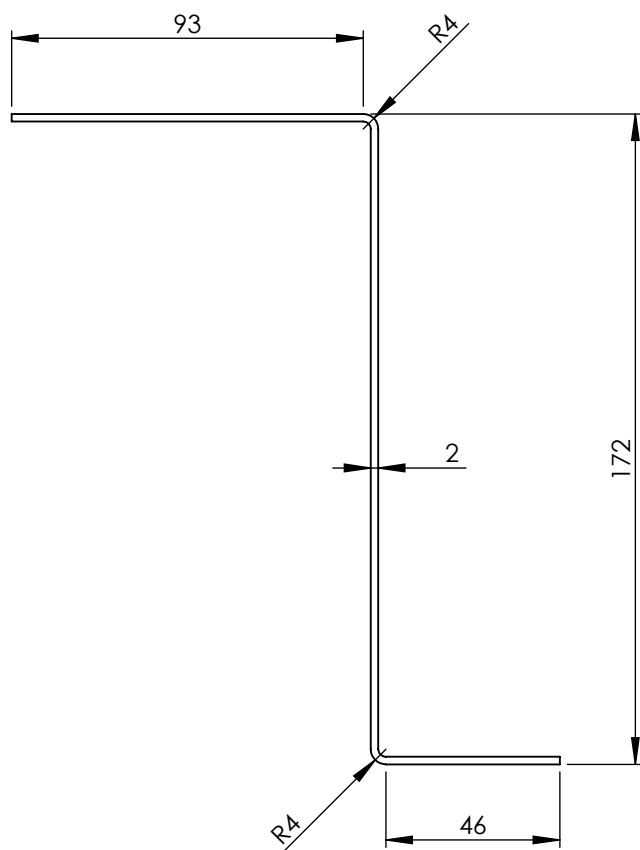
NOTA:

- Se utiliza una plancha metálica perforada
- Eliminar aristas vivas

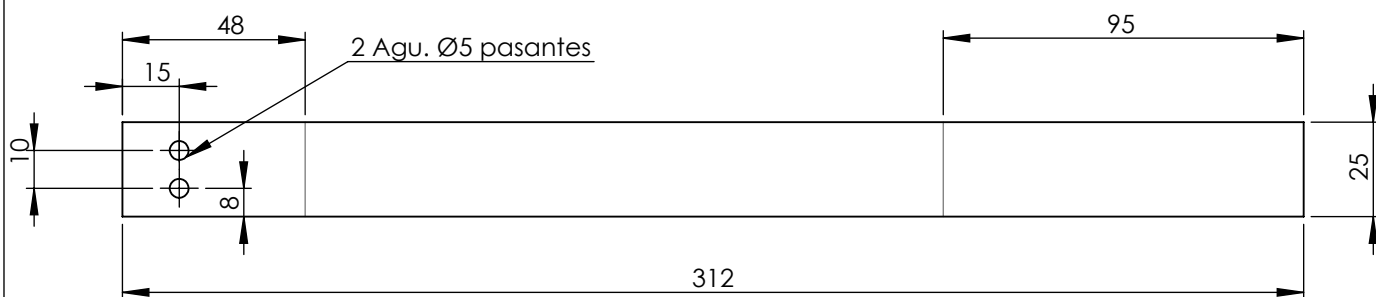
Trat. Térmico	Ninguno		<b>EPN</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno				
Material:	ASTM A36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:5	Dib.	Sr. Freddy Castillo
				Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
Placa perforada metálica			EPN.T.501		Fecha: 14-10-21



N8



DESARROLLO



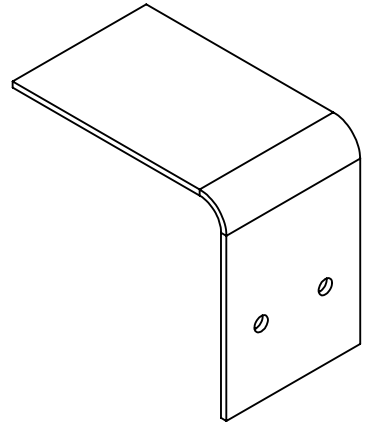
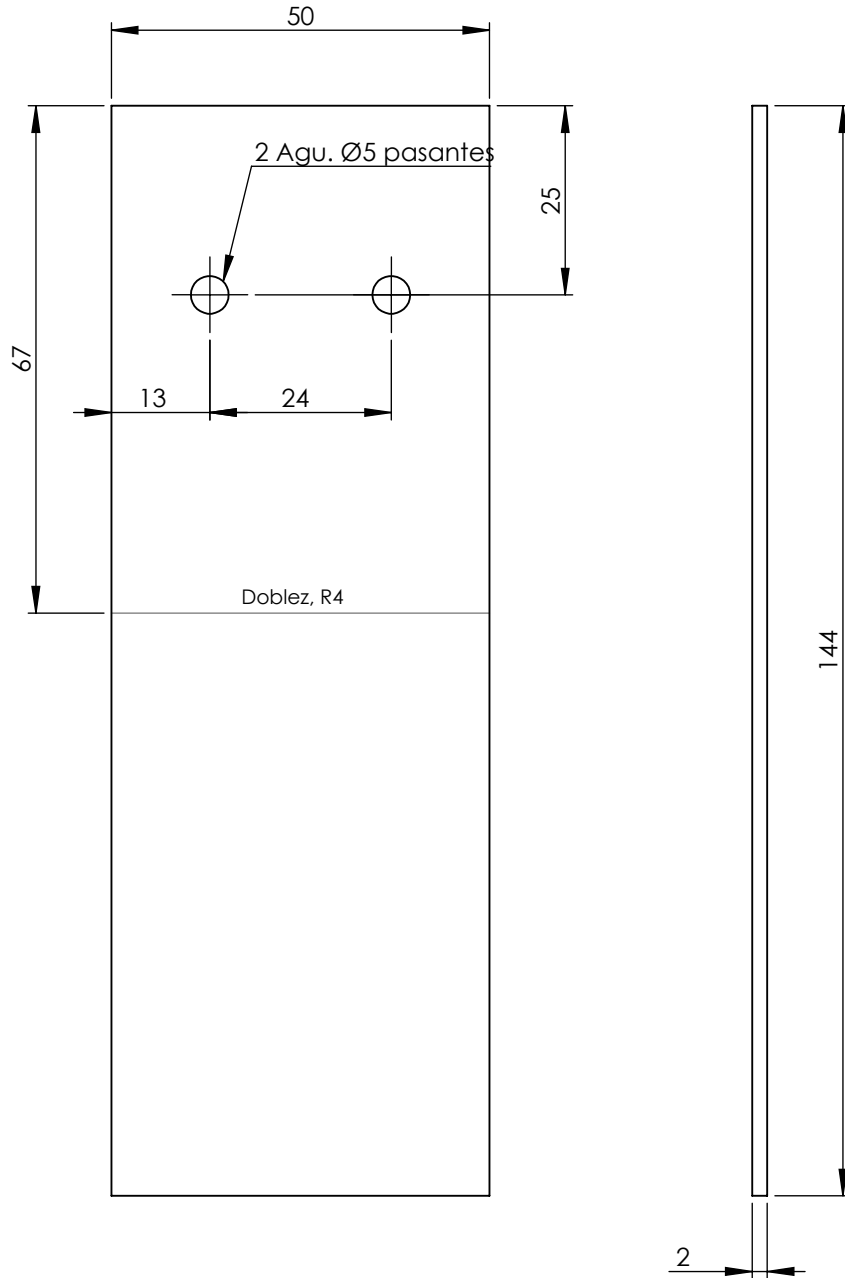
NOTA:

- Realizar perforaciones junto a la estructura
- Eliminar aristas vivas
- Radio de dobléz, R4

Trat. Térmico	Ninguno		EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material:	ASTM A36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:2.5	Dis.	Sr. Freddy Castillo
				Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
				Soporte unión superior	

N8

DESARROLLO



NOTA:

- Realizar perforaciones junto a la estructura
- Eliminar aristas vivas

Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Sr. Freddy Castillo
Material: ASTM A36	Tol.Gral. ±0,1	Escala: 1:1	Dis.	Sr. Freddy Castillo
			Rev.	Ing.Oscar Sotomayor,MSc
			Soporte unión inferior	
		EPN.T.503		Fecha: 14-10-21