

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diseño y construcción de un prototipo de trituradora
de polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), y
aluminio para la elaboración de material compuesto
dentro de un proceso de supra-reciclaje**

Proyecto de investigación

**Pamela Alejandra Aguirre Flores
Israel Alejandro Tapia Rivadeneira**

Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Mecánico

Quito, 18 de mayo de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora de polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), y aluminio para la elaboración de material compuesto dentro de un proceso de supra-reciclaje.

Pamela Alejandra Aguirre Flores
Israel Alejandro Tapia Rivadeneira

Calificación:

Nombre del director:

Michel Vargas, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 18 de mayo de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Pamela Alejandra Aguirre Flores

Código: 00111949

Cédula de Identidad: 1752206498

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Israel Alejandro Tapia Rivadeneira

Código: 00109871

Cédula de Identidad: 1717416588

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2018

Agradecimientos

A Dios por proveerme la perseverancia y dedicación necesaria para alcanzar esta meta.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy, por brindarme su amor y apoyo incondicional en todo momento de mi formación profesional. Gracias a ellos nunca me faltó nada. Me enseñaron a dar lo mejor de mí. Son mi ejemplo a seguir y todos mis logros se los debo a ellos.

A mis hermanos que siempre han estado para mí en los momentos de mayor alegría y en toda circunstancia difícil que he necesitado su apoyo, su ayuda, su guía y sus consejos.

A mi familia porque me han enseñado que la unión hace la fuerza. He tenido la bendición de contar con ellos porque siempre que he caído han estado ahí para levantarme.

Pamela Aguirre

A mi padre por ser mi guía y fortaleza durante toda mi vida, porque gracias a él he aprendido a ser una persona luchadora y perseverante en mis metas. Estaré siempre agradecido por tus esfuerzos, sacrificios y amor con los cuales pude alcanzar este logro. En ti veo un ejemplo a seguir.

A mi madre por su apoyo incondicional durante toda mi vida, quien nunca me ha dejado caer y siempre me ha dado la mano en momentos difíciles. Gracias a tu amor incondicional pude cumplir mis objetivos.

A mis hermanos por apoyarme en las decisiones que he tomado y que siempre estuvieron junto a mí, dándome su apoyo y aliento para cumplir esta meta.

Israel Tapia

A nuestro director -Michel Vargas- por la supervisión del Proyecto.

A los profesores de ingeniería mecánica que nos proporcionaron los conocimientos y experiencias para alcanzar este logro.

A nuestro profesor de taller Fabián Morales por asesorarnos en la fabricación del prototipo.

A Juan Diego Fonseca por la supervisión química en el Proyecto.

Al departamento de ingeniería mecánica por permitirnos utilizar sus instalaciones y equipos.

Pamela Aguirre e Israel Tapia

RESUMEN

El presente proyecto se propuso como parte de una solución novedosa al problema de acumulación de desechos reciclables en Ecuador. Esta solución se basa principalmente en el supra reciclaje de los desechos más comunes como son los plásticos y metales. Para ello, se realizó el diseño y la construcción de un prototipo de máquina trituradora de cuchillas rotatorias para material reciclable de aluminio, PP y PET que en su mayoría se origina de recipientes de bebidas. Se obtuvo un tamaño aproximado de material triturado de 10 x10 mm. A partir de éste, se propuso la producción de planchas de material compuesto conformadas por una matriz termoplástica y un refuerzo de aluminio. El proceso de supra reciclaje aplicado fue termomecánico, el cual consta de la fundición del polímero triturado, la adición del refuerzo y la consolidación. Finalmente, se realizó ensayos de tracción del material compuesto para obtener sus propiedades mecánicas y evaluar sus posibles aplicaciones.

Palabras clave: Supra reciclaje, trituradora, material compuesto, termoplástico, aluminio, fundición, consolidación.

ABSTRACT

The developed project was proposed as part of a novel solution to the problem of recyclable waste accumulation in Ecuador. This solution is based mainly on the upcycling of the most common waste: plastics and metals originated from beverage containers. To this end, the design and construction of a rotary-blades shredder machine prototype for aluminum, PP and PET was carried out. Material was shredded to an approximate size of 10 x 10 mm. From this residue, a composite sheet -consisting of a thermoplastic matrix and an aluminum reinforcement- was produced. The applied upcycling process was thermomechanical. It started by melting the crushed polymer. Then, the reinforcement material was added and consolidation took place. Finally, tensile tests were carried out on the composite material to obtain its mechanical properties and evaluate possible applications.

Keywords: Upcycling, shredding machine, composite material, thermoplastic, aluminum, melting, consolidation.

TABLA DE CONTENIDOS

<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	11
A. Antecedentes	11
B. Motivación	13
C. Objetivos	14
1. Objetivo General.	14
2. Objetivos Específicos.	14
D. Marco Teórico	14
1. Reciclaje.....	14
2. Supra-Reciclaje.....	15
3. Máquinas Trituradoras.....	16
4. Ecuaciones.....	17
5. Materiales Compuestos.....	23
6. Ensayos de Propiedades.....	25
<i>II. DESARROLLO</i>	26
A. Diseño y Especificaciones	26
B. Resultados	27
1. Cálculos.....	27
2. Modelado.....	57
3. Construcción.....	70
4. Presupuesto.....	82
5. Aplicación.....	83
C. Discusión	88
<i>III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	90
A. Conclusiones	90
B. Recomendaciones	90
<i>IV. REFERENCIAS</i>	92
<i>V. ANEXOS</i>	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para factores de modificación de superficie (Budynas & Nisbett, 2015, p. 296).	20
Tabla 2. Factor de confiabilidad según el porcentaje de confiabilidad (Budynas & Nisbett, 2015, p. 301).	21
Tabla 3. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para primera iteración (Budynas & Nisbett, 2015, p. 365).	22
Tabla 4. Esfuerzos de cedencia y cortantes del aluminio, PET y PP.	28
Tabla 5. Especificaciones de fuerza de cedencia y potencia para cada espesor.	29
Tabla 6. Fuerzas y velocidades de entrada y salida de la trituradora con manivela.	30
Tabla 7. Dureza Vickers y Brinell del acero A36 sin tratar.	33
Tabla 8. Dureza Brinell y Vickers del acero cementado.	37
Tabla 9. Interferencia de los engranajes, número mínimo de dientes, número de dientes tomados.	38
Tabla 10. Condiciones iniciales del diseño de engranajes establecidos.	39
Tabla 11. Condiciones iniciales del diseño de engranajes con manivela.	40
Tabla 12. Condiciones iniciales del diseño de engranajes con motor.	40
Tabla 13. Resultados de los factores de diseño para flexión y contacto.	41
Tabla 14. Resultados de esfuerzos para flexión y contacto.	42
Tabla 15. Resultados de los factores seguridad para flexión y contacto.	42
Tabla 16. Resultados de esfuerzos para flexión y contacto.	42
Tabla 17. Resultados de los factores seguridad para flexión y contacto.	43
Tabla 18. Torque y fuerzas en los ejes estáticos (Caso 1).	44
Tabla 19. Fuerzas engranajes (Caso 1).	45
Tabla 20. Fuerzas en los ejes (caso 1).	45
Tabla 21. Velocidades rotatorias de los componentes.	46
Tabla 22. Torque y fuerzas en ejes (Caso 2).	46
Tabla 23. Reacciones del eje 1, caso 1 (unidades: [N]).	48
Tabla 24. Momentos del eje 1, caso 1 (unidades: [Nm]).	48
Tabla 25. Reacciones del eje 2, caso 1 (unidades: [N]).	49
Tabla 26. Momentos del eje 2, caso 1 (unidades: [Nm]).	50
Tabla 27. Reacciones del eje 1, caso 2 (unidades: [N]).	51
Tabla 28. Momentos del eje 1, caso 2 (unidades: [Nm]).	51
Tabla 29. Reacciones del eje 2, caso 2 (unidades: [N]).	52
Tabla 30. Momentos del eje 2, caso 2 (unidades: [Nm]).	52
Tabla 31. Propiedades del acero de los ejes.	53
Tabla 32. Factores de modificación.	54
Tabla 33. Factores de concentraciones de esfuerzo de fatiga por flexión y torsión.	55
Tabla 34. Momentos y torques para ambos casos.	55
Tabla 35. Diámetros mínimos permisibles para ambos casos.	55
Tabla 36. Factores de seguridad para ambos casos.	56
Tabla 37. Presupuesto.	82
Tabla 38. Valores obtenidos de las probetas de material PP regidos por la norma ASTM D638-14.	85
Tabla 39. Dimensiones para probetas de material compuesto de matriz polimérica (ASTM D3039, s/f).	85
Tabla 40. Resultados de las pruebas de tracción del material compuesto hecho de PP-Al.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de sensibilidad de muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a flexión y cargas axiales invertidas (Budynas & Nisbett, 2015, p. 303).	21
Figura 2. Gráfico de sensibilidad de muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a torsión invertida (Budynas & Nisbett, 2015, p. 304).....	22
Figura 3. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para flexión (Budynas & Nisbett, 2015, p. 1036).	23
Figura 4. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para torsión (Budynas & Nisbett, 2015, p. 1036).	23
Figura 5. Dimensiones máximas de la caja de trituración.....	26
Figura 6. Microestructura del Acero A36 a 100X.....	31
Figura 7. Microestructura del Acero A36 a 1000X.....	31
Figura 8. Microestructura del Acero A36 a 2500X.....	32
Figura 9. Microestructura del Acero A36 a 5000X.....	32
Figura 10. Microestructura del Acero A36 tratado a 1000X (BED).	34
Figura 11. Microestructura del Acero A36 tratado a 1000X (SED).....	34
Figura 12. Microestructura del Acero A36 tratado a 2500X (BED).	35
Figura 13. Microestructura del Acero A36 tratado a 2500X (SED).....	35
Figura 14. Microestructura del Acero A36 tratado a 10kX (BED).	36
Figura 15. Microestructura del Acero A36 tratado a 1kX (SED).....	36
Figura 16. Simulación del engranaje.	43
Figura 17. Pesos sometidos al eje 1 (caso 1, vista frontal).....	47
Figura 18. Fuerzas sometidas al eje 1 (caso 1, vista isométrica).....	48
Figura 19. Pesos sometidos al eje 2 (caso 1, vista frontal).....	49
Figura 20. Fuerzas sometidas al eje 2 (caso 1, vista isométrica).....	49
Figura 21. Pesos sometidos al eje 1 (caso 2, vista frontal).....	50
Figura 22. Fuerzas sometidas al eje 1 (caso 2, vista isométrica).....	50
Figura 23. Pesos sometidos al eje 2 (caso 2, vista frontal).....	51
Figura 24. Fuerzas sometidas al eje 2 (caso 2, vista isométrica).....	52
Figura 25. Simulación de un eje.	56
Figura 26. Simulación de la cuchilla.	57
Figura 27. Estructura principal base modelada	57
Figura 28. Paredes con base para rodamientos de la caja de trituración modeladas.	58
Figura 29. Pared lateral 1 de la caja de trituración modelada.	59
Figura 30. Pared lateral 2 de la caja de trituración modelada.	59
Figura 31. Guía modelada.	60
Figura 32. Guías y pared lateral ensamblada.....	60
Figura 33. Eje principal 1 modelado.	61
Figura 34. Eje principal 2 modelado.	61
Figura 35. Eje secundario modelado.	61
Figura 36. Diez pares de cuchillas modeladas.....	62
Figura 37. Separador modelado.....	62
Figura 38. Soporte 1 modelado	63
Figura 39. Soporte 2 modelado.	63
Figura 40. Engranaje modelado.....	64
Figura 41. Catalina modelada.....	64
Figura 42. Catalina (piñón) modelada.....	65
Figura 43. Manivela modelada.....	65

Figura 44. Placa base 1 modelada.	66
Figura 45. Placa base 2 modelada.	66
Figura 46. Soporte de la caja de reducción modelada.	67
Figura 47. Soporte de motor modelado	67
Figura 48. Tolva modelada.....	68
Figura 49. Caja de viruta modelada.....	68
Figura 50. Trituradora ensamblada vista isométrica delantera.....	69
Figura 51. Trituradora ensamblada vista isométrica posterior.	69
Figura 52. Trituradora ensamblada vista superior.	70
Figura 53. Estructura principal.	71
Figura 54. Placa base cortada por chorro de agua con rodamientos colocados.	72
Figura 55. Separador	72
Figura 56. Diez diferentes cuchillas cementadas de la trituradora.	72
Figura 57. Placa lateral 1 cortada por plasma con las guías incorporadas vista frontal. 73	
Figura 58. Placa lateral 2 cortada por plasma con las guías incorporadas vista posterior.	73
Figura 59. Soporte 1 y 2 con rodamientos colocados.....	74
Figura 60. Engranaje	74
Figura 61. Catalina (piñón), catalina y cadena.	75
Figura 62. Ejes principales y eje secundario con chaveteros.	75
Figura 63. Chavetas	76
Figura 64. Placa base 1	76
Figura 65. Placa base 2.	76
Figura 66. Manivela	77
Figura 67. Motor eléctrico.....	77
Figura 68. Reductor de velocidad.....	78
Figura 69. Camisa de acople	78
Figura 70. Soporte de motor.....	78
Figura 71. Tolva	79
Figura 72. Caja de viruta	79
Figura 73. Trituradora construída vista isométrica frontal.	80
Figura 74. Trituradora construída vista isométrica posterior.	81
Figura 75. Trituradora construída vista superior.	81
Figura 76. Forma y dimensiones para probetas de plástico (ASTM D638-14, s/f).....	83
Figura 77. Probeta del PP basado en la norma ASTM D638-14.....	84
Figura 78. Resultado del ensayo de tensión en la probeta de PP.	84
Figura 79. Probeta de material compuesto de PP como matriz y PET como refuerzo basado en la norma ASTM D3039.	86
Figura 80. Probeta de material compuesto de PP como matriz y Aluminio como refuerzo basado en la norma ASTM D3039.	86
Figura 81. Resultado del ensayo de tensión de la probeta de material compuesto de PP- Al.	87

I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador se genera aproximadamente cuatro millones de toneladas de desechos al año, de los cuales un millón es material reciclable. Sin embargo, únicamente se recicla entre el quince y veinticinco por ciento (Alarcón, 2017). Por ello, se tiene como resultado que grandes cantidades potenciales para el reciclaje sean desechadas de manera descontrolada, provocando efectos devastadores para el medio ambiente y la comunidad.

Los desechos más comunes y abundantes son el plástico y metal que demoran demasiado tiempo en descomponerse. En los últimos años, se ha incrementado el uso y desecho de estos materiales, lo que ha creado una necesidad urgente de reciclarlos o supra-reciclarlos para disminuir y controlar la contaminación que va incrementando exponencialmente (El Telégrafo, 2016). Por ende, en el Ecuador existen varias empresas emprendedoras que se dedican a la gestión de residuos y reciclaje; las cuales utilizan diferentes tipos de maquinaria para cada proceso. El presente proyecto de titulación se enfoca en la maquinaria de trituración para el inicio de cualquier proceso de reciclaje. En él, se propone la construcción de un prototipo de triturador para supra-reciclar plástico y aluminio; y, evaluar la viabilidad de la fabricación de planchas de material compuesto con este material triturado.

A. Antecedentes

Ecuador enfrenta problemas de contaminación del agua y aire por distintas razones; siendo la más importante, el inadecuado manejo de los desechos sólidos. La acumulación de basura en mares y ríos impide que el agua se purifique naturalmente e imposibilita el desarrollo de las especies que habitan en esa área. Además, existe un

aumento en la generación y proliferación de bacterias de diversa índole y peligrosidad que afectan a la cadena alimenticia: primero a la flora, luego a la fauna, y, finalmente, al ser humano. Es decir, es un ciclo conducido por una causa antropomórfica. Por otro lado, los desechos expuestos al medio ambiente expulsan gases al descomponerse y, en mayor cantidad, al ser combustionados. Por lo cual, se genera contaminación en el aire y se aporta al calentamiento global. Por ende, no sólo se tiene consecuencias inmediatas para la humanidad como enfermedades respiratorias, sino también graves problemas a largo plazo para el planeta.

Según los reportes del año 2016, en la ciudad de Quito se recogen aproximadamente dos mil toneladas de desperdicios al día; de los cuales, el 90% termina en el relleno sanitario. Cada tonelada que se recolecta tiene un costo cercano a cuarenta dólares. En el año 2016 se invirtió 2.8 millones de dólares para ampliar el relleno sanitario. Sin embargo, tal ampliación va a tener solamente una duración aproximada de quince meses (Jácome, 2016). Es decir, Quito tiene un serio problema con el manejo de los desechos que terminan en el relleno sanitario por su gran cantidad y bajo nivel de reciclaje, lo que implica una ampliación permanente del relleno sanitario insostenible. Por otro lado, en Guayaquil, Gustavo Zúñiga asegura que, del total de basura de la ciudad, el 14% son desechos reciclables y que sólo el 4% de estos desechos llega al relleno sanitario; lo demás es reciclado por empresas y familias. Por ende, afirma que para el Municipio no conviene invertir en la implementación de un proceso de separación en el relleno sanitario (El Universo, 2017). En la actualidad, es importante que las ciudades tomen en cuenta la importancia de procesar este tipo de residuos reciclables, por más insignificantes que parezcan en los rellenos sanitarios, las calles o los ríos y océanos. Por lo que, ahora más que nunca existe una necesidad urgente de controlar el manejo de desechos sólidos y aumentar el reciclaje.

B. Motivación

En el Ecuador ha surgido una tendencia en la separación de residuos. Según el INEC, el porcentaje de separación de residuos aumentó en 13% de 2010 a 2014 (El Universo, 2017) y la cifra de hogares que realiza una separación adecuada de residuos ha ido incrementando desde el 2014. La cifra que mostró ese año fue de 38.34%, en el 2015 fue de 39.40% y en el 2017 ha sido de 41.46% (Alarcón, 2017). Con estos valores se puede afirmar que la gente, no sólo está consciente del problema de la acumulación de basura en el país, sino que está actuando ante esta problemática y/o tiene una visión económica a futuro con el aprovechamiento de estos recursos. En Quito, existen alrededor de tres mil personas que reciclan informalmente; es decir, se dedican a la separación de los residuos reciclables que encuentran en los botes de basura. Para esto, se están desarrollando proyectos en donde se incluye a estas personas denominadas “mineros” para que tengan más comodidades al recolectar los residuos, reciban mayores ganancias y trabajen formalmente en ello (Jácome, 2016). Cada día, más personas se están sumando a aportar con su tiempo al separar los residuos para manejar cada parte con el debido procedimiento. Las intenciones varían en cada persona. Es decir, varía desde gente que simplemente lo hace para contribuir con el medio ambiente hasta gente que lo hace para recibir dinero a cambio. Sea cual sea la situación es una actividad que la realizan personas de distintas situaciones económicas y culturales; y que de una u otra forma beneficia a todos. Si nos enfocamos en el ingreso monetario que se obtendría sólo con los desperdicios de Quito estaríamos hablando de 600 toneladas de residuos reciclables que equivalen a \$60.000 que ganaría la ciudad al día (Jácome, 2016). Es decir, a través del aumento en el porcentaje de reciclaje estaremos ayudando no sólo al medio ambiente, sino también a la economía del país. Para ello, cabe mencionar a la industria verde que ayuda a disminuir la cantidad de desechos sólidos de los rellenos sanitarios. Se estima

que esta industria genera “500 millones de dólares al año en Ecuador” (El Universo, 2017). Estas cantidades son considerables para el aporte económico del país. De igual manera, se puede generar dinero para el país por medio de exportaciones de material reciclable triturado y/o procesado.

C. Objetivos

1. Objetivo General.

Realizar el diseño y construcción de un prototipo de trituradora de cuchillas para plástico tipo polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) y aluminio para la elaboración de material compuesto para un proceso de supra reciclaje.

2. Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir una trituradora con disponibilidad de entrada de potencia manual y motora.
- Obtener residuos triturados de plástico PET, PP y aluminio de dimensiones 10 x 10 mm aproximadamente.
- Fabricar láminas de material compuesto con porcentajes de PET, PP y aluminio.
- Realizar ensayos para obtener propiedades del material compuesto.
- Analizar las aplicaciones posibles para las láminas de material compuesto.

D. Marco Teórico

1. Reciclaje.

En la actualidad existen más de 50 tipos de plástico, los cuales tienen tiempos de degradación usualmente largos que varían según las propiedades de cada uno. Las botellas de Polietileno Tereftalato (PET) demoran 150 años en descomponerse y sus tapas de polipropileno (PP) duran entre 100 y 1000 años (Badia, Gil-Castell, & Ribes-Greus,

01/2017, p.39). Por otro lado, los metales también tienen largos tiempos de degradación dependiendo de su origen (ferroso y no ferroso). Un ejemplo de desechos metálicos a considerar son las latas de aluminio que tienen un tiempo de degradación de 10 a 100 años.

Para el proceso de reciclaje de plástico se requiere del conocimiento del rango de temperaturas a considerar para fundir los polímeros y evitar que se degraden. Este rango varía dependiendo de las composiciones de los diferentes tipos de polímeros. Para fundir PET se recomienda trabajar entre 256 y 378°C y para PP, entre 172 y 274°C. Pasados esos valores, los polímeros comienzan a descomponerse (Kandola, Ndiaye, & Price, 12/2013, p.20).

2. Supra-Reciclaje.

Es importante hacer un recorrido del mercado del reciclaje y supra-reciclaje en Ecuador para analizar el alcance al que podría llegar el proyecto y qué tan versátil puede llegar a ser. En Ecuador, se encuentran tres principales empresas dirigidas a solucionar este problema. *Intercia* es una empresa dedicada a la recolección de materiales reciclables inorgánicos para procesarlos y abastecer materias primas. *Fui* es una empresa que se dedica al supra-reciclaje de materiales inorgánicos para producir accesorios hechos a mano. *Ecuaplástico* es una empresa que se dedica a transformar plástico, madera y tetrapak en mangueras, tejas y tableros principalmente. Por otro lado, existe una gran cantidad de emprendedores independientes que buscan maneras innovadoras de supra reciclar. Por mencionar un par de ejemplos, están quienes han establecido sus emprendimientos de construcción de muebles con palets, y otros que se han dedicado a la producción de figuras de fauna ecuatoriana mediante papel reciclado. Debido a la gran cantidad de desechos sólidos reciclables producidos y consumidos a diario en el Ecuador, es necesario

que se los trate de tal manera que puedan ser aprovechados al máximo al re-utilizarlos las veces que sean posibles gracias al reciclaje y supra-reciclaje.

3. Máquinas Trituradoras.

Una trituradora es una máquina empleada para procesar material, en el cual se fracciona el material original a cierto tamaño y forma con un fin determinado.

En el mercado existe varios tipos de trituradoras y su diseño depende de la clase de material que va a ser triturado. Las trituradoras se clasifican de la siguiente manera:

a) Trituradora de mandíbula.

Este tipo de trituradoras constan de una placa fija y una móvil. Se utiliza principalmente para una trituración de primer nivel; es decir, triturado grueso y medio.

b) Trituradora giratoria.

Este tipo de trituradoras están formadas por una mandíbula cónica la cual rota de manera excéntrica haciendo que el material se quiebre. En este tipo de trituradoras están hechas principalmente para rocas como materia prima.

c) Trituradora de rodillos lisos.

Este tipo de trituradora utiliza rodillos con picos los cuales ayudan a desmenuzar el material. Al igual que la trituradora giratoria, esta utiliza como materia prima rocas.

d) Trituradora de rodillos dentados.

Esta trituradora es similar a anterior postulado, la diferencia se encuentra en que esta máquina está conformada por dientes más pronunciados los cuales pueden llegar a reducir el tamaño de la

materia prima de manera más significativa con lo cual la trituración puede ser de varios tipos de materiales (Pizarro, 2009).

La mejor manera de triturar plástico PP, PET y aluminio es utilizando una trituradora de rodillos dentados, debido a la variedad de material que se puede utilizar y el tamaño del material triturado. Como resultado, el diseño de la trituradora se basa en este tipo de trituradora y su desarrollo se puede encontrar en los siguientes enunciados.

4. Ecuaciones.

Dado que las cuchillas de la trituradora van a realizar esfuerzos cortantes sobre el aluminio, PET y PP, se deba aplicar la teoría de máximo esfuerzo cortante para materiales dúctiles para calcular el esfuerzo cortante necesario para la operación de triturado. Siendo el aluminio el material con mayores propiedades mecánicas, éstas se van a utilizar en el proceso de diseño. Según esta teoría, el material empieza a ceder cuando el esfuerzo de corte iguala o excede al esfuerzo de cedencia del material. En la siguiente ecuación se define el máximo esfuerzo cortante con el esfuerzo de cedencia y factor de seguridad.

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n} \quad (1)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante máximo, S_y el esfuerzo de cedencia del material y n el factor de seguridad (Budynas & Nisbett, 2015, p. 220).

Para el diseño de engranajes se debe tener en cuenta varios parámetros dependiendo de la aplicación a la cual se va a utilizar. Estos parámetros son la velocidad (V), el diámetro (d), material, fuerza aplicada, número de dientes, módulo de operación (m), entre otros. La velocidad del engranaje se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi dn}{12} \quad (2)$$

Donde V es la velocidad (ft/min), d el diámetro (in) y n las revoluciones por minuto.

La fuerza en unidades internacionales se obtiene de la siguiente manera:

$$W_t = \frac{60000H}{\pi dn} \quad (3)$$

Donde W_t es la fuerza tangencial que actúa sobre el diente (KN) y H es la potencia otorgada (kW) (Budynas & Nisbett, 2015, p.707).

Para obtener el diseño se utiliza el método AGMA, en el cual se considera los esfuerzos de contacto y flexión. Se obtiene estos esfuerzos mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} \quad (4)$$

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_{w1} b} \frac{Z_R}{Z_I}} \quad (5)$$

Donde σ y σ_c son los esfuerzos de flexión y contacto respectivamente, K_o es el factor de sobrecarga, K_v factor dinámico, K_s factor de tamaño, b el ancho del engranaje, m_t el módulo, K_H factor de distribución de carga, K_B factor de espesor de borde, Y_J el factor de geometría, Z_R la condición de superficie, Z_E coeficiente elástico, d_w diámetro del piñón y Z_I factor de geometría para picadura.

De igual manera, en el método AGMA se debe obtener los esfuerzos admisibles para flexión y contacto los cuales se puede obtener con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{all} = \frac{S_t Y_N}{S_F Y_\theta Y_Z} \quad (6)$$

$$\sigma_{c,all} = \frac{S_c Z_N Z_W}{S_H Y_\theta Y_Z} \quad (7)$$

Donde σ_{all} y σ_c , all son los esfuerzos de flexión y contacto admisibles respectivamente, S_F y S_H son los factores de seguridad de diseño, S_t el esfuerzo de flexión permisible, Y_N factor de esfuerzo cíclico en flexión, Y_θ factor de temperatura, Y_Z factor de confiabilidad, S_c el esfuerzo permisible en contacto, Z_N el factor de vida de esfuerzo cíclico y Z_w el factor de dureza. (Budynas & Nisbett, 2015, p. 746)

Las siguientes ecuaciones son necesarias para calcular los momentos y torques a los que se encuentran sometidos los ejes.

$$M = Fd \quad (8)$$

Donde M es el momento, F la fuerza y d es la distancia.

$$T = Fd \quad (9)$$

Donde T es el torque, F la fuerza y d el diámetro.

$$T = \frac{P}{n} \quad (10)$$

Donde T es el torque, P la potencia y n la velocidad rotatoria.

Para calcular la velocidad de rotación de los ejes se debe considerar la siguiente relación.

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 \quad (11)$$

Donde n_1 es la velocidad de rotación de un engranaje o una catalina, d_1 es el diámetro de dicho componente, n_2 es la velocidad de rotación de otro engranaje o catalina unido al primero y d_2 es su diámetro.

Para el análisis de los ejes es necesario considerar los diámetros mínimos aceptables por medio de la siguiente ecuación.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left(\frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right) \right\}^{1/3} \quad (12)$$

Donde d representa al diámetro, n es el factor de seguridad, S_e es el límite de resistencia en una ubicación crítica, S_{ut} es la resistencia mínima a la tracción, K_f y K_{fs} son los factores de concentraciones de esfuerzo de fatiga por flexión y por torsión, M_m y M_a son los momentos de rango medio y alterno, T_m y T_a son los torques de rango medio y alterno, respectivamente. (Budynas & Nisbett, 2015, p. 360)

Para el cálculo de estas resistencias y factores se requiere de una serie de ecuaciones alternas según varios parámetros del sistema. Para el cálculo de S_e es necesaria la siguiente ecuación.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (13)$$

Donde k_a es el factor de modificación de condición de superficie, k_b el factor de modificación de tamaño, k_c el factor de modificación de carga, k_d el factor de modificación de temperatura, k_e el factor de confiabilidad, k_f el factor de modificación de efectos misceláneos y S_e' es el límite de resistencia secundario o de prueba de espécimen de viga rotatoria (Budynas & Nisbett, 2015, p. 295).

Las siguientes ecuaciones son las que se considerarán en el cálculo de estos factores.

Límite de resistencia secundario:

Se lo puede obtener de un gráfico que lo relaciona a este con el esfuerzo mínimo de tracción. Sin embargo, se puede utilizar la siguiente ecuación que se deriva de dicho gráfico (Budynas & Nisbett, 2015, p. 290).

$$S_e' = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 1400MPa \\ 700MPa & S_{ut} > 1400MPa \end{cases} \quad (14)$$

Factor de modificación de superficie:

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (15)$$

Donde a y b son factores que se rigen a la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros para factores de modificación de superficie (Budynas & Nisbett, 2015, p. 296).

Acabado Superficial	Factor "a" (S_{ut} en MPa)	Exponente "b"
Básico	1.58	-0.085
Maquinado o trabajado en frío	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

Factor de modificación de tamaño:

$$k_b = \begin{cases} 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51mm \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254mm \end{cases} \quad (16)$$

Dicha condición aplica para casos de flexión y torsión. (Budynas & Nisbett, 2015, p. 296)

Factor de confiabilidad:

Tabla 2.Factor de confiabilidad según el porcentaje de confiabilidad (Budynas & Nisbett, 2015, p. 301).

Confiabilidad, %	Factor de confiabilidad k_e
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Factor de concentraciones de esfuerzo de fatiga por flexión:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (17)$$

Donde q es la sensibilidad de muesca y se la puede encontrar en la figura 1.

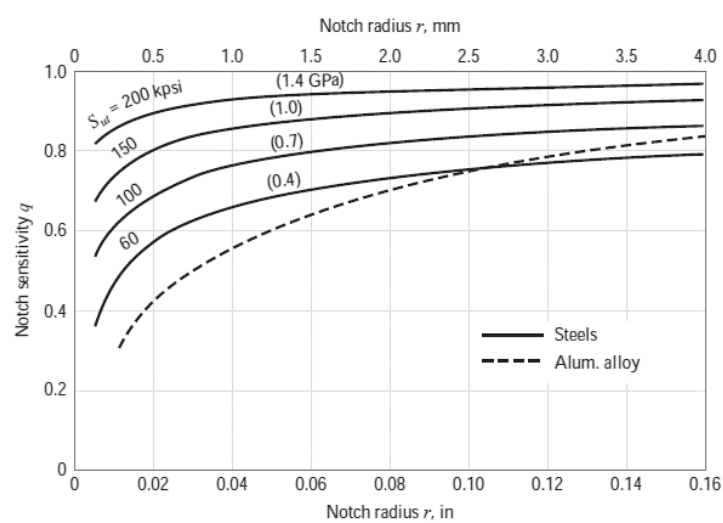


Figura 1.Gráfico de sensibilidad de muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a flexión y cargas axiales invertidas (Budynas & Nisbett, 2015, p. 303).

Factor de concentraciones de esfuerzo de fatiga por torsión:

$$K_{fs} = 1 + q_{shear}(K_{ts} - 1) \quad (18)$$

Donde q es la sensibilidad de muesca por cortante y se la puede encontrar en la figura 2.

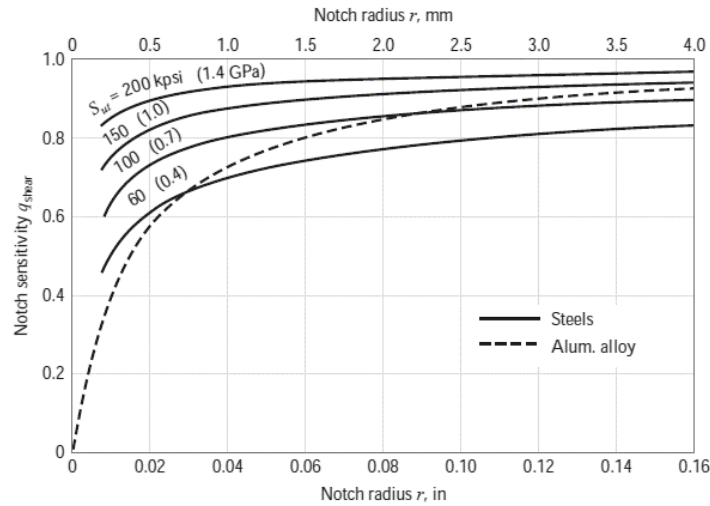


Figura 2. Gráfico de sensibilidad de muesca para aceros y aleaciones de aluminio sometidos a torsión invertida (Budynas & Nisbett, 2015, p. 304).

Los factores K_t y K_{ts} son de concentraciones de esfuerzo estimado para flexión y torsión, respectivamente. Estos pueden ser encontrados en la tabla 3 para la primera iteración y en las figuras 3 y 4 para las siguientes iteraciones.

Tabla 3. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para primera iteración (Budynas & Nisbett, 2015, p. 365).

	Bending	Torsional	Axial
Shoulder fillet-sharp ($r/d=0.02$)	2.7	2.2	3.0
Shoulder fillet-well rounded ($r/d=0.1$)	1.7	1.5	1.9
End-mill keyseat ($r/d=0.02$)	2.14	3.0	-
Sled runner keyseat	1.7	-	-
Retaining ring groove	5.0	3.0	5.0

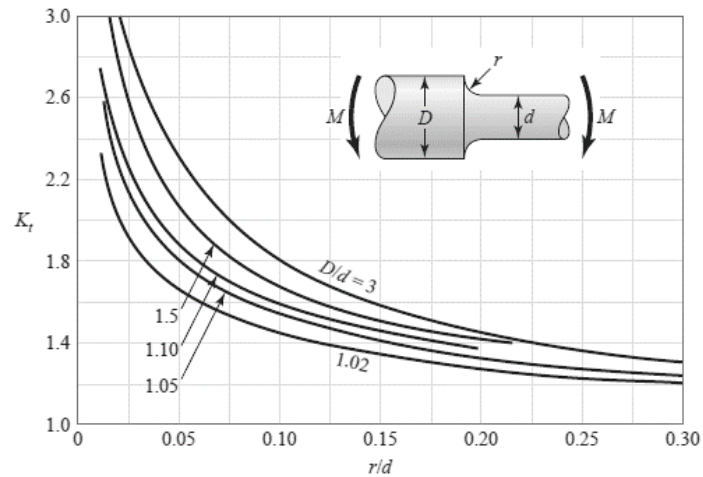


Figura 3. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para flexión (Budynas & Nisbett, 2015, p. 1036).

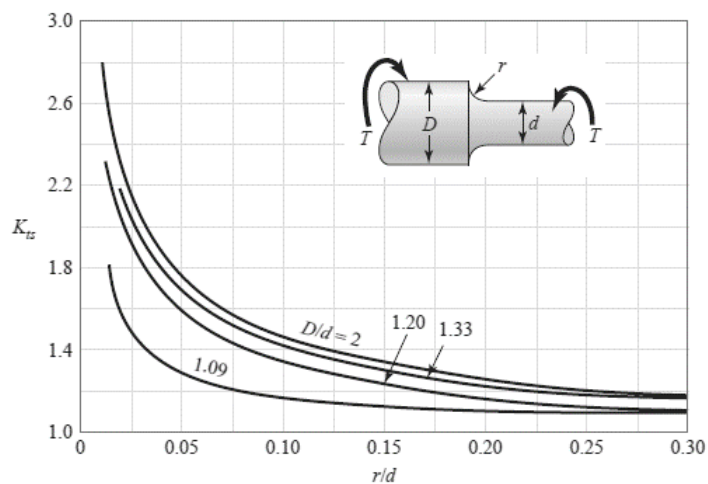


Figura 4. Factores estimados de concentraciones de esfuerzo para torsión (Budynas & Nisbett, 2015, p. 1036).

5. Materiales Compuestos.

Se propone producir planchas de material compuesto de matriz polimérica y refuerzo metálico para su posterior análisis de propiedades y comparación. Los materiales compuestos están formados, principalmente, por una matriz y un refuerzo. La matriz o base del material compuesto es el componente presente en fase continua y actúa como ligante. El refuerzo es el componente presente en fase discontinua y es el que provee la

resistencia al conjunto. El propósito principal de un material compuesto es combinar las propiedades requeridas de cada uno de los componentes que lo conforman para superar las características de un material monolítico. En esta aplicación, se busca un compuesto de alta resistencia (mayor a la resistencia del componente de la matriz) y bajo peso (menor al material del refuerzo). Para ello, se planea fabricar un material compuesto que combine PP como matriz y aluminio y PET como refuerzo. En los tipos de refuerzos constan las partículas, fibras continuas o discontinuas. Se elige las primeras que son las más económicas para ser ubicadas de manera discontinua y aleatoria en la matriz, obteniendo propiedades isotrópicas en todo el material (Edil, Velasco y Torralba, 04/2000, p. 181).

En este proyecto, se utilizará PP como matriz. El PP es un material termoplástico y reciclable (Escudero, 04/2001, p. 48). Es decir, es deformable y maleable conforme aumenta la temperatura, lo que facilita el cambio de forma para su uso en varias aplicaciones. Sin embargo, si la temperatura se incrementa mucho puede empezar a degradarse. Como refuerzo, se utilizará partículas de aluminio, el cual es un metal dúctil, liviano y resistente a tracción. La matriz es la encargada de resistir los esfuerzos de compresión, mientras que el refuerzo, los de tracción. La matriz y el refuerzo tienen que estar unidos para que las cargas se distribuyan. De no ser así, los esfuerzos actuarán únicamente sobre la matriz. Ésta debe deformarse a cargas inferiores a las que estará sometido el compuesto; sin embargo, estas deformaciones tienen que ser inferiores a su rotura. De esta forma, la matriz transfiere las cargas al refuerzo correctamente. Para asegurar una unión fuerte entre las partes, es necesaria la adición de un aditivo. Sin él, las propiedades mecánicas del material compuesto pueden resultar menores a las de sus precursores. Además, se debe considerar las temperaturas de dilatación de los materiales asociados para evitar tensiones internas en el caso de someterlos a altas temperaturas (Edil, Velasco y Torralba, 04/2000, p. 183).

6. Ensayos de Propiedades.

Para analizar las propiedades del material compuesto se debe realizar ensayos de tracción para este y para material monolítico de la matriz para compararlos. Probetas rectangulares son para material compuesto y sus dimensiones están especificadas por la norma ASTM D3039/D3039M-08 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials y las probetas para polímeros tienen la forma y dimensiones especificadas según la norma ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Estas son fijadas a una máquina de tracción por cabezas de sujeción cilíndrica, cónica o roscada. Se les aplica una fuerza uniaxial progresiva hasta que lleguen a la ruptura. De esta forma se obtiene la fuerza a la cual fueron sometidos y el alargamiento que experimentaron. Con tales resultados, una gráfica de esfuerzo-deformación es trazada para cada probeta. Y, finalmente, éstas son comparadas para obtener datos de resistencia y tensiones de deformación (Leyensetter y Würtemberger, 1987, p.175).

II. DESARROLLO

A. Diseño y Especificaciones

Se establece las siguientes especificaciones para el diseño del prototipo de trituradora de cuchillas rotatorias:

- Trituradora modular de dos partes: Caja de trituración y sistema de transmisión de potencia.
- Fácil acople y desacople de sus componentes.
- Fácil mantenimiento.
- Dimensiones de la caja de trituración: 200x120x200 mm como altura, profundidad y largo respectivamente, como se indica en la figura 5.

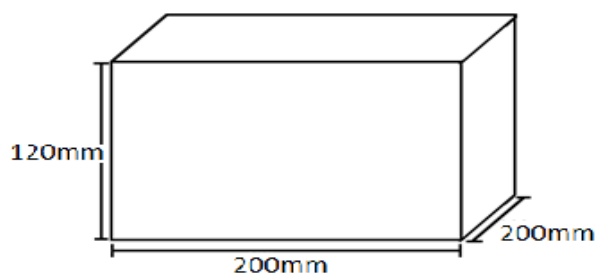


Figura 5. Dimensiones máximas de la caja de trituración.

- Estructura de acero (por bajo costo y fácil disponibilidad en el mercado local).
- Diez pares de cuchillas, separadores y guías de 10 mm de espesor.
- Engranajes para la transmisión de movimiento.
- Ejes hexagonales
- Placas de acero para la caja de trituración
- Velocidad de trabajo manual: 30 rpm
- Motor eléctrico

- Reductor de velocidad para motor con velocidad de salida de 100 rpm.
- Catalinas y cadena
- Manivela
- Soportes
- Tolva
- Caja de recolección de viruta
- Varios

Con las especificaciones ya establecidas se procede a realizar los cálculos necesarios con las ecuaciones anteriormente mencionadas para el correcto desempeño de la trituradora y sus partes críticas. Hay que considerar que las partes críticas consideradas son: los engranajes, ejes y cuchillas.

B. Resultados

1. Cálculos.

De acuerdo a las especificaciones del diseño anteriormente mencionadas, se debe tener en cuenta que el material a usarse debe ser acero A36 y SAE 1018, que los engranajes son rectos y que se debe realizar endurecimiento superficial para evitar desgaste en los componentes críticos (engranajes y cuchillas).

El análisis del prototipo de trituradora empieza con el estudio de los elementos a triturar, por lo que se debe tener en cuenta las propiedades y las cargas a las cuales van a estar sometidos los componentes de máquina. Considerando que se debe cizallar el material a triturar, se establece como factor de seguridad el valor de 1 para los cálculos respectivos. Se utiliza la ecuación 1 que requiere que los esfuerzos de cedencia de cada material mostrados en la tabla 4 (S_y) y el valor mencionado de factor de seguridad para obtener los esfuerzos cortantes máximos de cada material como se muestra a continuación en la tercera columna de la tabla 4.

Tabla 4. Esfuerzos de cedencia y cortantes del aluminio, PET y PP.

Material	Sy (Mpa)	τ_{max} (MPa)
Aluminio	400	200
PET	80	40
PP	42	21

Estos son los esfuerzos de cada uno de los materiales para llegar a su ruptura. Estos valores nos reflejan que el aluminio es el material con mayor esfuerzo cortante, por tanto, será el que se considerará para el análisis.

El esfuerzo cortante es igual a una fuerza sobre el área transversal al que es aplicada. El área transversal está definida por un rectángulo de espesor de 10 mm, determinado por la cuchilla, y el espesor del material (t). En consecuencia, se tiene una ecuación con una variable: la fuerza necesaria para que el material falle.

Para definir el espesor del material con el que se va a trabajar se considera el caso más extremo que se puede tener. Para ello, se mide el espesor de una lata de aluminio comprimida por sus extremos, teniendo un valor de 3 mm. Con este valor, se obtiene una fuerza de 6000 N. Una vez establecida la fuerza necesaria para que el material falle, se procedió a obtener la potencia mínima del motor para se pueda lograr la trituración del material. Con la ecuación 3 y tomando en cuenta una velocidad de rotación de las cuchillas de 100 rpm que se impone, se obtuvo el siguiente resultado:

$$H = \frac{\pi * F * d * n}{60000} = \frac{\pi * 6 * 100 * 100}{60000} = 3.1415 \text{ (kW)}$$

Esta potencia también se la puede escribir como 4.21 HP, por lo cual se necesitaría un motor de igual o superior valor para poder realizar la trituración sin ninguna dificultad. Dado que por ser esta máquina un prototipo de costo reducido, una potencia de este tipo no va a ser económicamente viable. Por lo tanto, se establece triturar las paredes de las latas únicamente, las cuales tienen un espesor de 0.3 mm aproximadamente y requieren de una potencia más pequeña, como se puede observar en la tabla 5. Finalmente, se elige una potencia que dobla este valor para cubrir las ocasiones en las que el material se doble antes de ser triturado.

Tabla 5. Especificaciones de fuerza de cedencia y potencia para cada espesor.

Espesor (mm)	Fuerza (N)	Potencia (HP)
3	6000	4,21
0.3	600	0,421
0.7	1424	1

Adicionalmente, en el uso de la manivela se establece una velocidad de entrada de 30 rpm y un diámetro de la manivela de 30 cm, debido a que se busca la comodidad de la persona al ejecutar el movimiento. Considerando la fuerza de 600 N para el espesor de 0.3 mm (tabla 5) y un factor de reducción de velocidad de 3/5 establecido para la manivela por medio de catalinas, se obtiene una velocidad de salida a las cuchillas adecuada para el sistema y una fuerza de entrada cómoda para la persona que tiene que ejecutarla. Tales valores se ilustran en la tabla 6.

Tabla 6.Fuerzas y velocidades de entrada y salida de la trituradora con manivela.

Fuerza de salida (N)	600
Velocidad de entrada (rpm)	30
Factor de reducción	3/5
Velocidad de Salida (rpm)	19.5
Fuerza de entrada (N)	32.5

El desgaste es un factor de gran importancia en maquinaria con constante rozamiento y movimiento, como es una trituradora. Este deterioro de material se encuentra principalmente en elementos críticos como engranajes y las cuchillas de la trituradora; debido a que estos componentes se encuentran haciendo el trabajo de trituración o simplemente están transmitiendo el movimiento. Para evitar el desgaste, se realiza un tratamiento superficial de cementado a estos componentes. Este proceso consiste en la difusión de carbono sobre la superficie del material haciendo que éste permanezca dúctil en el interior y que posea una gran dureza en la superficie, haciéndolo ideal para componentes que se encuentren en constante fatiga y desgaste.

El acero a utilizarse en la fabricación de los componentes de la trituradora es el A36, el cual tiene un bajo contenido de carbono menor a 0.26% (Kalpakjian y Schmid, 2002, p.147). Este acero tiene una microestructura como se muestra en las siguientes figuras:

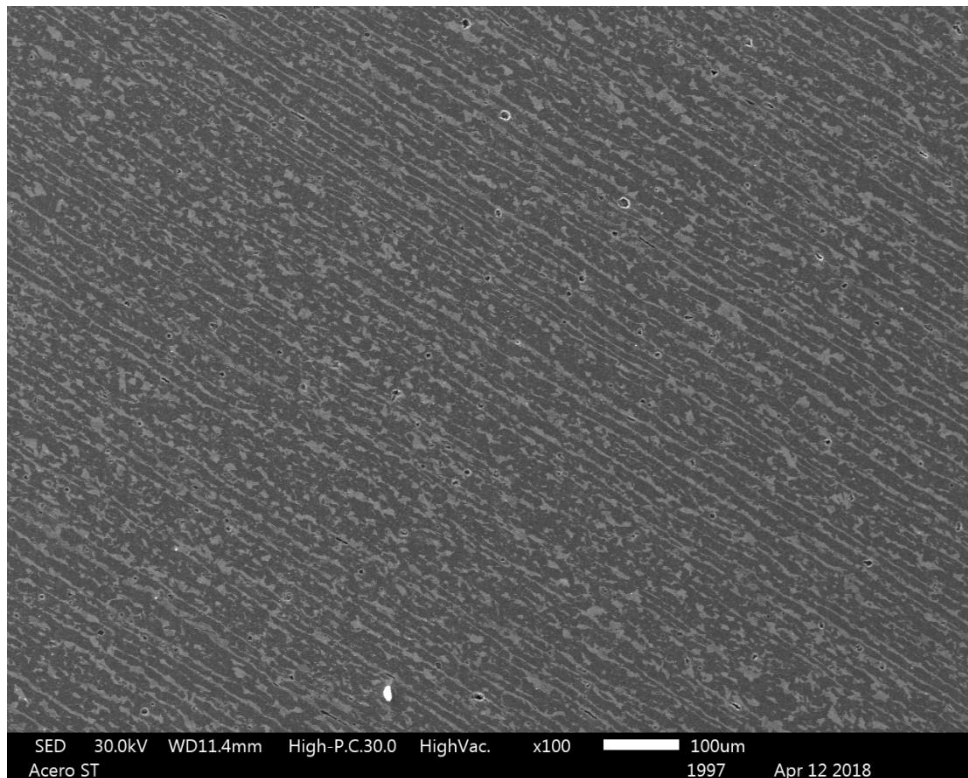


Figura 6.Microestructura del Acero A36 a 100X.

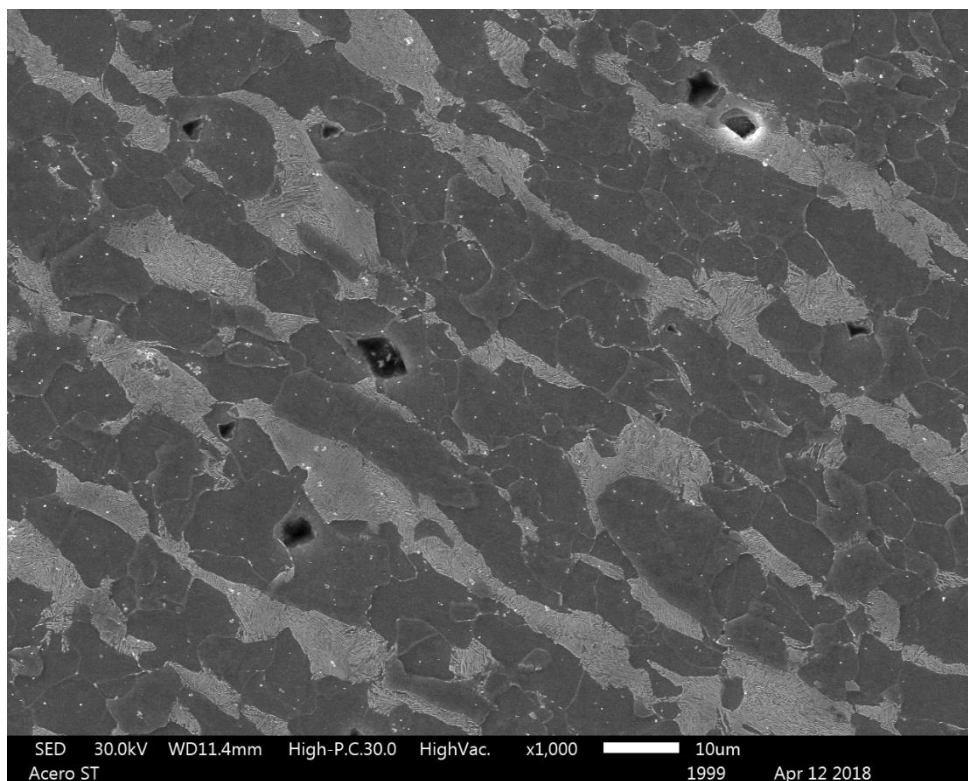


Figura 7.Microestructura del Acero A36 a 1000X.

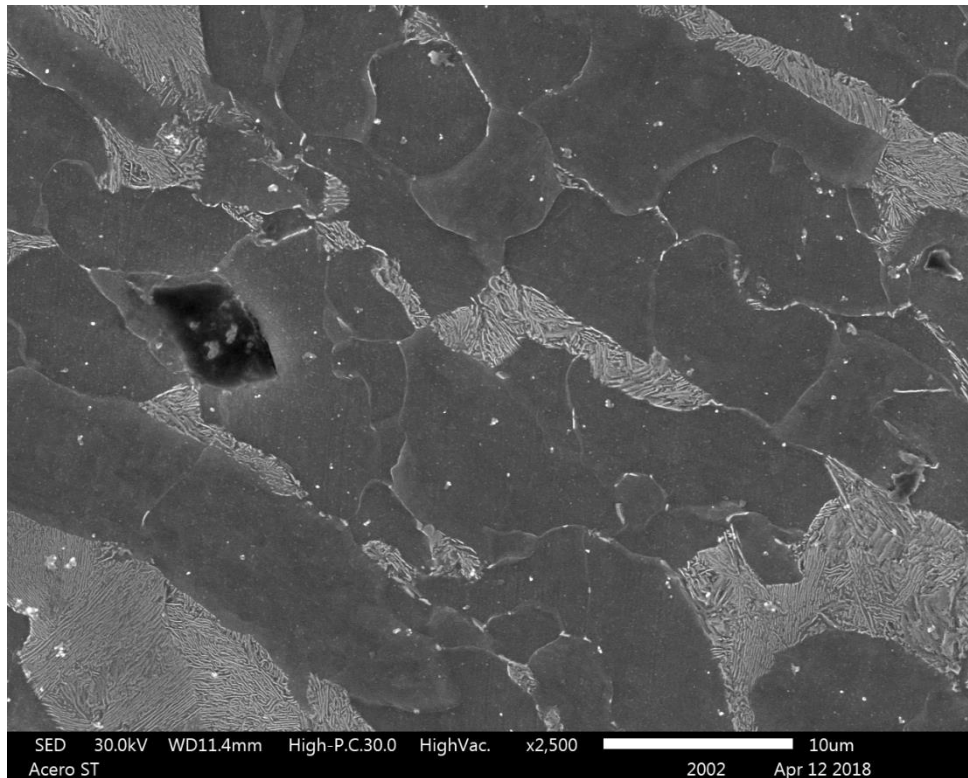


Figura 8.Microestructura del Acero A36 a 2500X.

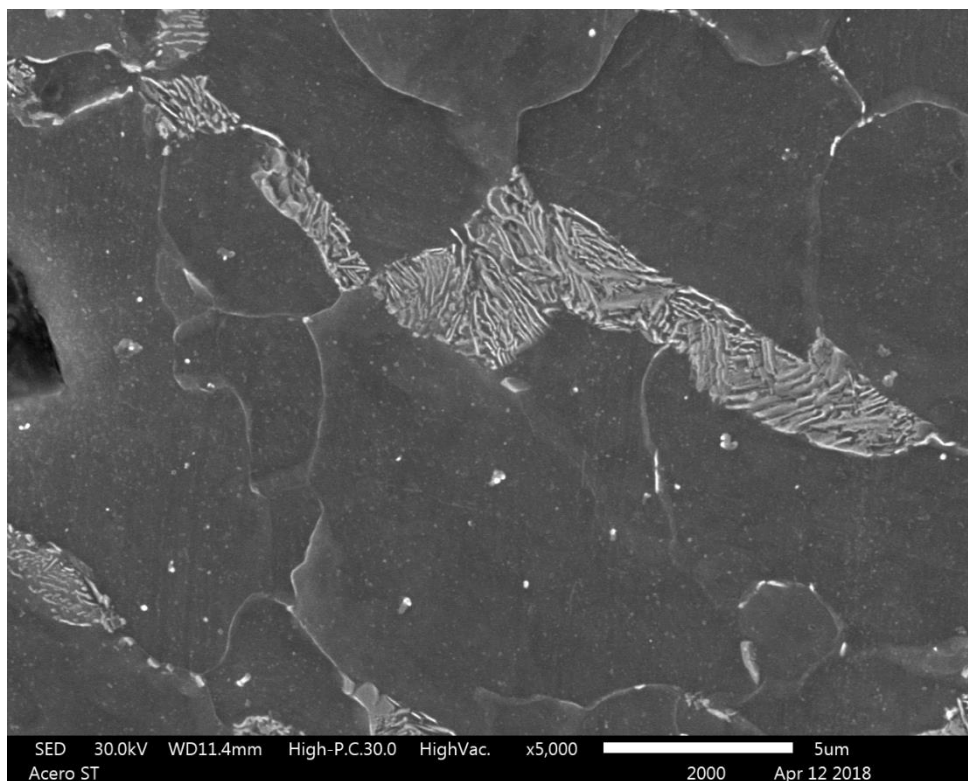


Figura 9.Microestructura del Acero A36 a 5000X.

En la figura 6 se puede observar claramente una dirección de formación de las microestructuras gracias al proceso de formación de este tipo de acero. En las figuras 7, 8 y 9 se observa claramente el tipo de microestructura del metal, el cual está formado principalmente por ferrita pro-eutectoide (parte gris en la micrografía) y perlita (la parte rayada). Los granos de ferrita tienen un diámetro promedio de 10 micras mientras que los granos de perlita tienen un diámetro que varía de 5 a 10 micras.

Se realizaron ensayos de dureza Vickers, con el cual se obtuvo los siguientes resultados, además de transformarlos a dureza Brinell para posteriores cálculos para el acero A36 sin tratamiento.

Tabla 7.Dureza Vickers y Brinell del acero A36 sin tratar.

Dureza	
HV	HB
183.3	183
172.1	172
187.9	188
181.9	182
184.5	185
Promedio	
181.94	182

Se obtuvo una dureza promedio de 181.94 HV o 182 HB. El tratamiento de cementado aplicado fue de 1 milímetro de espesor. Las siguientes figuras muestran el acero A36 tratado con ese proceso.

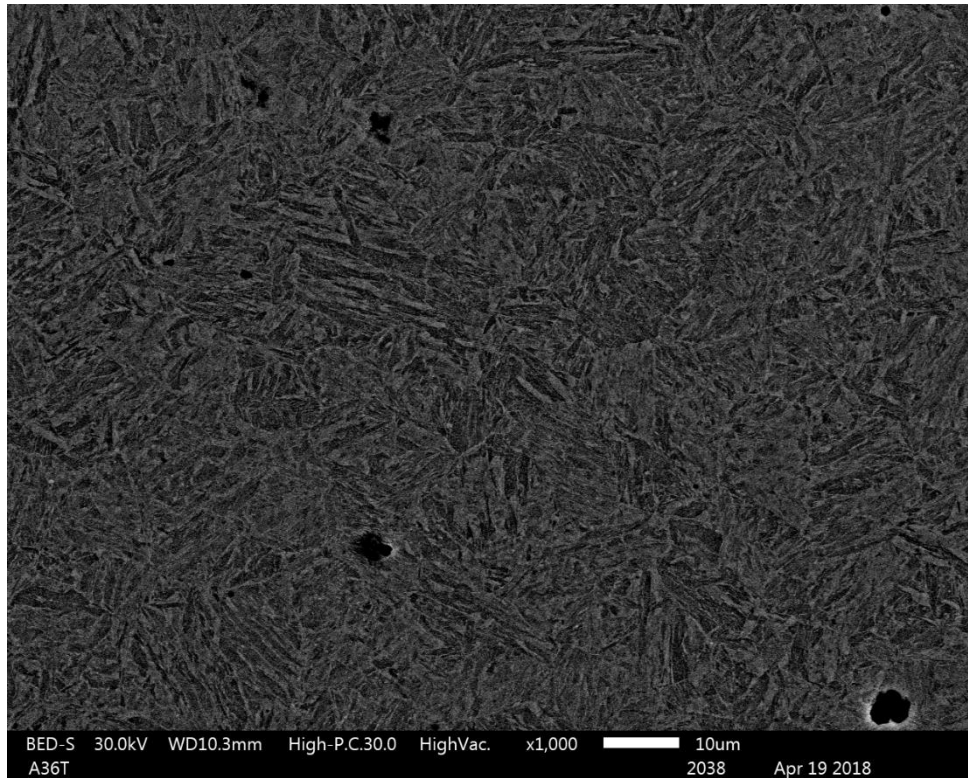


Figura 10.Microestructura del Acero A36 tratado a 1000X (BED).

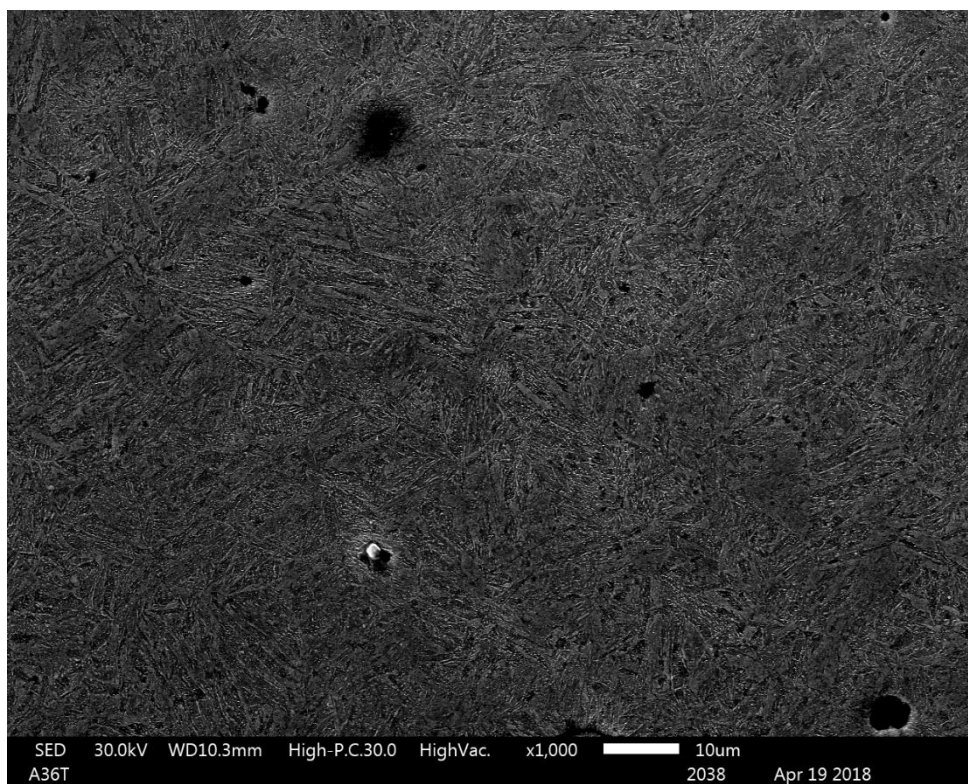


Figura 11.Microestructura del Acero A36 tratado a 1000X (SED).

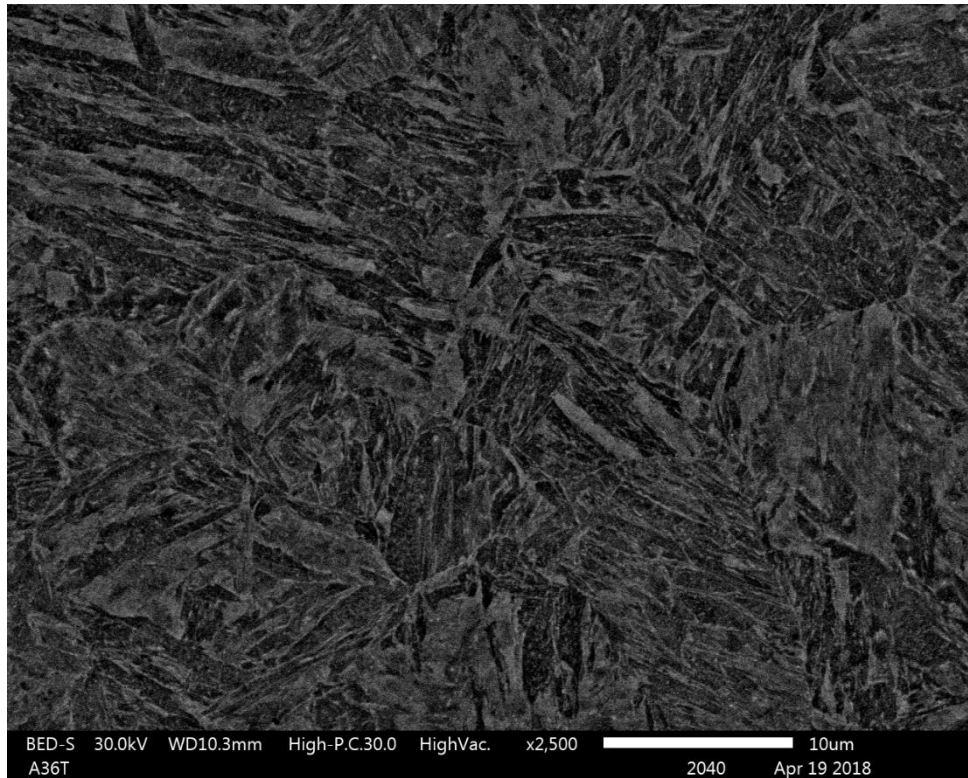


Figura 12.Microestructura del Acero A36 tratado a 2500X (BED).

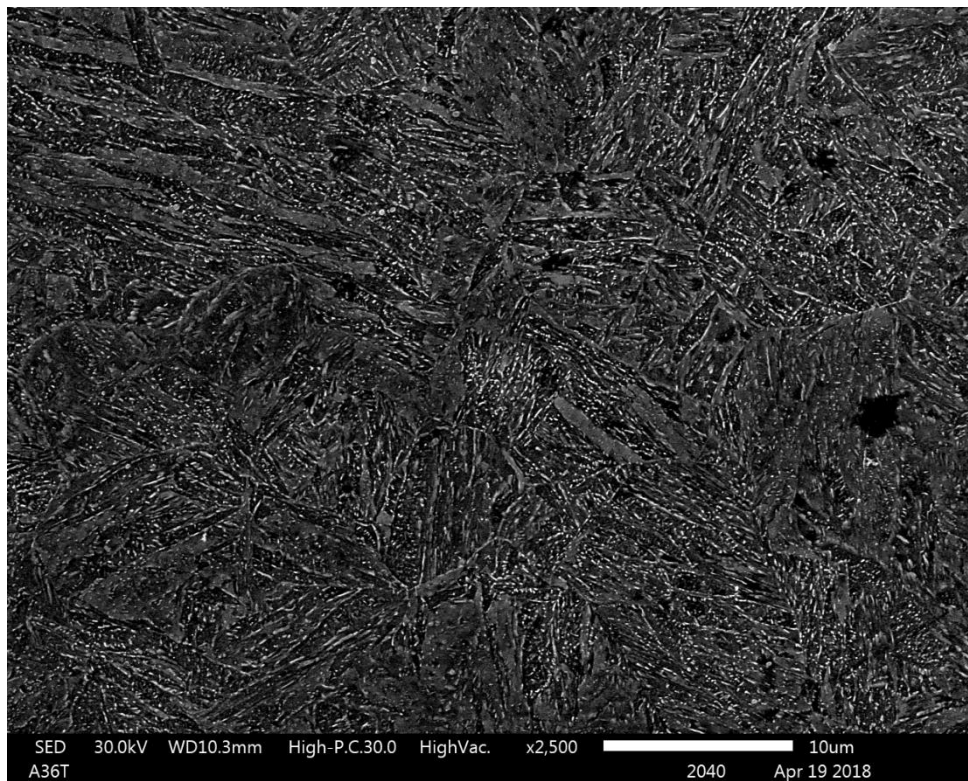


Figura 13.Microestructura del Acero A36 tratado a 2500X (SED).

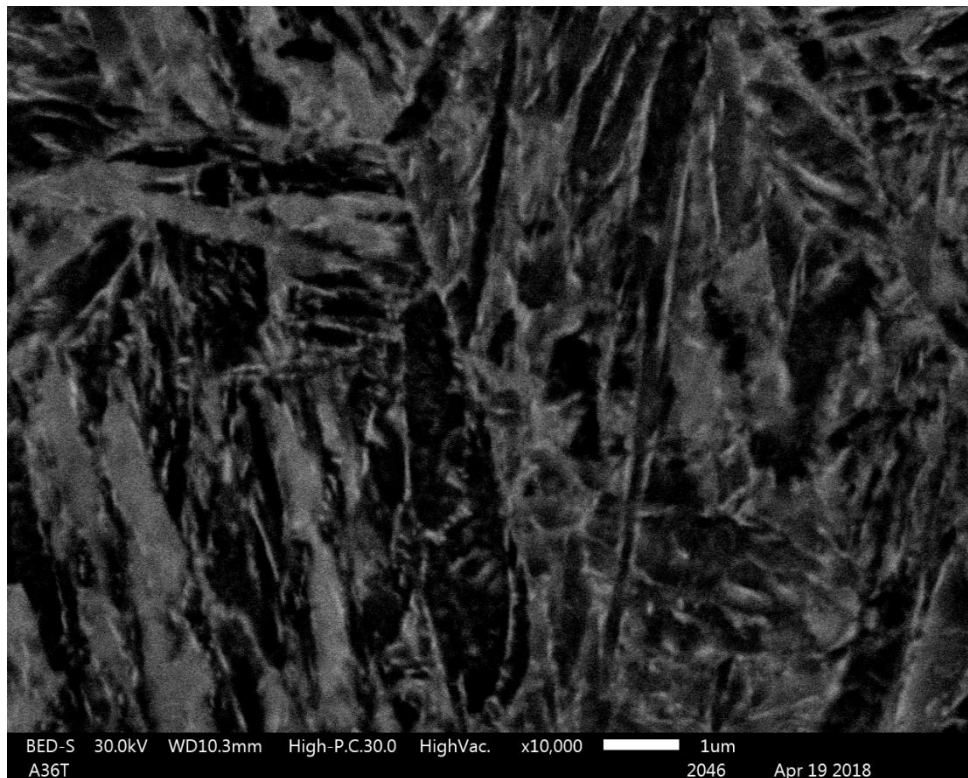


Figura 14. Microestructura del Acero A36 tratado a 10kX (BED).

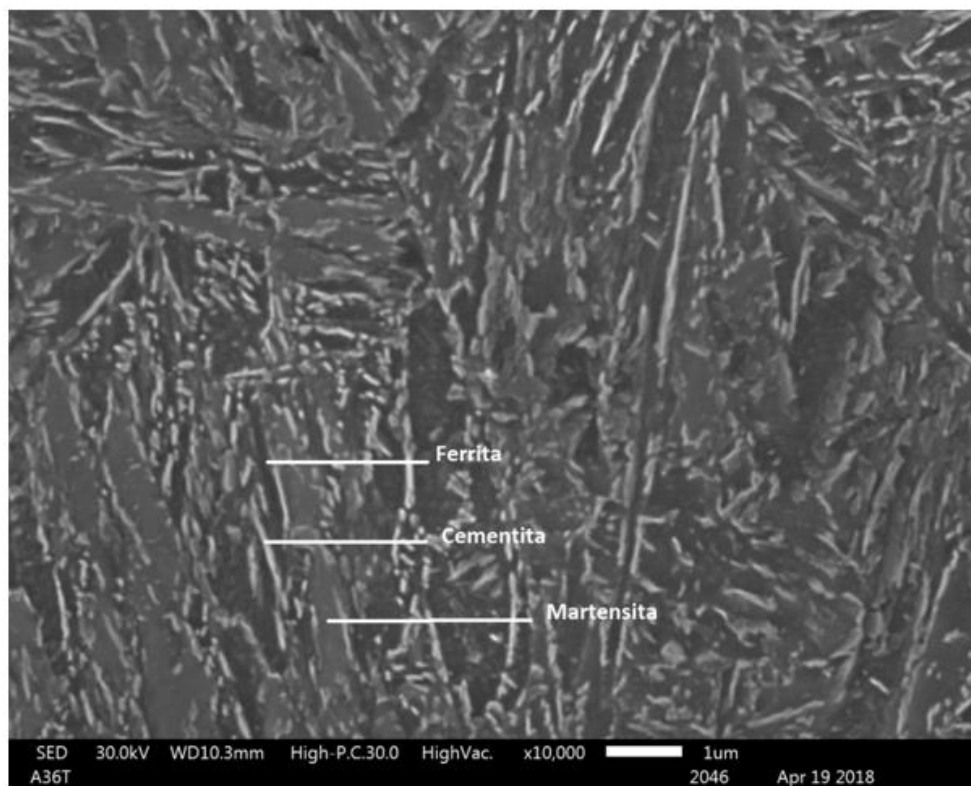


Figura 15. Microestructura del Acero A36 tratado a 1kX (SED).

En las figuras 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se puede observar la microestructura del acero cementado. Las figuras 14 y 15 muestran claramente una estructura bainítica, con sus límites de grano marcados y visiblemente diferentes al del acero no tratado. En la figura 15 se puede observar con mayor facilidad la vainita, en la cual se distingue la martensita, cementita y ferrita en la microestructura. Estas figuras demuestran que la cementación se produjo en toda la superficie del material, dando como resultado un aumento de dureza en el material. Debido al proceso de difusión que implica el cementado, esta estructura bainítica está formada por fases de ferrita y cementita que se caracteriza por su forma de agujas o placas como se muestra en las figuras (William & Callister, 2010). Con los ensayos de dureza de Vickers y transformándolos a Brinell se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 8.Dureza Brinell y Vickers del acero cementado.

Dureza	
HV	HB
316,4	300
336,7	319
328,7	312
325,3	309
331,6	314
Promedio	
327.74	310.8

La dureza promedio obtenida del acero tratado es de 327.74 HB o 310.8 HV.

La dureza entre el acero tratado y el no tratado tiene una diferencia notable de 128.8 HB; dando como resultado que la cementación produzca un incremento de dureza

en el material, haciendo que éste pueda tener una mayor resistencia al desgaste por rozamiento.

Engranajes:

Siendo los engranajes uno de los componentes críticos en la trituradora debido a su función, se procedió a realizar el diseño mediante el teorema AGMA que considera factores como la velocidad, potencia de entrada, material, entre otros, como relevantes para obtener un factor de seguridad deseado.

En primer lugar, en el diseño de engranajes, se toma en cuenta la interferencia que se permite para que se establezca un número mínimo de dientes para el correcto funcionamiento.

Tabla 9. Interferencia de los engranajes, número mínimo de dientes, número de dientes tomados.

Interferencia	
Np min	12,323
Np tomado	15
NG tomado	15

El sufijo p y G hace referencia para el piñón (engranaje pequeño) y el engranaje. Sin embargo, en el diseño de la trituradora éstos dos son del mismo tamaño, debido a que tienen un módulo de relación de valor 1 porque sólo se los utiliza para tener un movimiento de la misma velocidad, pero en sentido opuesto entre los ejes enlazados.

Una vez obtenido los valores de interferencia, se establece los siguientes valores iniciales de diseño de los engranajes como se indica en las siguientes tablas:

Tabla 10. Condiciones iniciales del diseño de engranajes establecidos.

Datos Iniciales	
φ (°) ángulo p.	20
Módulo[mG]	1
Engranaje	
Diámetro(mm)	100
b(mm)Espesor	10
Pitch (mm)	20,94
Módulo [m] (mm/#d)	0,01
Superficie	
Dureza (HB)	310.8

Debido a que la máquina cuenta con una entrada manual y una motora, el análisis se clasifica en dos casos: caso 1) con manivela y caso 2) con motor. A continuación, en las tablas 11 y 12 se detallan las condiciones iniciales que se consideran en el análisis de los engranajes para ambos casos:

Caso 1: Manivela

Tabla 11. Condiciones iniciales del diseño de engranajes con manivela.

Datos Iniciales	
Diámetros (cm)	
Manivela	30
Catalina 1	6,5
Catalina 2	10
Engranaje	10
Cuchilla	10
Fuerza (N)	
Kg	5
Fuerza Ent.	49.05
Velocidad Ent. (rpm)	
Manivela	30

Caso 2: Motor

Tabla 12. Condiciones iniciales del diseño de engranajes con motor.

Motor	
P (HP)	1
V(rpm)	1695
Diámetro eje (m)	0,02
Caja Reductora	
Factor	14
V Salida (rpm)	121.1

Los factores de diseño para cada caso se mantienen iguales, debido a que sólo dependen del material y las dimensiones de los engranajes como se indica en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de los factores de diseño para flexión y contacto.

Factores de Diseño σ		Factores de Diseño σ_{all}	
Ko	1	ST (Mpa)	248,96
Kv	1,000	YN	1,185
Ks	1,181	Y θ	1
KH	1,468	YZ	0,85
KB	1	SC (Mpa)	889,98
YJ	0,33	ZN	1,138
ZE	191	ZW	1
ZR	1		
ZI	0,0803		

Los factores que se establecen bajo el símbolo σ son para los esfuerzos con los que se va a trabajar, mientras que los que están bajo σ_{all} son para obtener los esfuerzos permisibles de diseño.

Finalmente, con todos los valores iniciales y con las ecuaciones de diseño 4, 5, 6, y 7 (por el método AGMA) se obtuvo los resultados para los dos casos, los cuales se muestran en las tablas 14, 15, 16 y 17.

Caso1: Manivela

Tabla 14.Resultados de esfuerzos para flexión y contacto.

Esfuerzos (MPa)	
σ_b	38,90
σ_c	623,54
$\sigma_{all,b}$	347,10
$\sigma_{all,c}$	1191,10

Tabla 15.Resultados de los factores seguridad para flexión y contacto.

Factores de Seguridad	
SF	8,9
SH	1,91
SH ²	3,65

Caso 2: Motor

Tabla 16.Resultados de esfuerzos para flexión y contacto.

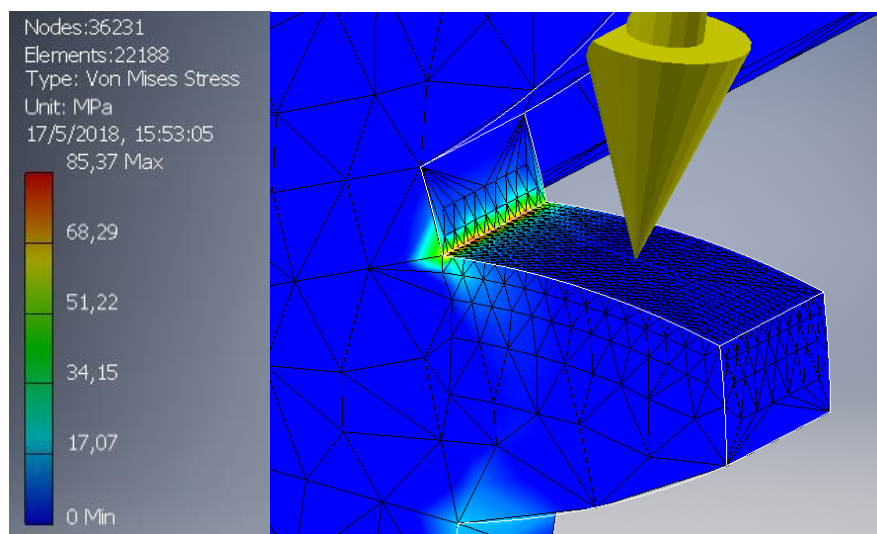
Esfuerzos (MPa)	
σ_b	92,7
σ_c	962,5
$\sigma_{all,b}$	347,1
$\sigma_{all,c}$	1191,1

Tabla 17. Resultados de los factores seguridad para flexión y contacto.

Factores de Seguridad	
SF	3,74
SH	1,24
SH ²	1,53

Comparando los esfuerzos permisibles del diseño con motor y manivela se puede apreciar que con el motor son mayores, por lo que van a hacer que los factores de seguridad sean menores a los correspondientes a la manivela. Asimismo, se puede ver que los factores de seguridad para flexión (Sf) son mayores a los factores para contacto (SH²), por lo que los engranajes antes de fallar por flexión fallarán por contacto en cada uno de los casos.

Una vez obtenidos los resultados para el diseño de los engranajes se realizó una simulación, con la cual se puede comprobar que los engranajes no se encuentran sometidos a mayores esfuerzos de los especificados anteriormente como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 16.** Simulación del engranaje.

Ejes:

El análisis de los ejes se enfoca en el diámetro mínimo permisible debido a una serie de parámetros. Para ello, se requiere hacer una sumatoria de fuerzas y de momentos (ecuación 8) para obtener los valores de todas las reacciones en los rodamientos y, a partir de esto, obtener el mayor momento en los cambios de secciones de los ejes para saber cuál es la sección crítica por considerar. Para esto, se necesita saber los valores de todas las fuerzas sometidas en los ejes para cada caso (con manivela o con motor).

Caso 1: Manivela

La fuerza de entrada es igual a la fuerza de la manivela. Se utiliza la ecuación 9 para calcular el valor del torque del eje. Además, como cada componente de éste va a tener el mismo torque, se puede relacionar la fuerza existente en cada uno de los componentes con sus diámetros, como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Torque y fuerzas en los ejes estáticos (Caso 1).

Torque (Nm)	22.5
Fuerza (N)	
Manivela	75
Catalina 1	346.15
Catalina 2	225
Engranaje	225
Cuchilla	225

Los valores de las fuerzas que se va a utilizar están relacionados con las fuerzas de los engranajes que se muestran a continuación (tabla 19), los cuales fueron calculados a partir de la ecuación 3.

Tabla 19.Fuerzas engranajes (Caso 1).

Fuerzas Engranaje	
Wt (kN)	0.45276923
Wr (kN)	0.16479452
Wtotal (kN)	0.48182695

El valor de la fuerza tangencial del engranaje es el mismo para la cuchilla y para la catalina, ya que tienen el mismo torque y el mismo diámetro. Considerando un ángulo de 55° para la fuerza en el diente de la cuchilla, se obtienen los siguientes valores que se muestran en la tabla 20.

Tabla 20.Fuerzas en los ejes (caso 1).

Fuerzas		
Cuchilla (N)		Catalina (N)
Tangencial	Radial	450
368.62	258.11	

Se utiliza la ecuación 11 para relacionar la velocidad de la manivela con su diámetro y las velocidades de los demás componentes con sus diámetros. A continuación, se muestra la tabla 21 con dichos valores:

Tabla 21. Velocidades rotatorias de los componentes.

	n (rpm)
Manivela	30
Catalina 1	
Catalina 2	19.5
Engranaje	
Cuchilla	

Caso 2: Motor

Las fuerzas en los engranajes se calculan con la ecuación 3. Las fuerzas de las cuchillas tendrán el mismo valor porque tienen el mismo diámetro. Con estos valores y los datos iniciales del motor mencionados anteriormente, se procede a utilizar la ecuación 9 para saber el torque de los ejes. La tabla 22 detalla estos valores.

Tabla 22. Torque y fuerzas en ejes (Caso 2).

Torque	
(Nm)	58.8
Fuerzas Engranaje	
W_t (N)	1176
W_r (N)	428
W_{total} (N)	1252
Fuerzas Cuchilla	
F_{tan} (N)	0.963
F_{rad} (N)	0.675
F_{total} (N)	1.176

A continuación, se muestran imágenes de los dos ejes que describen las fuerzas y reacciones sometidas en ellos. Es importante mencionar que los cálculos fueron realizados para cada eje en todos los casos en los que cada cuchilla estaba en contacto con el material aplicando la fuerza sobre él. De ello, se redujo a que el mayor momento para ambos ejes se produce en la décima cuchilla, la cual está ubicada al extremo derecho de los diagramas. Por esto, las imágenes y tablas de resultados serán presentadas con respecto a esta cuchilla únicamente. Además, según el tipo de potencia suministrada al sistema, ya sea manual (manivela) o eléctrica (motor), las direcciones de algunas fuerzas van a variar, así como los valores de las variables. A continuación, se presentan las imágenes y tablas con los valores de las reacciones y momentos correspondientes en cada caso.

Caso 1: Manivela

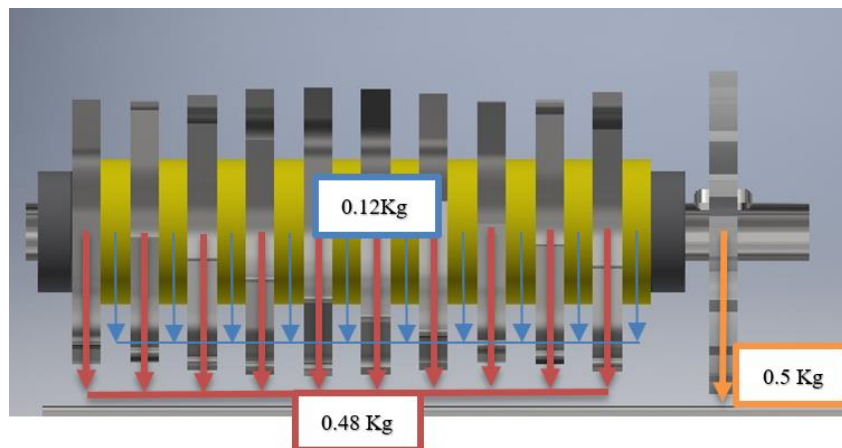


Figura 17. Pesos sometidos al eje 1 (caso 1, vista frontal).

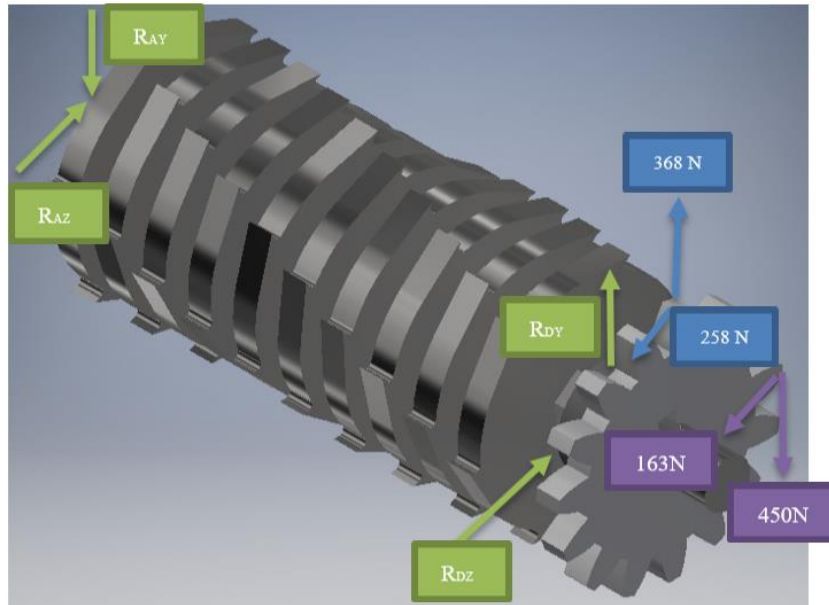


Figura 18. Fuerzas sometidas al eje 1 (caso 1, vista isométrica).

Tabla 23. Reacciones del eje 1, caso 1 (unidades: [N]).

RA		RD	
RAY	RAZ	RDY	RDZ
21.81	0.61	166.27	420.98

Tabla 24. Momentos del eje 1, caso 1 (unidades: [Nm]).

MBY	MBZ	MCY	MCZ
0.003	-0.109	1.165	8.267
MB		MC	
0.109		8.348	

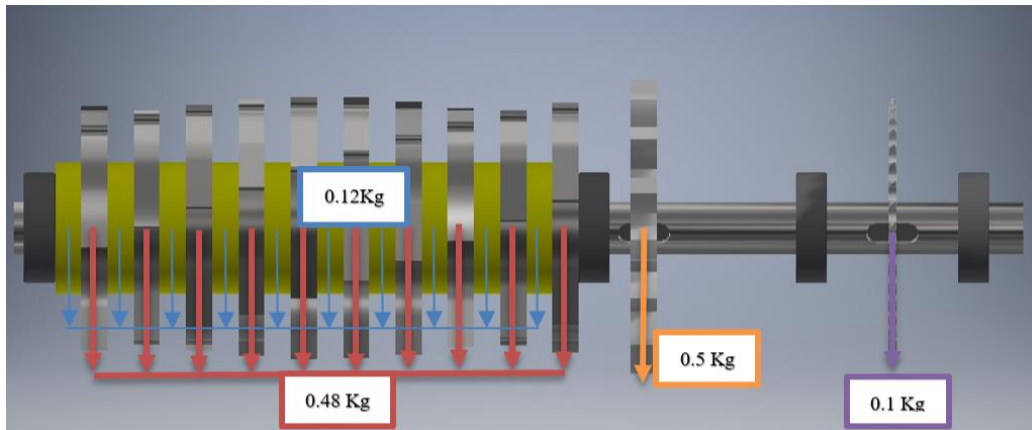


Figura 19. Pesos sometidos al eje 2 (caso 1, vista frontal).

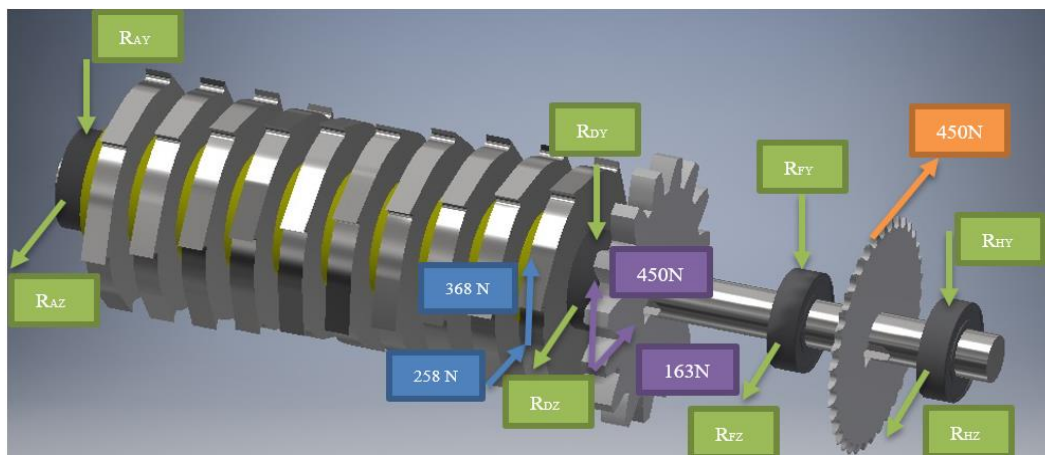


Figura 20. Fuerzas sometidas al eje 2 (caso 1, vista isométrica).

Tabla 25. Reacciones del eje 2, caso 1 (unidades: [N]).

RA		RD		RF		RH	
RAY	RAZ	RDY	RDZ	RFY	RFZ	RHY	RHZ
200.03	84.93	194.49	214.80	192.25	267.37	190.66	304.50

Tabla 26. Momentos del eje 2, caso 1 (unidades: [Nm]).

MBY	MBZ	MCY	MCZ
-0.425	-1.000	4.150	11.680
MB		MC	
1.087		12.395	

Caso 2: Motor

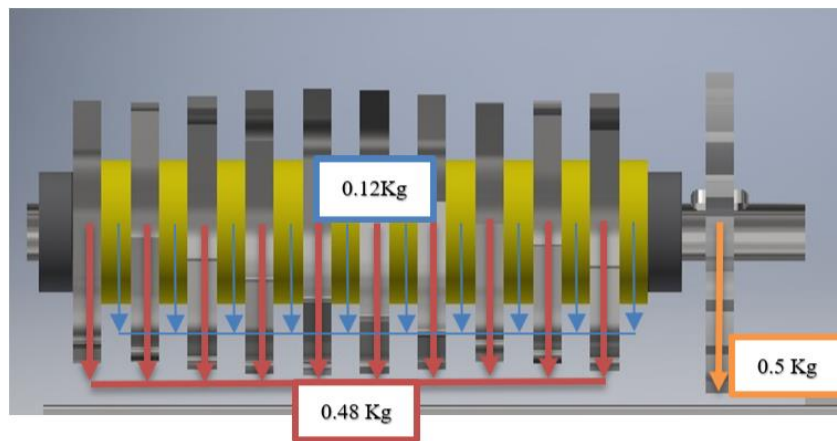


Figura 21. Pesos sometidos al eje 1 (caso 2, vista frontal).

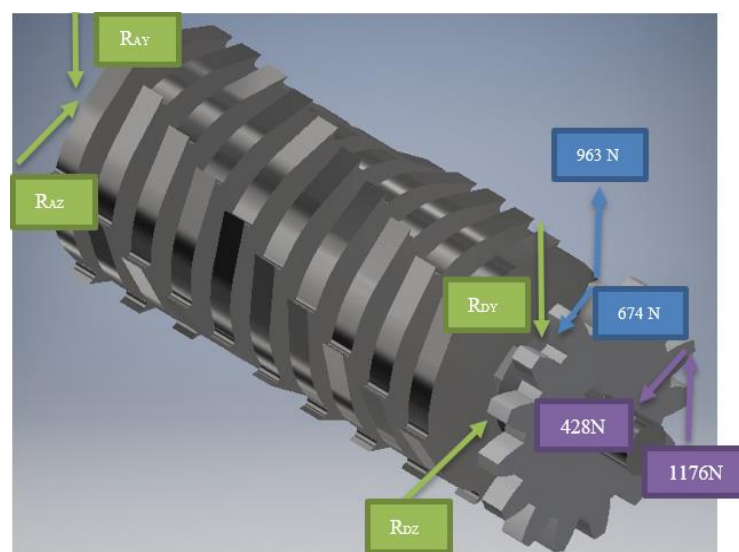


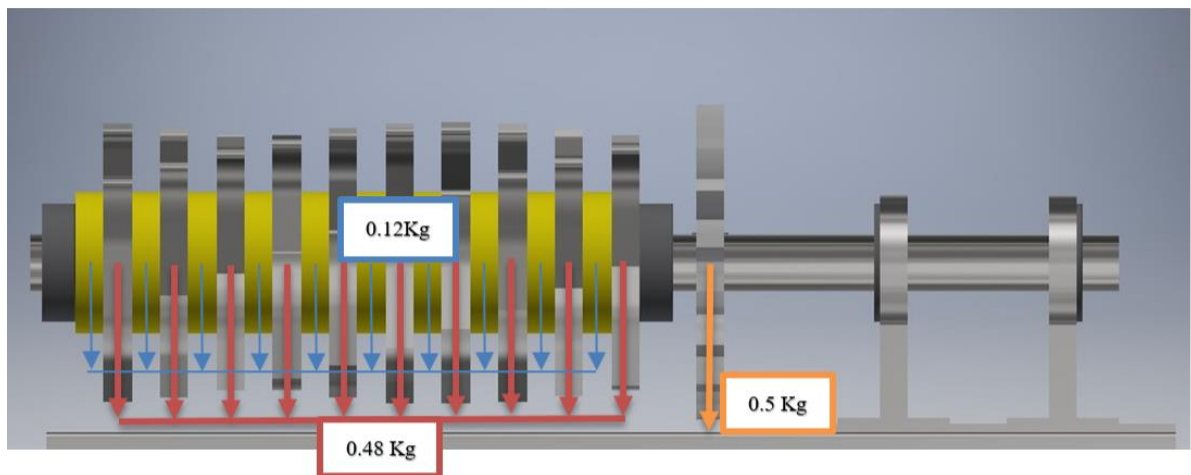
Figura 22. Fuerzas sometidas al eje 1 (caso 2, vista isométrica).

Tabla 27.Reacciones del eje 1, caso 2 (unidades: [N]).

RA		RD	
RAY	RAZ	RDY	RDZ
759.69	579.70	1316.56	522.96

Tabla 28.Momentos del eje 1, caso 2 (unidades: [Nm]).

MBY	MBZ	MCY	MCZ
2.899	-3.798	5.948	-16.839
MB		MC	
4.778		17.859	

**Figura 23.**Pesos sometidos al eje 2 (caso 2, vista frontal).

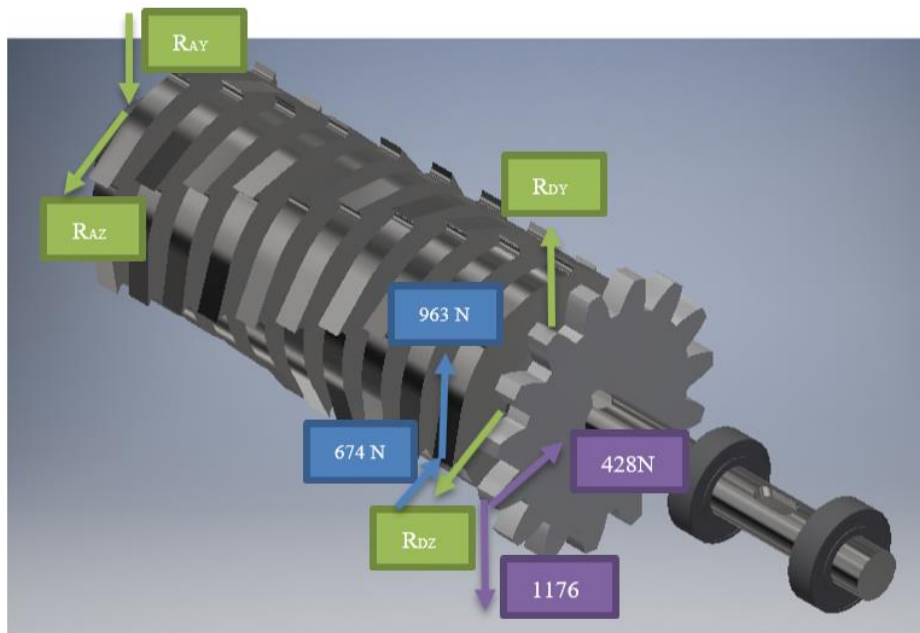


Figura 24. Fuerzas sometidas al eje 2 (caso 2, vista isométrica).

Tabla 29. Reacciones del eje 2, caso 2 (unidades: [N]).

RA		RD	
RAY	RAZ	RDY	RDZ
146.16	33.66	421.92	1069.01

Tabla 30. Momentos del eje 2, caso 2 (unidades: [Nm]).

MBY	MBZ	MCY	MCZ
-0.168	-0.731	-3.218	21.509
MB		MC	
0.750		21.748	

El mayor momento para cada caso se encuentra en el cambio de sección ubicado en la parte derecha de los diagramas, en el punto C. Por lo tanto, se debe tomar a este tramo como la parte crítica que, como fue mencionado anteriormente, será considerada para la siguiente parte del análisis. Con la ecuación 12, se obtiene el diámetro mínimo aceptable para los ejes. El material de los ejes es acero de transmisión SAE1018, por lo que cabe mencionar sus propiedades en la tabla 31.

Tabla 31. Propiedades del acero de los ejes.

Material	Acero SAE 1018
Sut (Mpa)	440
Sy (Mpa)	370

En primer lugar, se recomienda trabajar con un factor de seguridad “n” de 1.5 para la primera iteración. Se debe realizar el número de iteraciones necesarias para conseguir el diámetro mínimo adecuado. A continuación, se determinan los coeficientes específicos que proporcionan las características de los ejes.

Para calcular el límite de resistencia de la ecuación 13 se necesita tener el límite de resistencia secundario y los factores de modificación, los cuales dependen de varios parámetros del sistema. El límite de resistencia secundario se calcula utilizando la primera condición de la ecuación 14, dando como resultado un valor de $S_e' = 220 \text{ MPa}$.

Consiguientemente, se calcula el factor de superficie con la ecuación 15. Para esto se debe obtener los coeficientes “a” y “b” de la tabla 1. Se obtiene $a = 4.51$ y $b = -0.267$. Con estos valores se obtiene el valor de k_a . Para calcular el factor de tamaño (k_b) se debe conocer el diámetro. Es decir, se debe utilizar un valor aproximado a 1 para la primera iteración. Se recomienda usar el valor 0.9. Para las siguientes iteraciones se utiliza la

ecuación 16 para obtener su valor final. Debido a que los ejes están sometidos a una combinación de flexión y torsión, el factor de carga (k_c) tiene un valor de 1 (Budynas & Nisbett, 2015, p. 298). La temperatura del sistema no afecta a los ejes; por lo tanto, el factor de temperatura (k_d) tiene un valor de 1. Se recomienda considerar una confiabilidad de 50%. Por lo que, según la tabla 2, el factor de confiabilidad (k_e) es de 1. El factor de efectos misceláneos (k_f) es 1 porque ningún proceso que se ha realizado en los ejes influye (Budynas & Nisbett, 2015, pp. 301 y 302). A continuación, se muestra la tabla 32 con los valores de cada factor.

Tabla 32. Factores de modificación.

ka	0.8988
kb	0.8999
kc	1
kd	1
ke	1
kf	1

Con estos datos, se obtiene el límite de resistencia con la ecuación 13. Se obtiene el valor de $S_e = 178MPa$.

Los valores de los factores de concentración de esfuerzo de fatiga por flexión y torsión (K_f y K_{fs}) deben ser aproximados a algún valor para la primera iteración. Se recomienda que se iguale a los factores estimados de concentraciones de esfuerzo por flexión y torsión (K_t y K_{ts}) que se encuentran en la tabla 3, considerando que se cuenta con una esquina aguda en el cambio de sección del eje. Se tiene que $K_f = 2.7$ y $K_{fs} = 2.2$. Posteriormente, se utiliza las ecuaciones 17 y 18 que requieren de datos que se

pueden encontrar en las figuras 1, 2, 3 y 4 para obtener los siguientes valores. A continuación, en la tabla 33 se especifican estos factores.

Tabla 33. Factores de concentraciones de esfuerzo de fatiga por flexión y torsión.

K_f	1.759
K_{fs}	1.5643

En la tabla 34 se resume los valores mayores de momento que se obtuvo en cada caso y los valores de torsión calculados anteriormente.

Tabla 34. Momentos y torques para ambos casos.

	Momentos (Nm)		Torques (Nm)	
	Ma	Mm	Ta	Tm
Caso 1	12.4	0	0	22.5
Caso 2	21.75	0	0	58.8

Con todos estos valores se utiliza la ecuación 12 para obtener un valor del diámetro para ambos casos, asumiendo un valor de factor de seguridad de 1.5. Los resultados se ilustran en la tabla 35.

Tabla 35. Diámetros mínimos permisibles para ambos casos.

	Diámetro (mm)
Caso 1	16.34
Caso 2	20.75

Finalmente, se aproxima al valor de 20 mm para el diámetro mínimo de los ejes, con lo que se obtienen los siguientes factores de seguridad para cada caso (tabla 36).

Tabla 36. Factores de seguridad para ambos casos.

	n
Caso 1	4.09
Caso 2	1.98

Con los datos obtenidos del diseño de los ejes, se realizó una simulación para corroborar los resultados. En la figura 25 se puede apreciar la simulación de un eje, en donde se observa con claridad que hay una mayor cantidad de esfuerzos en el cambio de sección. Sin embargo, ésta no sobrepasa los esfuerzos permisivos.

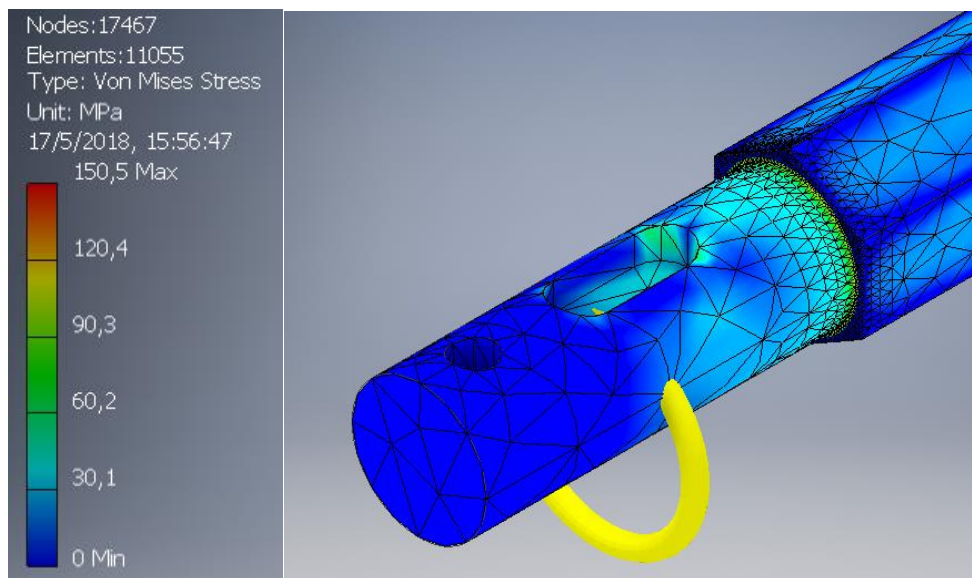


Figura 25. Simulación de un eje.

Para el diseño de la cuchilla, se realizó otra simulación. En ella se puede observar el comportamiento de las cargas implementadas en los anteriores postulados. En la figura 26 se puede observar que en el filo del diente se van a concentrar la mayor cantidad de esfuerzos.

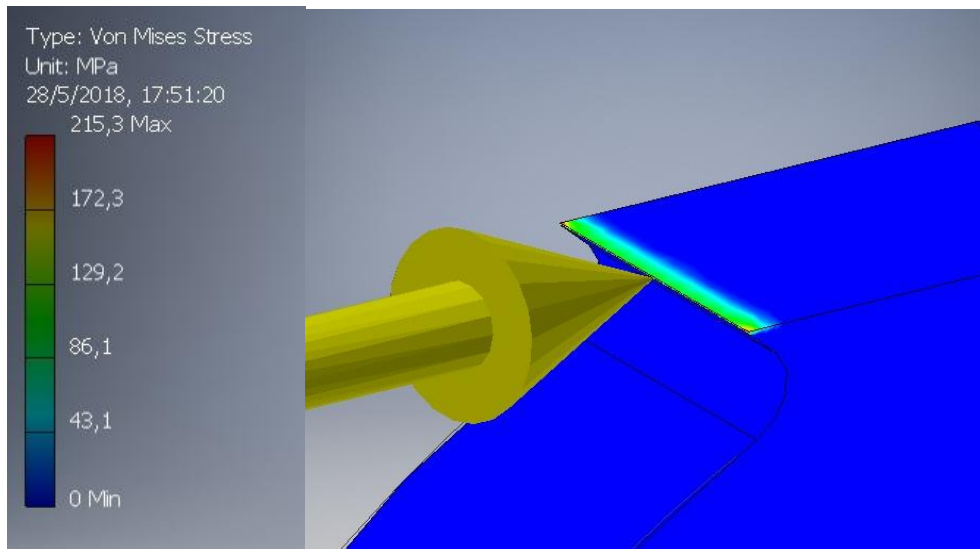


Figura 26. Simulación de la cuchilla.

2. Modelado.

Para el modelado se utilizó el programa Inventor, con el cual se pudo establecer la mayoría de las dimensiones anteriormente planteadas además de los parámetros de diseños.

La estructura de la trituradora se modeló con dimensiones de 400x225x138 mm como se muestra en la figura 27., a partir de estructuras de sección cuadrada y rectangular de 3/2 pulgadas y 3/2 x 3/4 pulgadas respectivamente.

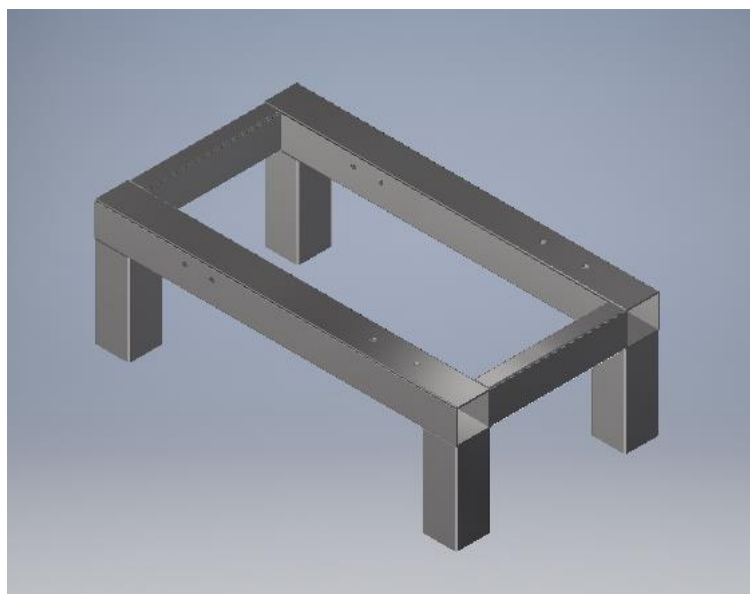


Figura 27. Estructura principal base modelada

A partir de esto, se desglosan los demás componentes que conforman el sistema. Las paredes base de rodamientos de la cámara de trituración tienen un espesor de 10 mm. Esto se debe a que dos de ellas deben ser lo suficientemente gruesas para soportar el peso de las guías que se ubican soldadas a ellas. Además, se realizaron dos orificios de 42 mm de diámetro en el centro de las dos placas restantes para ubicar los rodamientos que sostendrán los ejes y elementos roscados M5 de 20 mm de largo a los extremos para la sujeción de las paredes laterales como se muestra en la figura 28. Cabe recalcar que el diámetro de estos orificios se redujo en un 1 mm a la medida del diámetro del rodamiento seleccionado en la construcción para obtener un apriete moderado.

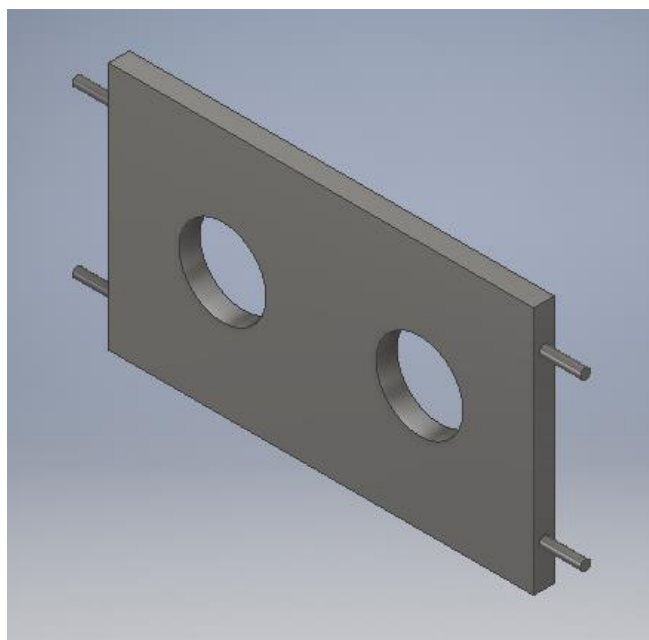


Figura 28. Paredes con base para rodamientos de la caja de trituración modeladas.

La caja de trituración consta de 20 guías, 10 pares de cuchillas y 20 separadores. Las guías (figura 31) tienen un espesor de 10 mm y se encuentran ubicadas en dos placas de la caja de trituración (figuras 29 y 30). Además, están distanciadas exactamente 10 mm entre ellas para dar espacio a las cuchillas como se muestra en la figura 32.

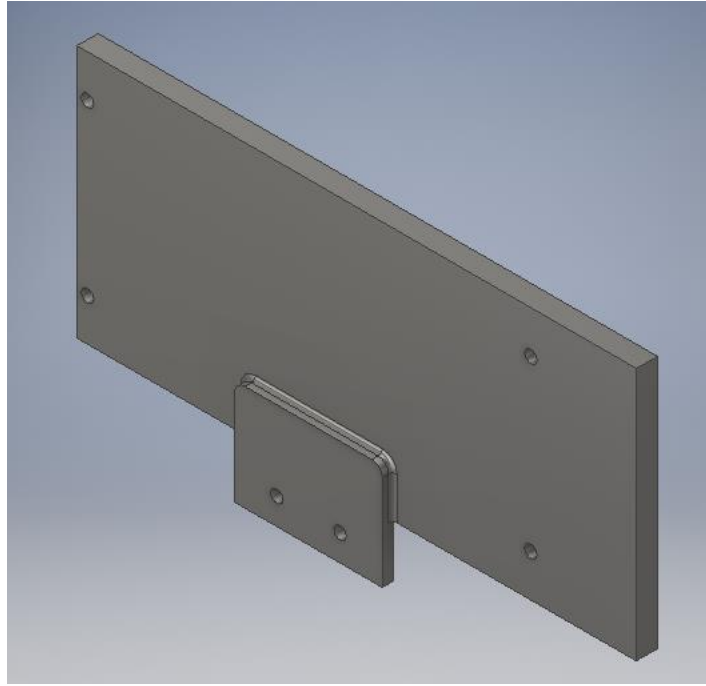


Figura 29.Pared lateral 1 de la caja de trituración modelada.

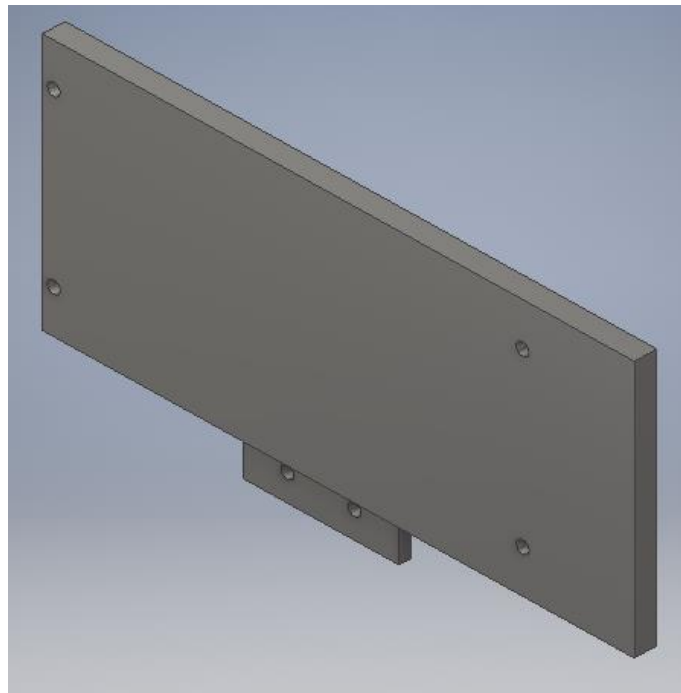


Figura 30.Pared lateral 2 de la caja de trituración modelada.

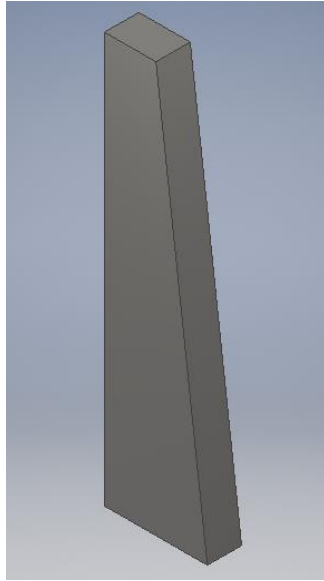


Figura 31.Guía modelada.

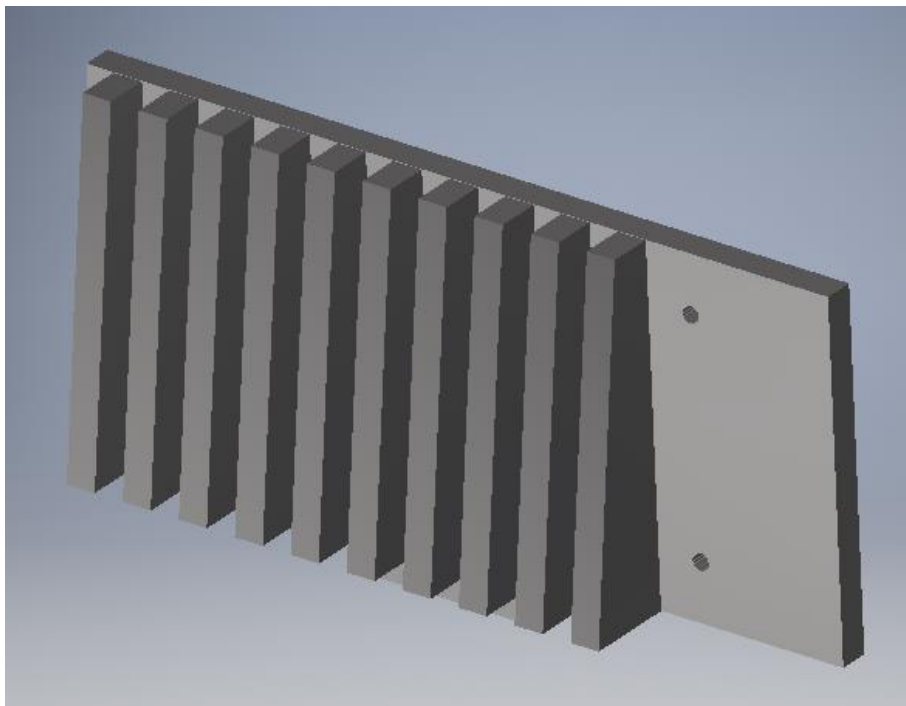


Figura 32.Guías y pared lateral ensamblada.

Los ejes principales del sistema son de sección transversal hexagonal en el tramo donde están ubicadas las cuchillas y separadores; el resto es de sección circular. Se diseñó de esta manera para que las cuchillas sigan el movimiento rotatorio de los ejes sin tener

que estar fijas permanentemente. Las dimensiones de estos tramos fueron diseñadas según los cálculos de diámetro mínimo aceptable en los puntos críticos, como se presentó en los anteriores postulados. Consecuentemente, se eligió el diámetro que coincidía con el orificio de los rodamientos. Adicionalmente, hay un eje secundario que otorga movimiento por medio de la manivela. Éste consta de una pequeña sección hexagonal donde se ancla la manivela como se muestra en la figura 35.

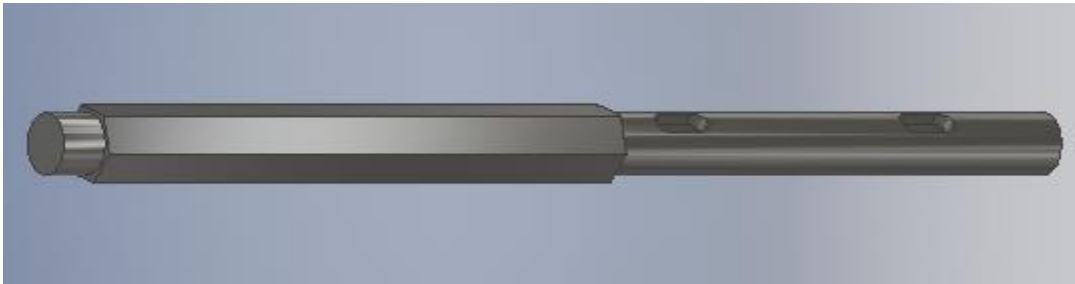


Figura 33.Eje principal 1 modelado.

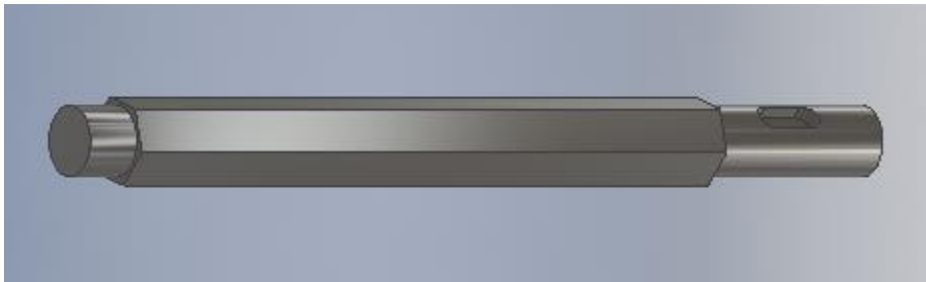


Figura 34.Eje principal 2 modelado.

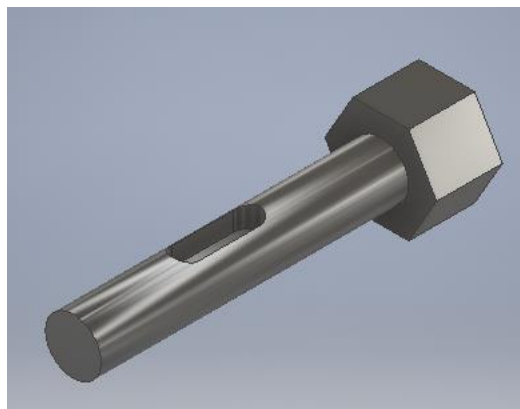


Figura 35.Eje secundario modelado.

Las cuchillas tienen un diámetro de 100 mm y una profundidad de 10 mm. Poseen seis dientes que tienen una altura de 5 mm y su ubicación está diseñada con una rotación progresiva de 35° en cada una con el fin de tener un giro de 360° en los diez pares de cuchillas. El orificio central tiene forma hexagonal con las mismas dimensiones de la sección transversal del eje.

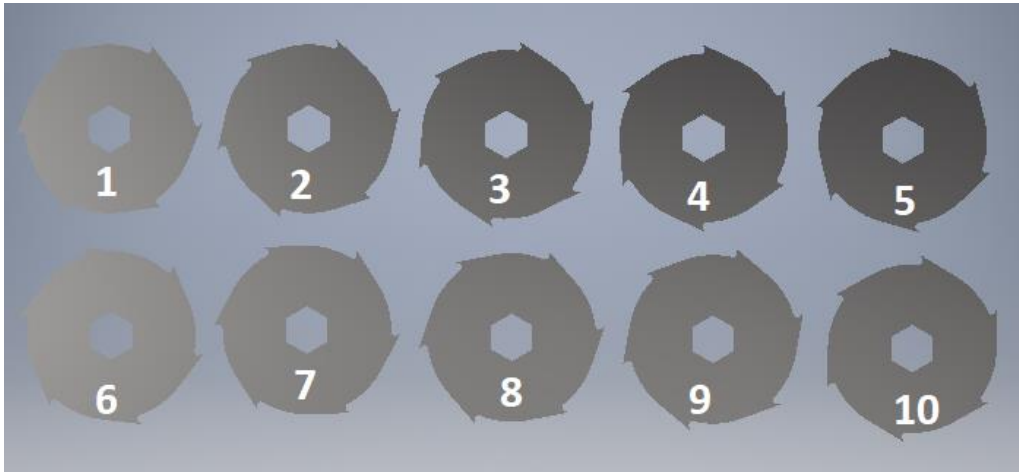


Figura 36.Diez pares de cuchillas modeladas.

Los separadores tienen un diámetro de 50 mm y un espesor de 10 mm. De la misma manera, tienen el orificio central hexagonal.

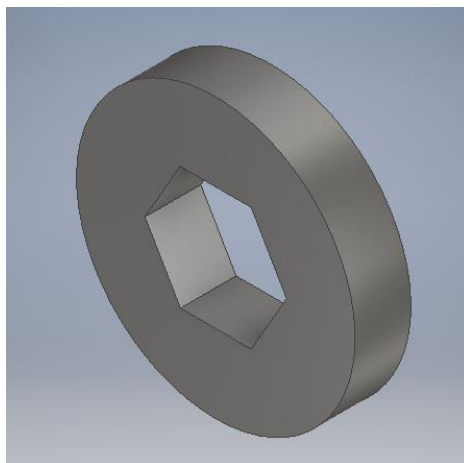


Figura 37.Separador modelado

Los soportes de los rodamientos tienen un espesor de 10 mm y una forma sencilla como se puede observar en las figuras 38 y 39. Estos soportes poseen el mismo tamaño de agujero de rodamiento que las paredes base, debido a que se tiene un sólo tamaño de eje. Y la altura de éstos está determinada por la ubicación de los agujeros de las paredes base.

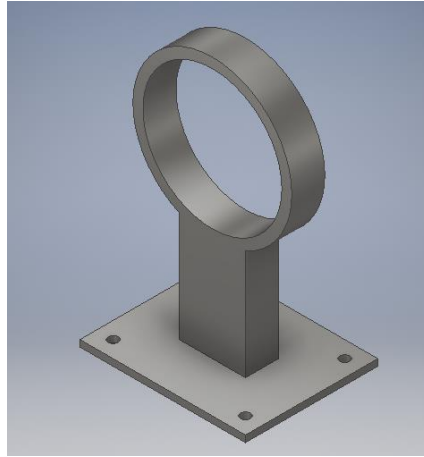


Figura 38. Soporte 1 modelado

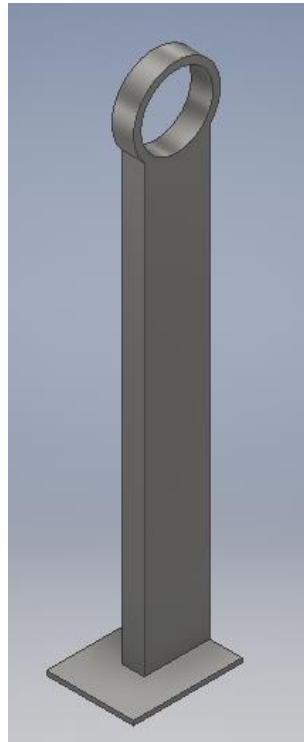


Figura 39. Soporte 2 modelado.

Los engranajes fueron diseñados según los cálculos previamente realizados para establecer un diámetro de 100 mm y 15 dientes para cada uno.



Figura 40.Engranaje modelado

Las catalinas fueron diseñadas según su factor de reducción de $3/5$ y los cálculos respectivos. Estas catalinas se muestran en las figuras 41 y 42.



Figura 41.Catalina modelada



Figura 42.Catalina (piñón) modelada

La manivela se estableció en los cálculos anteriores con una dimensión de 15 cm de largo y un agujero hexagonal en la parte posterior para el anclaje en el eje secundario y modelada como se indica en la figura 43.

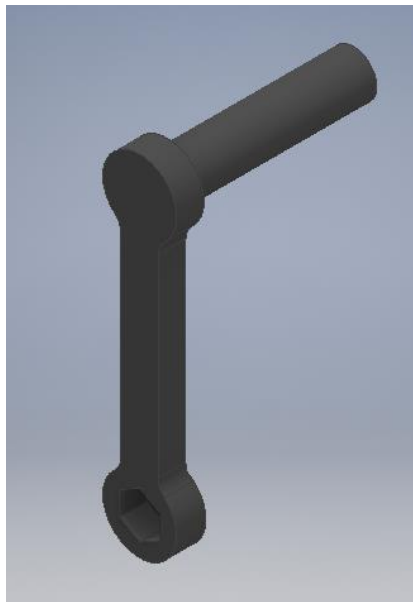


Figura 43.Manivela modelada

Se diseñó placas de espesor de 3 mm para que sean las bases de los soportes anteriormente mencionados. Una de ellas tiene orificios para ubicar los soportes pequeños con pernos y en la otra sostendrá los soportes grandes anclados por medio de soldadura.

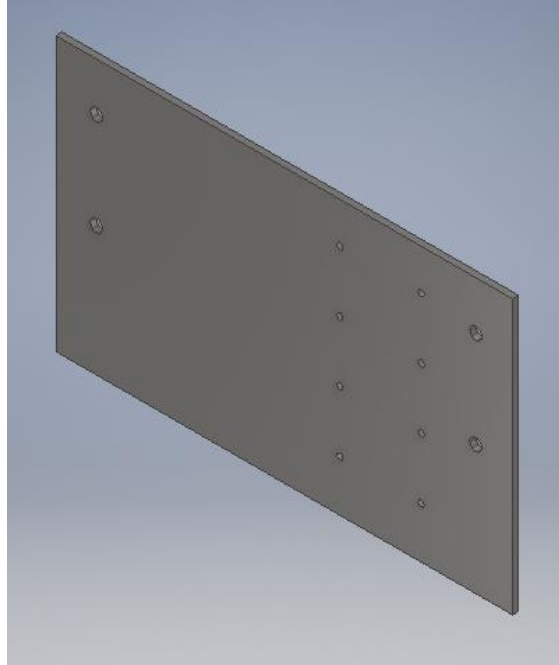


Figura 44.Placa base 1 modelada.

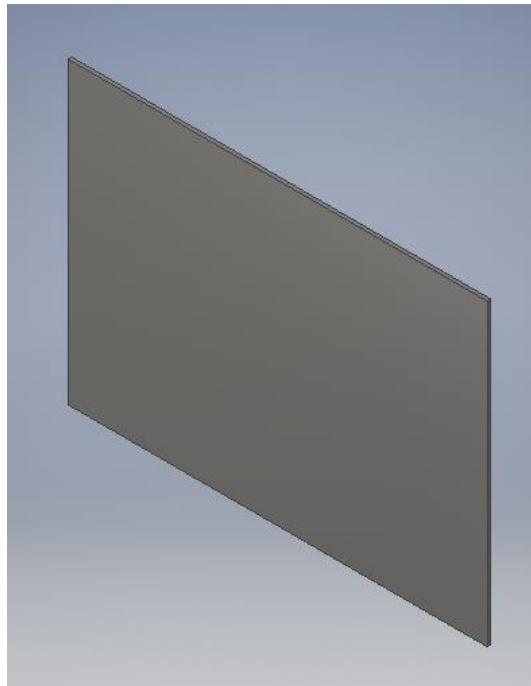


Figura 45.Placa base 2 modelada.

Además, se diseñó un soporte para la caja de reducción que va soldada a la estructura principal.

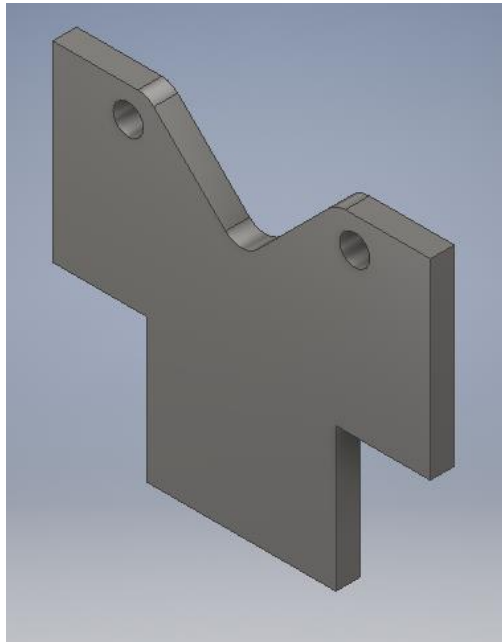


Figura 46. Soporte de la caja de reducción modelada.

Para sostener el motor, se modeló una mesa con una estructura de tubo de sección cuadrada de una pulgada.

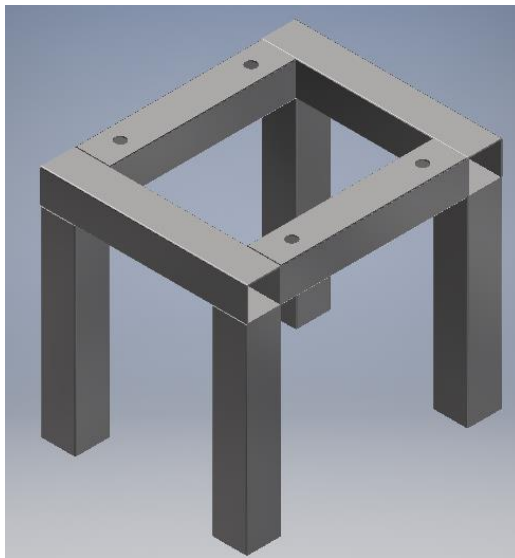


Figura 47. Soporte de motor modelado

La tolva fue diseñada con una altura apropiada para evitar que el material ingresado se escape cuando entre al contacto de las cuchillas en movimiento, como se muestra a continuación.

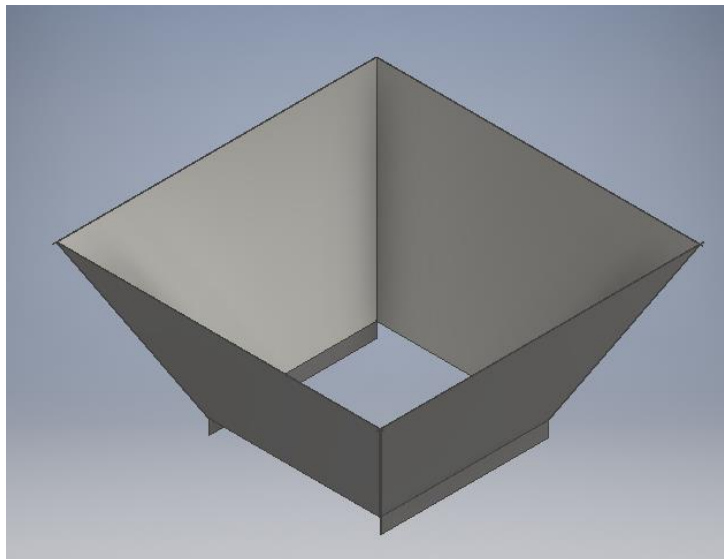


Figura 48.Tolva modelada

La caja de recolección de viruta fue diseñada según el espacio inferior de la estructura base con la altura necesaria para que la viruta no se escape.

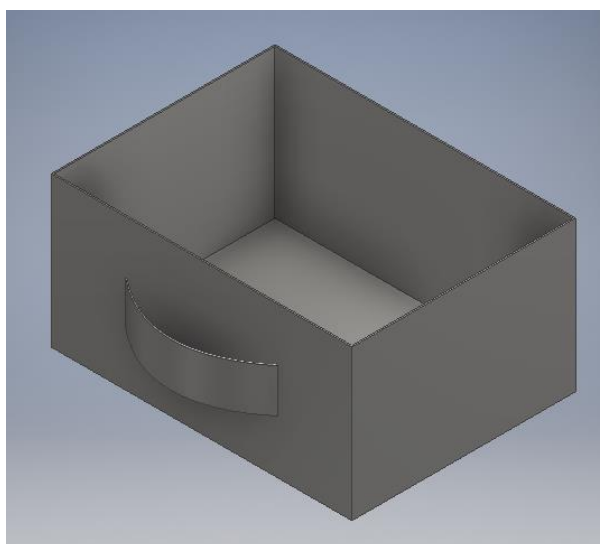


Figura 49.Caja de viruta modelada

Una vez modeladas todas las piezas, se realizó el ensamblaje y se obtuvo la trituradora terminada como se muestra en las figuras 50, 51 y 52. En estas figuras se aprecia la trituradora con todos sus componentes en vista isométrica delantera, posterior y una vista superior, respectivamente.

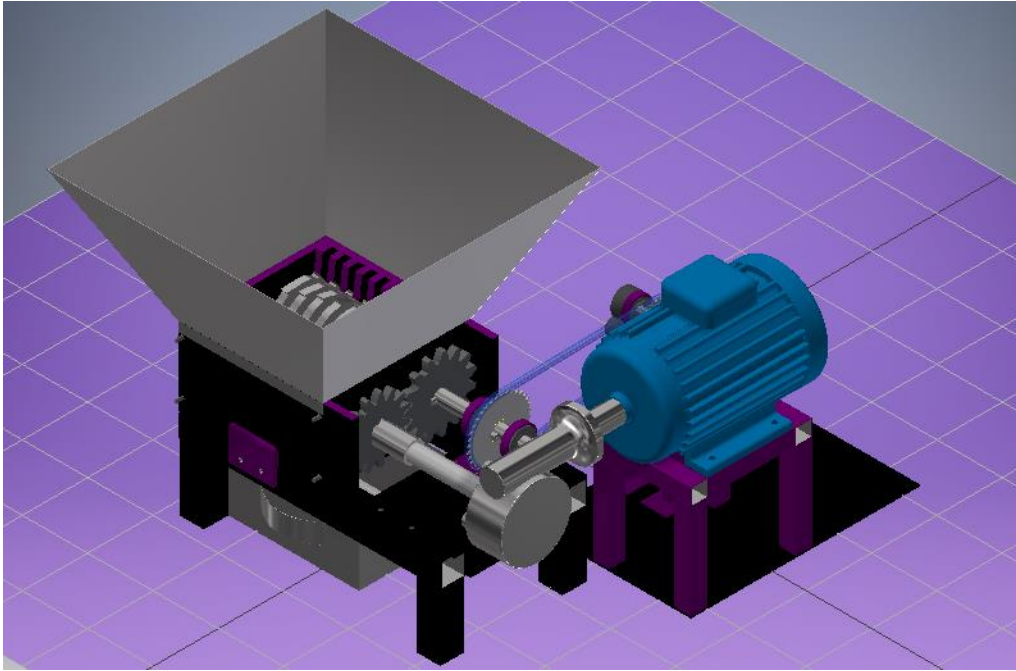


Figura 50. Trituradora ensamblada vista isométrica delantera.

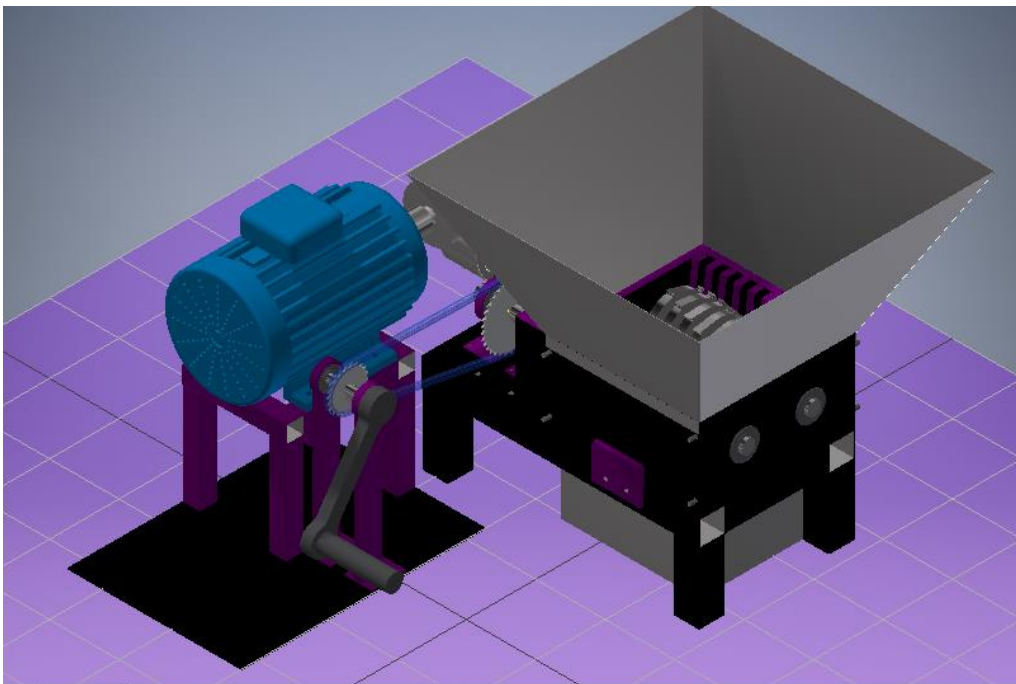


Figura 51. Trituradora ensamblada vista isométrica posterior.

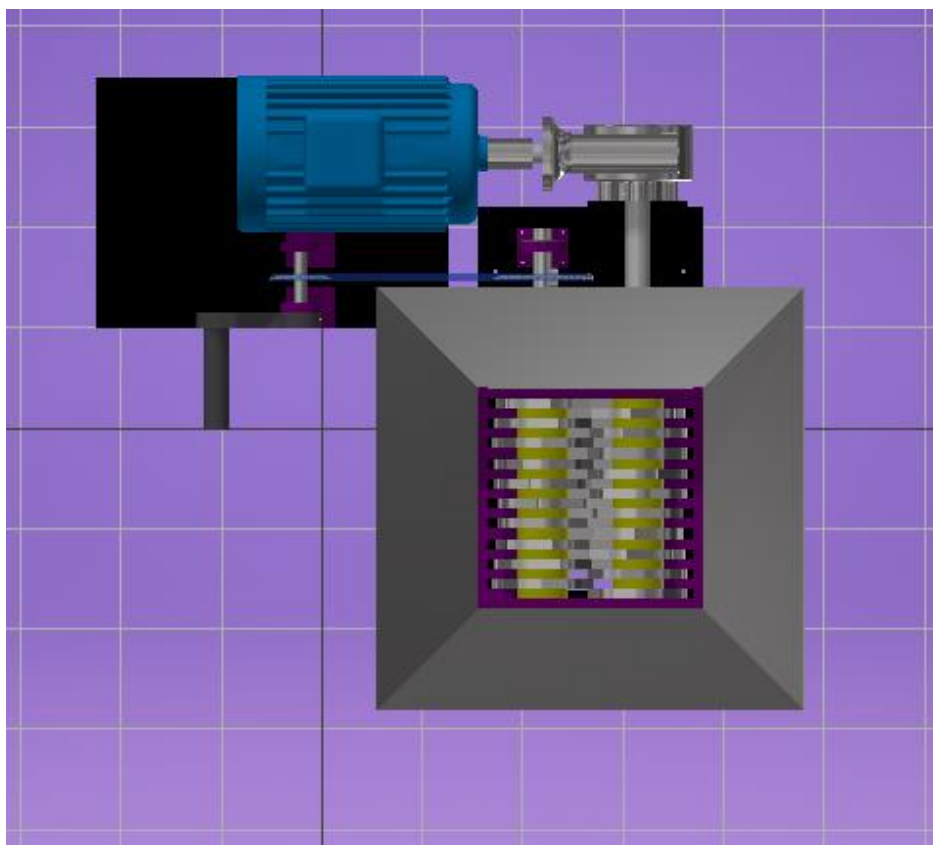


Figura 52. Trituradora ensamblada vista superior.

Todas las piezas modeladas, incluyendo el prototipo de la máquina ensamblada, poseen planos de taller y de ensamble, los cuales se encuentran en los anexos de este trabajo.

3. Construcción.

La construcción de la máquina empieza por la formación de la estructura base donde se asientan los demás componentes. Para ello, se cortó y soldó tubos de sección cuadrada y rectangular con las dimensiones especificadas en el modelado y se obtuvo el siguiente resultado:



Figura 53.Estructura principal.

La cámara o caja de trituración que va encima de la estructura base, consta de piezas que fueron fabricadas por dos tipos de cortes: por chorro de agua abrasivo y por plasma. Dos de las placas, veinte separadores y veinte cuchillas fueron cortadas por chorro de agua abrasivo, debido a que se requiere una precisión en los acabados como en los orificios centrales hexagonales donde van los ejes y en los orificios circulares donde van los rodamientos para los ejes (figuras 54, 55 y 56).

Se debe tomar en cuenta que la máquina es desarmable, por lo que se acudió a originar orificios y cortes rectangulares en los bordes de las placas para soldar pernos guía en los espacios determinados y así acoplar las placas ajustándolas con las tuercas como se aprecia en la figura 54.



Figura 54.Placa base cortada por chorro de agua con rodamientos colocados.



Figura 55.Separador



Figura 56.Diez diferentes cuchillas cementadas de la trituradora.

Veinte guías y las otras dos placas, que no contienen orificios, fueron cortadas por plasma, debido a que no requieren precisión y es un procedimiento más económico (figuras 57 y 58).

Adicionalmente, las guías fueron soldadas en dos de las placas de la caja de trituración. Para esto, se utilizó una plantilla de madera mdf cortada por láser con las dimensiones entre guías para facilitar la ubicación de cada una. El resultado se puede observar en la figura 57.



Figura 57.Placa lateral 1 cortada por plasma con las guías incorporadas vista frontal.



Figura 58.Placa lateral 2 cortada por plasma con las guías incorporadas vista posterior.

Los soportes de los ejes fueron cortados por chorro de agua abrasivo, ya que necesitaban precisión en los orificios de los rodamientos.



Figura 59. Soporte 1 y 2 con rodamientos colocados.

De igual manera, los engranajes fueron cortados por chorro de agua abrasivo, ya que los dientes debían tener la forma exacta para obtener un buen acople entre ellos. Además de ser tratados térmicamente para otorgar más dureza superficial y evitar el desgaste del mismo.



Figura 60. Engranaje

Las catalinas fueron adaptadas y montadas de una bicicleta fuera de uso, por lo que se debió adaptar con el uso de discos con agujeros en forma del eje y chaveta como se muestra en la siguiente figura 61.



Figura 61.Catalina (piñón), catalina y cadena.

Los ejes fueron seleccionados según los diámetros admisibles que resultaron de los cálculos. De esa forma, se utilizó ejes hexagonales de una pulgada de diámetro externo. A estos ejes se los torneó en los extremos hasta llegar alcanzar un diámetro de 20 mm según lo calculado y modelado. También, se seleccionó los rodamientos de diámetro interno de 20 mm y externo 42 mm, para que pudieran acoplarse a los ejes y a los otros elementos de la trituradora.



Figura 62.Ejes principales y eje secundario con chaveteros.

Para poder otorgar movimiento por medio de los engranajes y catalinas, se realizó tres chaveteros y chavetas como se aprecia en las figuras.



Figura 63.Chavetas

Como siguiente paso, se cortó una placa de 3 mm de espesor como base a los soportes del eje. Y se taladró orificios de 5 mm para ubicar los pernos de los soportes y de 6 mm para anclar la placa a la estructura base.

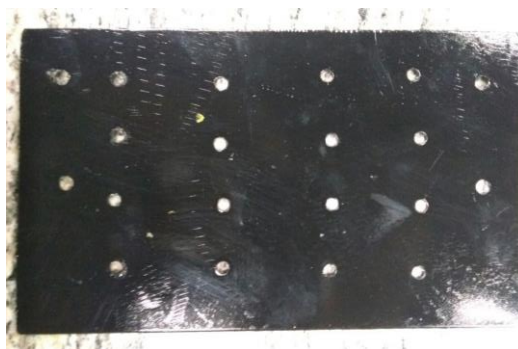


Figura 64.Placa base 1

Asimismo, para ubicar los soportes largos donde se inserta el eje para la manivela, se cortó una placa de 3 mm de espesor. En ésta se soldó los soportes a la distancia indicada para acoplar al largo de la cadena.



Figura 65. Placa base 2.

La manivela fue fabricada a partir de la pieza con el orificio hexagonal y cortada por chorro de agua abrasivo. Luego, le fue soldada una tapa de metal y un tubo delgado para obtener el resultado final que se muestra en la figura 66.



Figura 66. Manivela

Para posicionar y anclar el reductor y el motor se fabricaron camisas de acople, a partir de ejes de acero torneados internamente según los diámetros de los ejes y perforados a los lados para ubicar prisioneros.



Figura 67. Motor eléctrico



Figura 68.Reductor de velocidad



Figura 69.Camisa de acople

El reductor fue sujetado a un extremo de la estructura por una placa soldada que tiene dos orificios para pernos. Para sujetar el motor se fabricó un soporte con tubos cuadrados y se hizo cuatro orificios para anclarlo.



Figura 70.Soporte de motor

Posteriormente, se formó la tolva y la caja de recolección de viruta con láminas de latón unidas por soldadura de punto.



Figura 71.Tolva



Figura 72.Caja de viruta

Finalmente, con todos los componentes fabricados se realizó el ensamble del prototipo de trituradora que se puede apreciar en las siguientes figuras con dos vistas isométricas y una superior (figuras 73, 74 y 75).

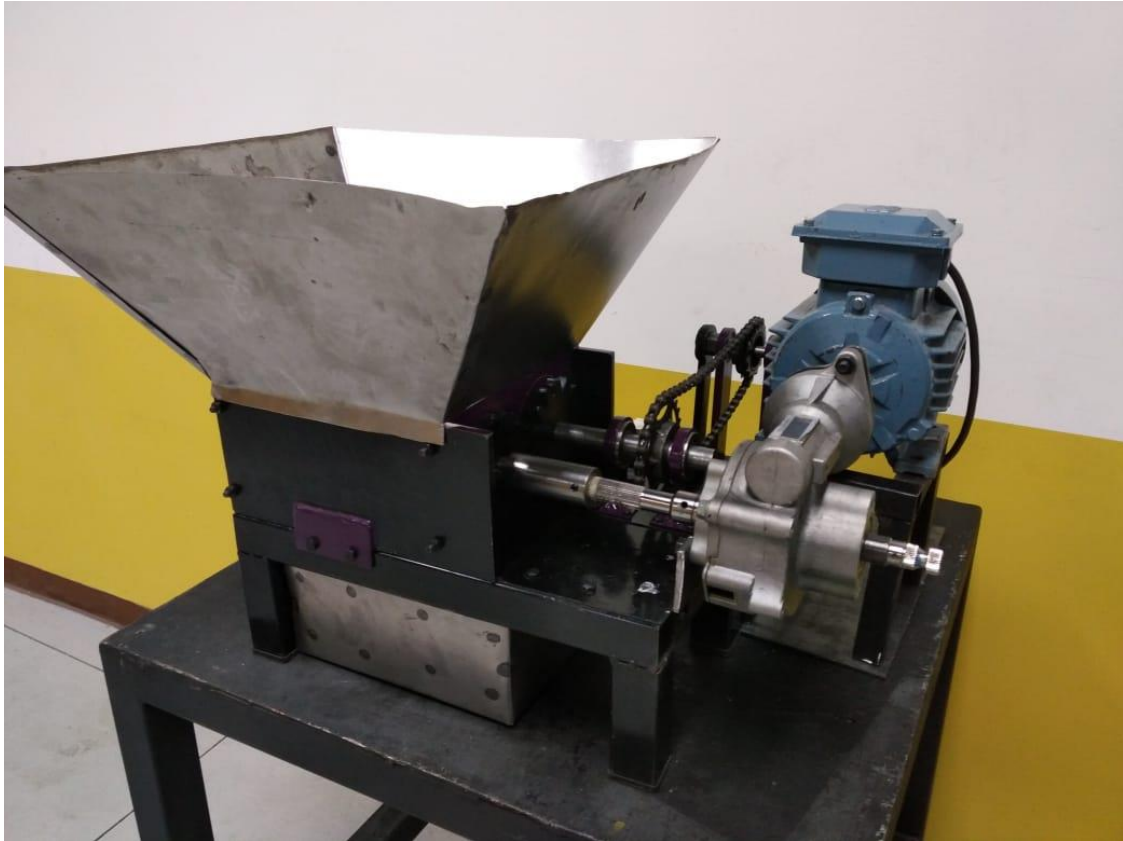


Figura 73. Trituradora construída vista isométrica frontal.

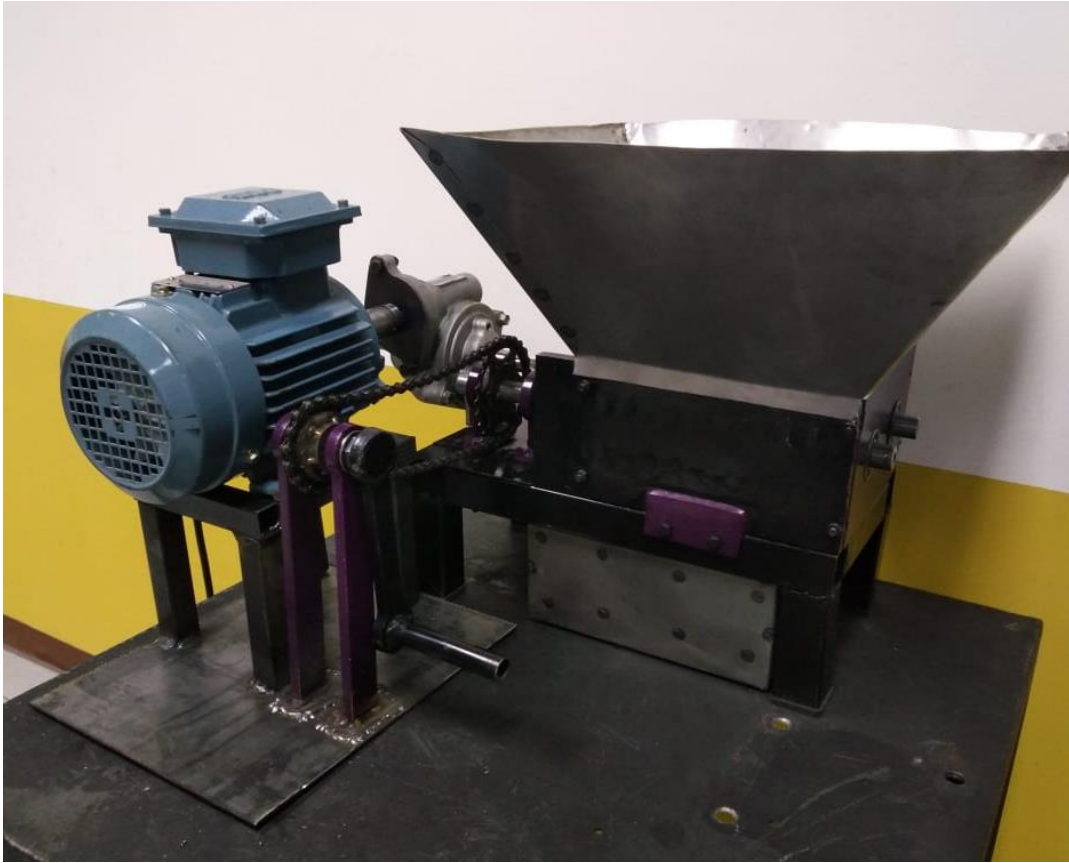


Figura 74. Trituradora construída vista isométrica posterior.

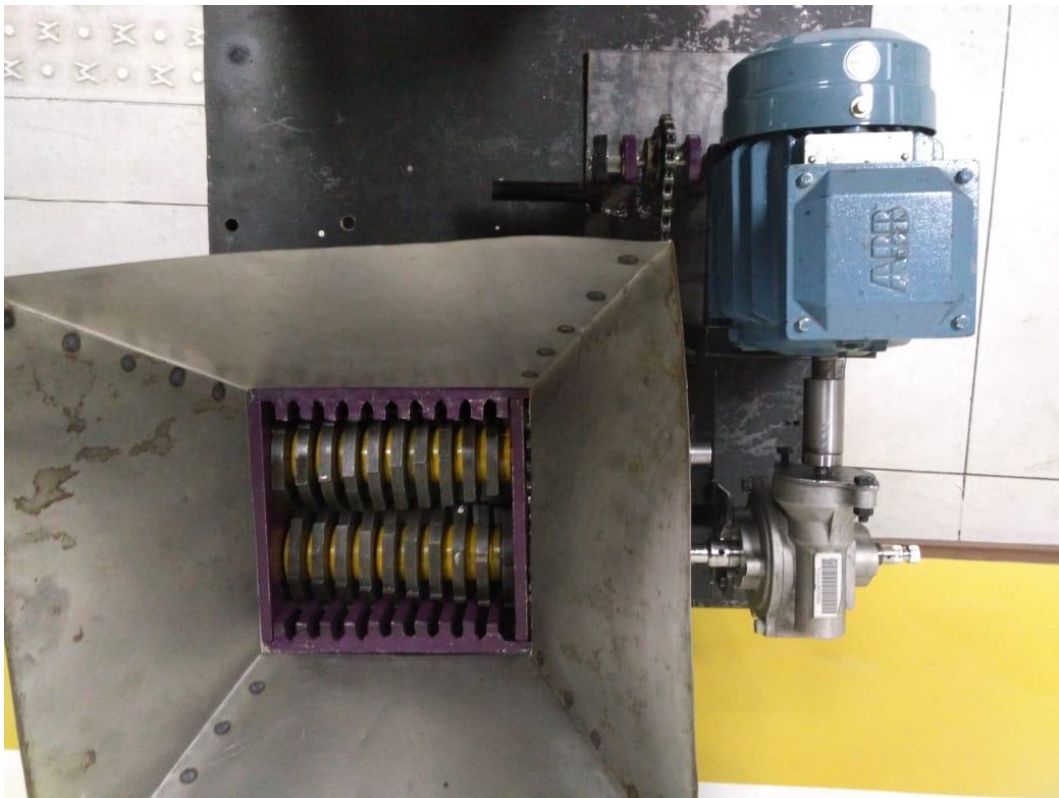


Figura 75. Trituradora construída vista superior.

4. Presupuesto.

En la construcción del prototipo de trituradora se tuvieron los gastos que se detallan en la tabla 37, teniendo un costo total de mil veintiocho dólares.

Tabla 37. Presupuesto

	Gastos	(USD\$)
Equipos	Motor eléctrico 1 HP	130
	Reductor de velocidad	150
Materiales	Tubos acero estructural	16
	Ejes	25
	Rodamientos	27
	Tol	10
	Pernos, tuercas y varios	20
Procesos	Cortes por chorro de agua abrasivo	520
	Cortes por plasma	60
	Cementado	70
	TOTAL	1028

Cabe recalcar, que tales gastos no incluyen la mano de obra invertida ni la maquinaria y herramientas utilizadas en la USFQ.

5. Aplicación.

A partir del presente proyecto, se avizora una rama de posibles aplicaciones. La viruta obtenida a partir de la trituradora puede ser aprovechada para varios tipos de aplicaciones. Entre ellas están: planchas de material compuesto de base polimérica PP y refuerzo de aluminio para pisos, techos y paredes provisionales. Por otro lado, se puede utilizar la máquina para triturar desperdicios de PLA, ABS, PET, entre otros con el fin de extraerlos y formar filamento para impresoras 3D. Además, con el tipo de polímero que se requiera se puede hacer algún proceso de moldeo por inyección o estampado, adquiriendo formas que pueden ser aprovechadas en el área de construcción.

Para validar estos posibles usos, es necesario conocer las propiedades mecánicas que tendrían estos materiales compuestos. Por esta razón, se hará comparaciones entre material base con el material con reforzamiento. El PP al ser un material plástico no rígido está regido por la norma ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, la cual nos indica las dimensiones y forma de las probetas para realizar la prueba, como se muestra a continuación:

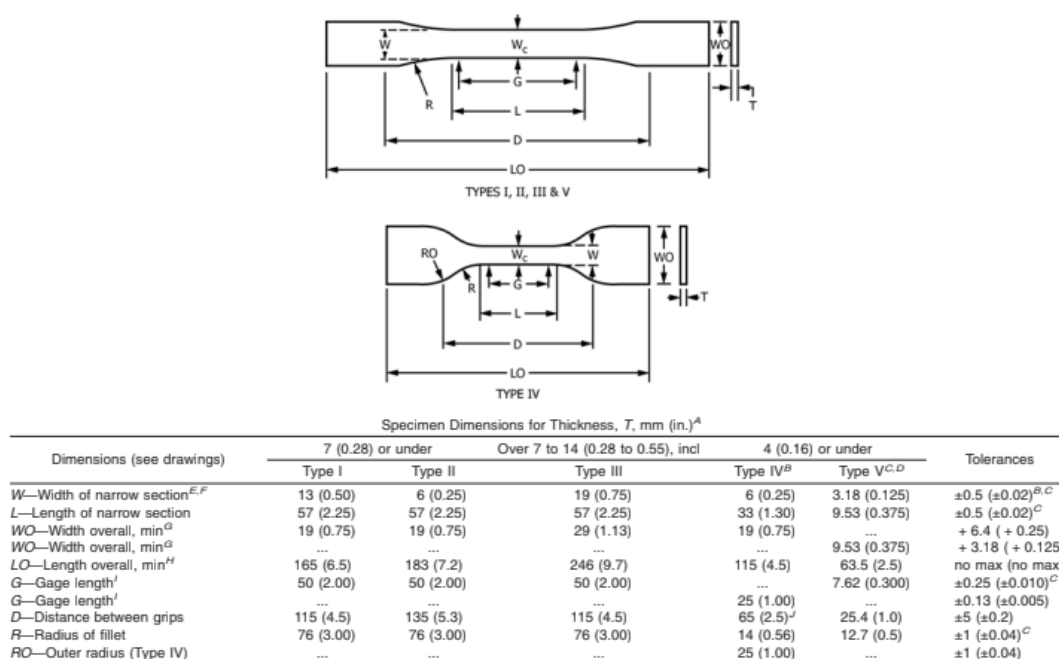


Figura 76. Forma y dimensiones para probetas de plástico (ASTM D638-14, s/f).

El PP se considera como plástico del tipo IV, debido a que no es rígido, por lo que se toma las dimensiones mostradas en la norma para este tipo de material. Se obtiene como resultado una probeta de PP como se muestra en la figura 77.



Figura 77. Probeta del PP basado en la norma ASTM D638-14.

Se realizaron cinco probetas del mismo tipo para corroborar los resultados. En la figura 78 y tabla 38 se muestra el resultado del ensayo de tensión y los valores obtenidos de las pruebas respectivamente.



Figura 78. Resultado del ensayo de tensión en la probeta de PP.

Tabla 38. Valores obtenidos de las probetas de material PP regidos por la norma ASTM D638-14.

No. Probeta	Tensile Stress (MPa)
1	28.54
2	27.54
3	25.08
4	25.08
5	24.37
Promedio	26.12

Se puede observar que en la tabla 38 se tiene un valor promedio de 26.12 MPa para el esfuerzo de tracción de las probetas fabricadas de PP únicamente.

Con el material triturado obtenido se fabrica el material compuesto con 10% de aluminio y 90% de matriz PP en términos de volumen. En la tabla 39 se muestra las probetas de material compuesto de matriz polimérica según la norma ASTM D3039/D3039M-08 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

Tabla 39. Dimensiones para probetas de material compuesto de matriz polimérica (ASTM D3039, s/f).

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

Con la norma ASTM D3039 se obtiene una probeta de forma rectangular que se muestra en la figura 79 y 80. Estas probetas son un material compuesto de PP-PET y PP-Aluminio.



Figura 79. Probeta de material compuesto de PP como matriz y PET como refuerzo basado en la norma ASTM D3039.



Figura 80. Probeta de material compuesto de PP como matriz y Aluminio como refuerzo basado en la norma ASTM D3039.

Se utilizó cinco probetas de cada tipo para repetir cada ensayo, corroborar los resultados y concluir un valor medio en cada caso. En la figura 81 y tabla 40 se muestran el resultado del ensayo de tensión del material compuesto y los valores obtenidos de las pruebas respectivamente.



Figura 81.Resultado del ensayo de tensión de la probeta de material compuesto de PP-Al.

Tabla 40.Resultados de las pruebas de tracción del material compuesto hecho de PP-Al.

No. Probeta	Tensile Stress (MPa)
1	7.8
2	11.42
3	11.42
4	9.93
5	9.93
Promedio	10.1

En la tabla 40 se puede observar que en las probetas de material compuesto se tiene un valor medio de 10.1 MPa para el esfuerzo de tensión.

Con los esfuerzos obtenidos para PP y para el material compuesto se puede mencionar que el del material compuesto es mucho menor al del material matriz. Los resultados del material compuesto no son favorables, debido a que sólo se estableció una

unión del tipo termomecánico mediante métodos que consistían en la fundición del polímero, adición de los refuerzos y compactación leve de todo el material; dando como resultado espacios vacíos dentro de la matriz. Estos vacíos producen concentradores de esfuerzos que reducen en gran cantidad los esfuerzos de tensión, al igual que falta de unión matriz-refuerzo.

Para solucionar esto y conseguir un resultado favorable, se debe generar una unión química. Se necesita fijar los refuerzos dentro de la matriz de polímero por medio de aditivos, plastificantes y otras reacciones. Por tanto, se necesita un mayor control del proceso y del procedimiento seguido. De esta forma, la matriz y el refuerzo estarán unidos adecuadamente y se transferirán los esfuerzos que la matriz recibe al refuerzo, cumpliendo su objetivo y, con ello, aumentando su resistencia.

C. Discusión

Se tuvo ciertas complicaciones en la construcción de la trituradora, ya que los ejes de la caja de cambios debían ser ubicados lo más alineados posible para evitar fatiga, esfuerzo y desgaste; tanto en ellos como en las cuchillas y en los engranajes.

Además, la tolerancia de los espacios entre los pares de cuchillas fue superada, debido a que los separadores fueron entregados con un espesor menor en un milímetro al solicitado. Esto generó que las cuchillas tengan un espacio de un milímetro en donde podían moverse y oscilar. Por ello, el PET y el PP, al ser muy delgados y flexibles, entraban en los espacios entre los dientes y se atoraban, volviendo el proceso ineficiente y obligando a que el motor seleccionado se detenga abruptamente. Para solucionar este problema se ubicó arandelas (entre 0.2 mm a 1 mm de espesor) entre dichos espacios. De esta manera, las cuchillas lograron tener el efecto cizalla necesario para la trituración. En ocasiones, desgarran el plástico provocando tiras largas de viruta. En este caso, se requiere volver a ponerlas a triturar para disminuir su tamaño.

Es importante tomar en cuenta que las guías deben estar distanciadas un espacio de 10 mm para que las cuchillas calcen correctamente, no rocen ni se desvíen. Para ello, se cortó a laser una plantilla de madera mdf con el diseño de los espacios entre guías para ubicarlas en él y soldarlas a la placa de la mejor manera. Estas piezas se montan permanentemente por seguridad (vía soldadura), debido a que pueden zafarse y desviarse generando un roce con las cuchillas.

La alineación de los ejes es un requerimiento crucial para el funcionamiento de la trituradora. En el caso de que se encuentren levemente desviados resultará en un freno abrupto por obstrucción, lo que puede provocar un recalentamiento en el motor. Es decir, se debe asegurar que las paredes de la caja trituradora se encuentren a 90° entre sí. Debido a que se requirió que la máquina se desensamble, se decidió soldar pernos en las placas para unirlos y formar la cámara de trituración. Para ello, es necesario que se utilice algún tipo de orientador que garantice que el perno quedará perpendicular a la arista de la placa; para así, asegurar un correcto ensamblaje y evitar dichas desviaciones.

Los soportes de los ejes que llevan las catalinas deben estar correctamente alineados entre sí para evitar que la cadena se desacople. Además, estos soportes deben estar lo más fijos posibles, debido a que la fuerza que aplica la manivela y las vibraciones que se producen al triturar hacen que se desajusten los pernos. Por ello, se procedió a soldar los soportes del eje de la manivela.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- ✓ Se pudo realizar el diseño del prototipo de triturador de PET, PP y aluminio con los factores de seguridad apropiados para evitar cualquier tipo de falla en los componentes del sistema.
- ✓ Se construyó la trituradora que cumple con las especificaciones requeridas para su óptimo funcionamiento, a partir de acero y latón, principalmente.
- ✓ Se obtuvo hojuelas de PET, PP y aluminio de dimensiones 10x10 mm aproximadamente.
- ✓ Con la obtención del material triturado se fabricó probetas de material monolítico polimérico y de material compuesto de matriz polimérica con refuerzo de aluminio, comprobándose sus propiedades mecánicas a través las respectivas normas: “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics” y “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”.
- ✓ Se comparó las propiedades mecánicas y características de los tipos de probetas fabricadas.

B. Recomendaciones

- ❖ Se debe ubicar correctamente las guías que van soldadas a dos de las placas de la cámara de triturado, ya que éstas son las que dirigen a las cuchillas para evitar atascamiento, desgaste de los filos por rozamiento o formar espacios entre cuchillas que imposibiliten el efecto cizalla que se necesita. Por ello, se recomienda hacer una plantilla montaje de cartón o madera para evitar estos problemas.

- ❖ Se recomienda tomar en cuenta la tolerancia que presenta el corte por chorro de agua abrasivo (entre 0.1 y 0.3mm) para obtener las dimensiones requeridas en las piezas que necesitan precisión, como los orificios donde los rodamientos van montados. Esto permitirá tener un montaje apropiado a presión.
- ❖ Es importante que las chavetas y los chaveteros estén fabricados a la medida justa para evitar que haya juego entre , lo que generaría desgaste y falla.
- ❖ Se recomienda que el soporte del motor tenga la altura justa para evitar que este vibre.
- ❖ A pesar de que la trituradora es desarmable, en algunos componentes es necesario que se provea un acople permanente (soldadura); ya que es necesario que se encuentre fijo al momento de la trituración por las vibraciones intrínsecas del sistema. En los componentes que requieran pernos para el fácil desensamble se recomienda un ajuste apropiado antes y después de triturar (al igual que un paso fino de rosca).
- ❖ Es importante acoplar y alinear apropiadamente los ejes del motor y del reductor con el eje de trituración para evitar fatiga.
- ❖ Como mantenimiento, se recomienda revisar y ajustar los pernos y prisioneros para evitar algún tipo de falla durante el funcionamiento de la máquina.
- ❖ Tomar las medidas de precaución necesarias para evitar cualquier percance.

IV. REFERENCIAS

- Alarcón, I. (2017). Ecuador tiene un déficit en reciclar basura. *El Comercio*. Recuperado el 20 de septiembre de 2017 de <http://www.elcomercio.com/tendencias/ecuador-deficit-reciclar-basura-contaminacion.html>
- ASTM International (s/f). ASTM D3039/D3039M Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Obtenido de <http://www.astm.org>
- ASTM International (s/f). ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Obtenido de <http://www.astm.org>
- Badia, J. D., Gil-Castell, O., & Ribes-Greus, A. (01/2017). Long-term properties and end-of-life of polymers from renewable resources. *EL SEVIER*, 137, 35–57. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.002>
- Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw-Hill Education.
- Edil, C., Velasco, F., & Torralba, J. (04/2000). Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones. *Revista de Metalurgia*, 36, 179-192. <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/570/580>
- El dinero impulsa el reciclaje local. (2017). *El Universo*. Recuperado el 30 de enero de 2018 de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/01/28/nota/6020404/dinero-impulsa-reciclaje-local>
- Escudero, D. (04/2001). Materiales compuestos. Aplicaciones. *Informes de la construcción*, Vol. 52, 472, 45-52.

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/676/758>

Jácome, E. (2016). Falta de reciclaje eleva el costo del tratamiento de la basura. *El Comercio*. Recuperado el 23 de octubre de 2017 de <http://www.elcomercio.com/actualidad/reciclaje-basura-quito-desperdicios-elinga.html>

Jácome, E. (2016). Tres proyectos de reciclaje en Quito están en marcha. *El Comercio*. Recuperado el 23 de octubre de 2017 de <http://www.elcomercio.com/actualidad/proyectos-reciclaje-quito-basura-emaseo.html>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación. https://books.google.com.ec/books?id=gilYI9_KKAoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Kandola, B.K., Ndiaye, M., & Price, D. (12/2013). Quantification of polymer degradation during melt dripping of thermoplastic polymers. *EL SEVIER*, 106, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.020>

Leyensetter, A., & Würtemberger, G. (1987). *Tecnología de los oficios metalúrgicos*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. https://books.google.com.ec/books?id=YeLfJ0K-4bAC&dq=leyensetter+y+wurtemberger&source=gbs_navlinks_s

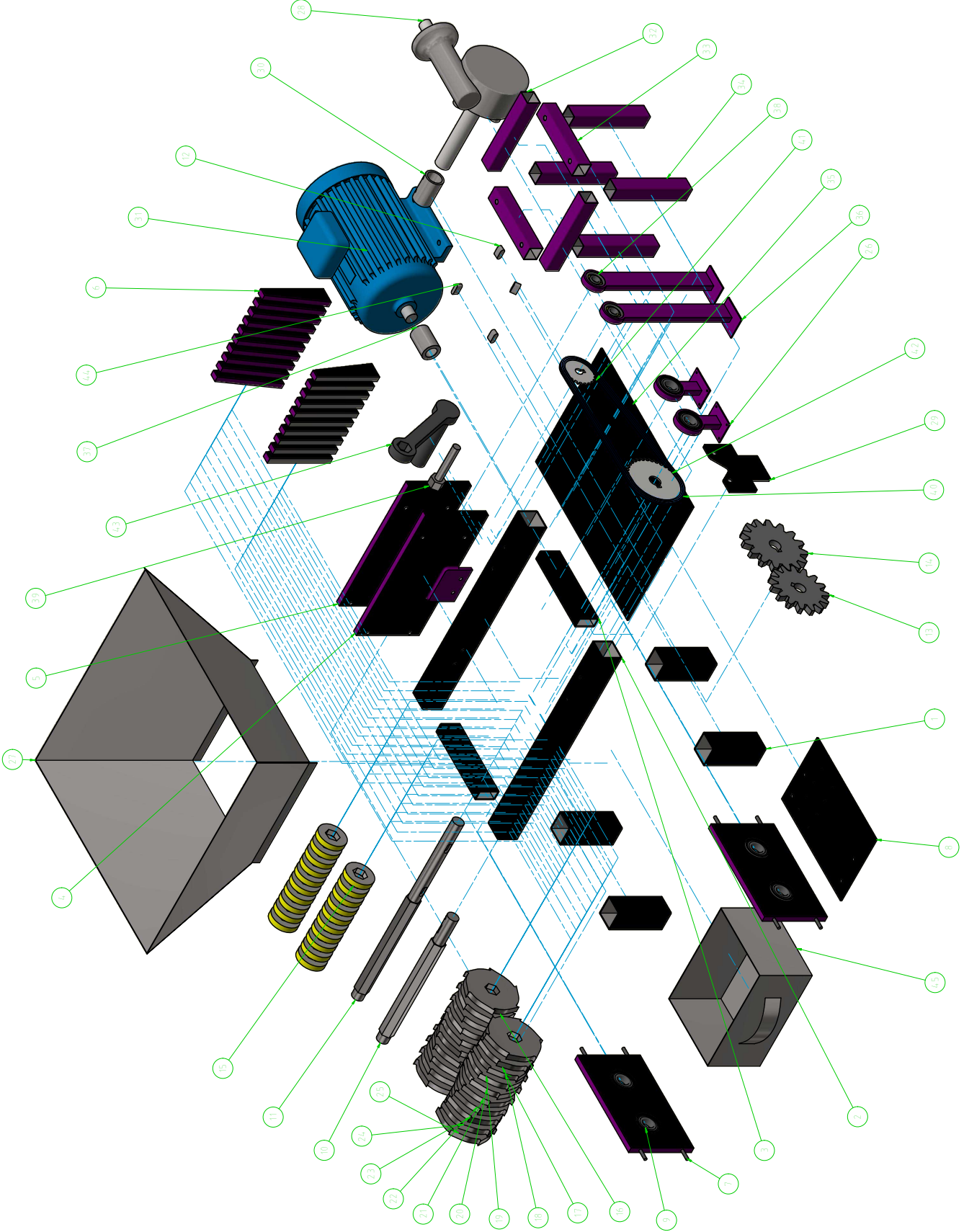
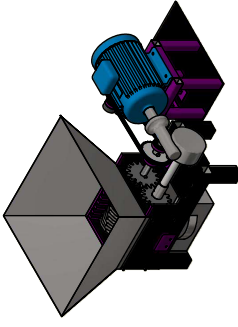
Pizarro, A. (2009). Tipo de trituradoras y molinos. *AAD-ITIQI*. Recuperado el 10 de febrero del 2018 de <https://1aaditiqigrupob.wordpress.com/2009/10/26/tipos-de-trituradoras-y-molinos/>

Quito y Guayaquil lideran la producción de residuos. (2016). *El Telégrafo*. Recuperado el 14 de febrero de 2017 de

<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/residuos-quito-guayaquil>

William, D., & Callister, J. (2010). *Materials Science and Engineering: An introduction*. Reverté.

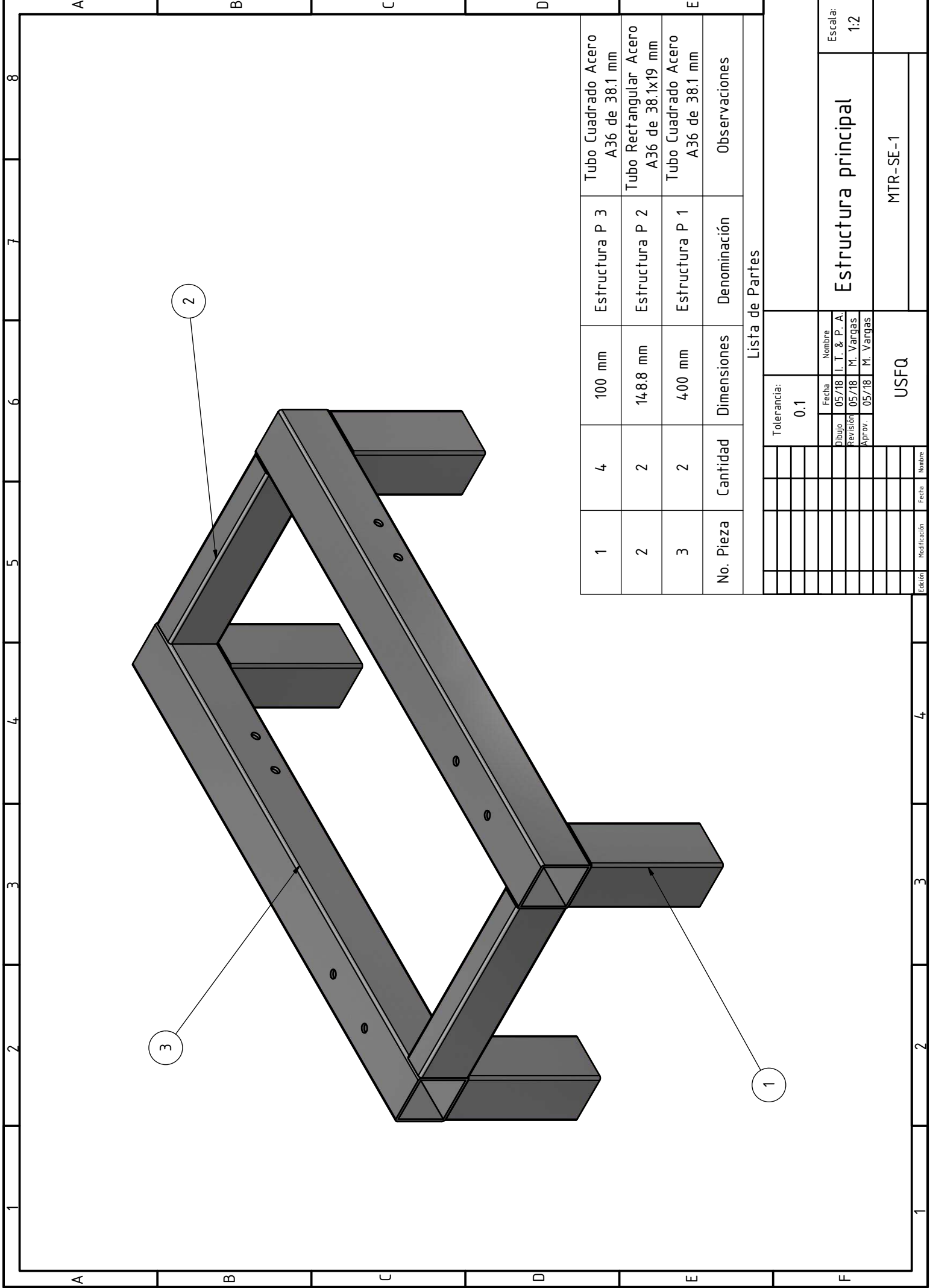
V. ANEXOS



1	Estructura3
2	Estructura1
3	Estructura2
4	Soporte lateral1
5	Soporte lateral 2
6	Guía
7	Base
8	Mesa 1
9	M.6.00c.ZZ
10	E.electrincipal 2
11	Eje Principal 1
12	Chaveta
13	Eje Principal
14	Coj.rolante
15	Separador
16	Cuchilla1
17	Cuchilla2
18	Cuchilla3
19	Cuchilla4
20	Cuchilla5
21	Cuchilla6
22	Cuchilla7
23	Cuchilla8
24	Cuchilla9
25	Cuchilla10
26	Soporte Eje
27	Junta
28	Reductor
29	BaseR
30	Camisa1
31	Motor
32	Estructura s1
33	Estructura S2
34	Estructura S3
35	Mesa 2
36	Soporte Eje2
37	Camisa 2
38	RG.S 4-72
39	Eje3
40	Carrota
41	Set alina (botón)
42	Set alina
43	Manivela
44	Coaxial 2
45	Junta
No. Pieza	Cantidad
Denominación	

Tolerancia	
0.1	
Escala	
1:3	
USFQ	
MTR-E	

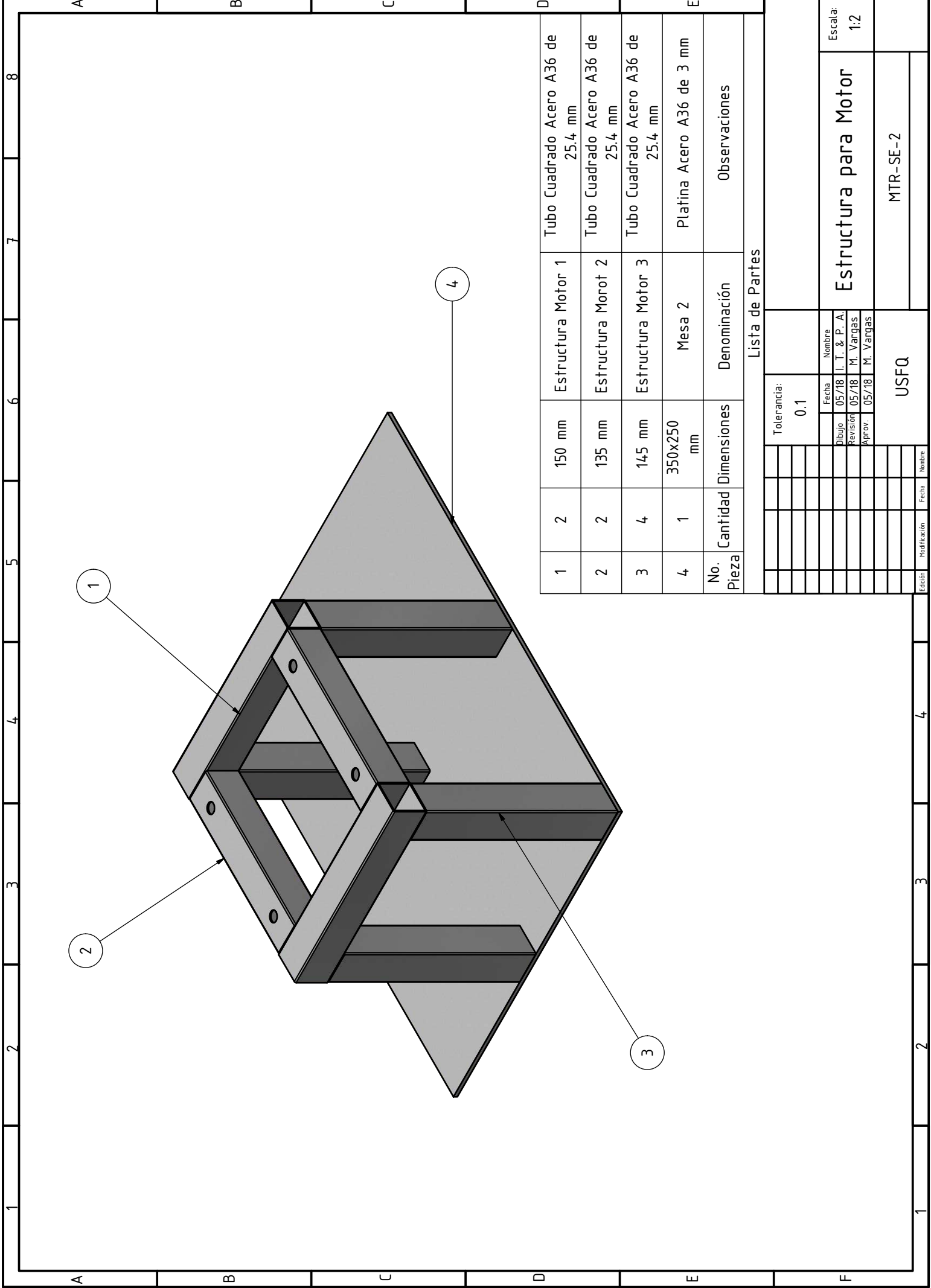
Lista de Partes	
Ensamble Trituradora	
Escala 1:3	
USFQ	
MTR-E	



No. Pieza	Cantidad	Dimensiones	Denominación	Observaciones
1	4	100 mm	Estructura P 3	Tubo Cuadrado Acero A36 de 38.1 mm
2	2	148.8 mm	Estructura P 2	Tubo Rectangular Acero A36 de 38.1x19 mm
3	2	400 mm	Estructura P 1	Tubo Cuadrado Acero A36 de 38.1 mm

Lista de Partes

Tolerancia:		0.1	
Dibujo	05/18	I. T. & P. A.	
Revisión	05/18	M. Vargas	
Aprov.	05/18	M. Vargas	
Edición		Modificación	
		Fecha	
		Nombre	
USFQ		MTR-SE-1	
Estructura principal		Escala: 1:2	



No. Pieza	Cantidad	Dimensiones	Denominación	Observaciones
1	2	150 mm	Estructura Motor 1	Tubo Cuadrado Acero A36 de 25.4 mm
2	2	135 mm	Estructura Motor 2	Tubo Cuadrado Acero A36 de 25.4 mm
3	4	145 mm	Estructura Motor 3	Tubo Cuadrado Acero A36 de 25.4 mm
4	1	350x250 mm	Mesa 2	Platina Acero A36 de 3 mm

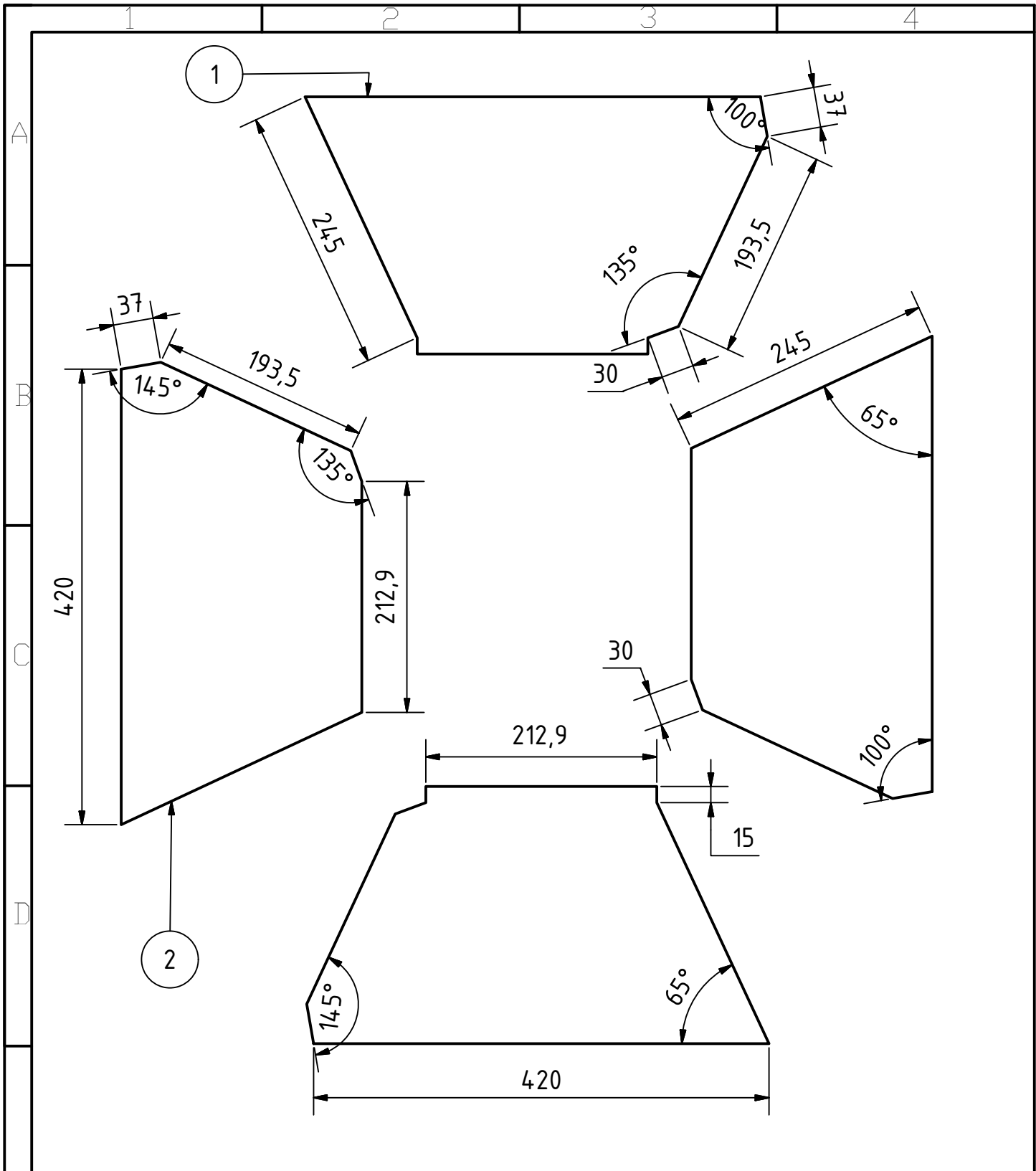
Lista de Partes

Tolerancia:		0.1	
Bujo	05/18	I. T. & P. A.	
Revisión	05/18	M. Vargas	
Aprov.	05/18	M. Vargas	
Edición		Modificación	
		Fecha	
		Nombre	
		USFQ	
		MTR-SE-2	

Estructura para Motor

Escala: 1:2

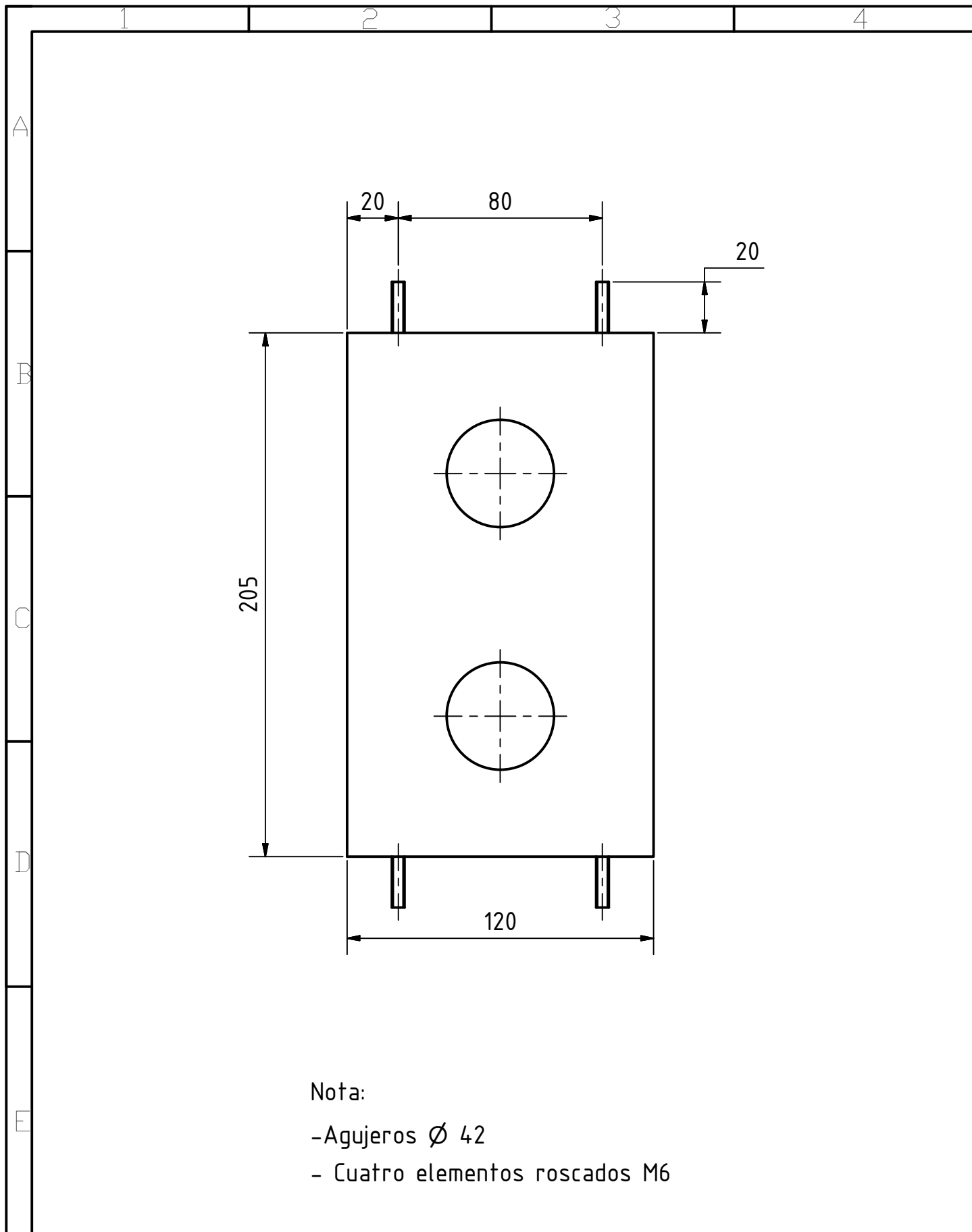
MTR-SE-2



Lista de partes

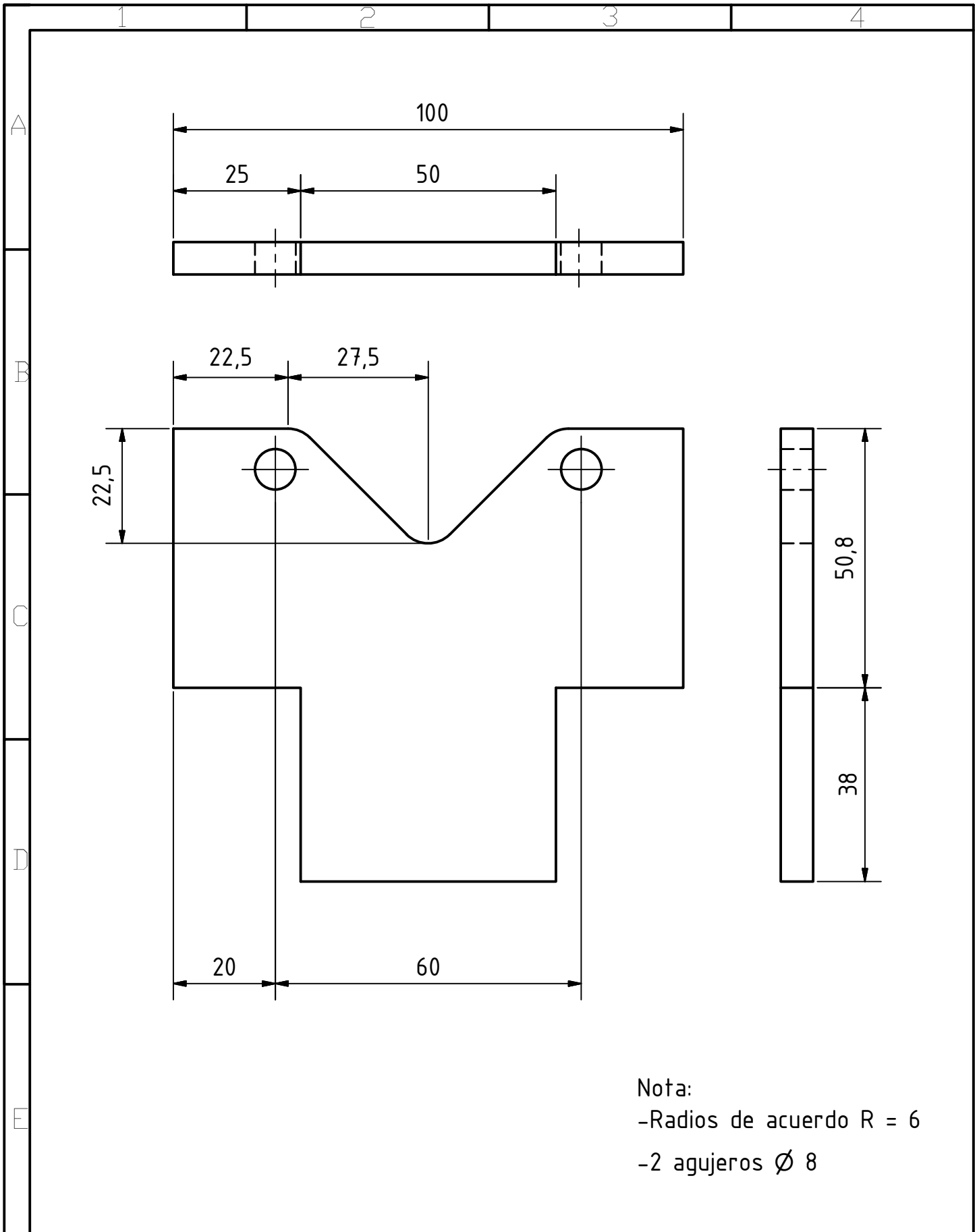
No. Pieza	Cantidad	Denominación	Observaciones
1	2	Tolva1	Tol espesor 1 mm
2	2	Tolva2	Tol espesor 1 mm

				Tolerancia:						
				0.1						
				Fecha	Nombre	Tolva			Escala: 1:5	
				Dibujo	05/18					I. T. & P. A.
				Revisión	05/18					M. Vargas
				Aprov.	05/18	M. Vargas				
				USFQ		MTR-SE-3				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre							



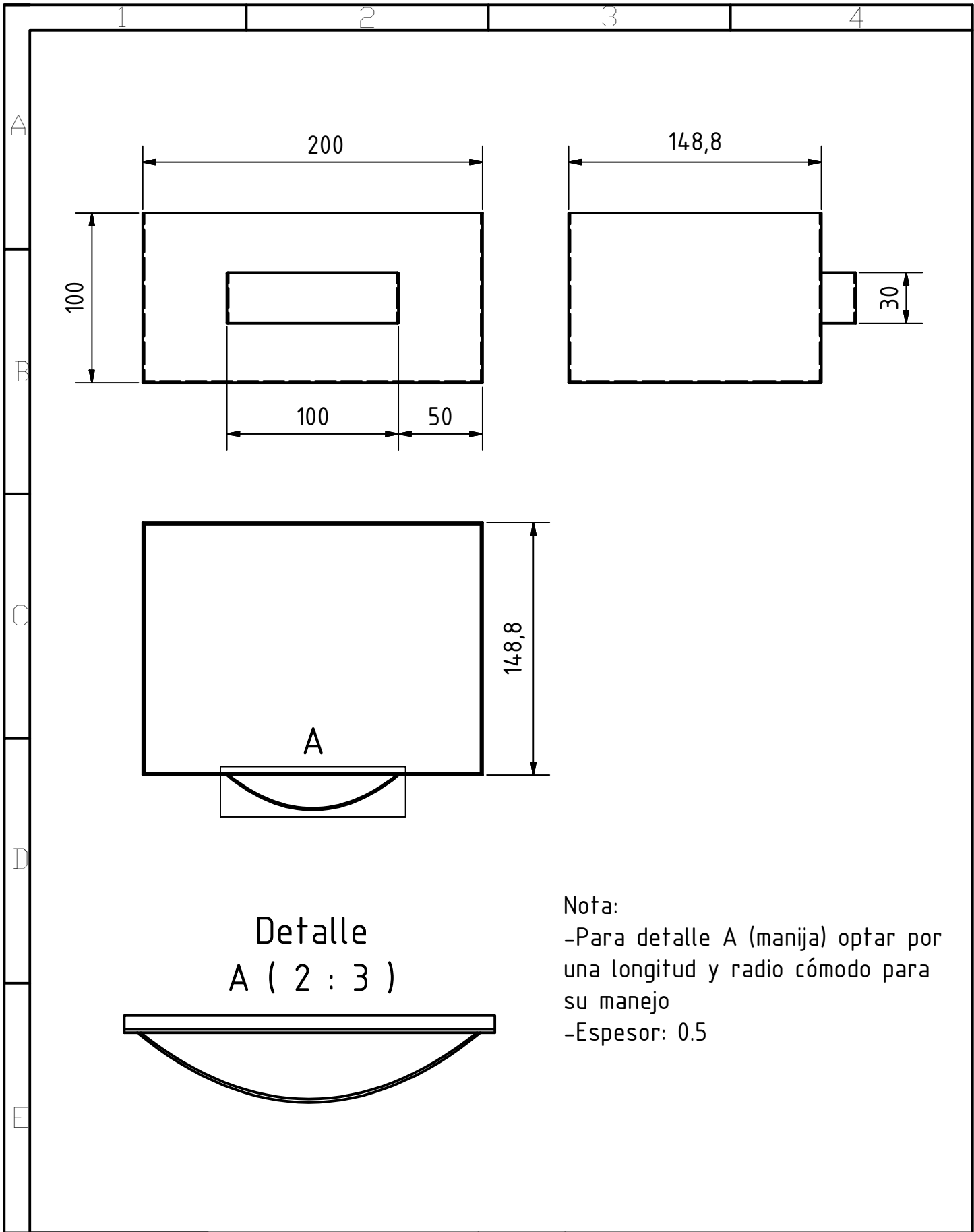
Nota:
 - Agujeros $\varnothing 42$
 - Cuatro elementos roscados M6

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36 espesor 10 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:2	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Base Principal		MTR-1		Fecha: 18/05/2018



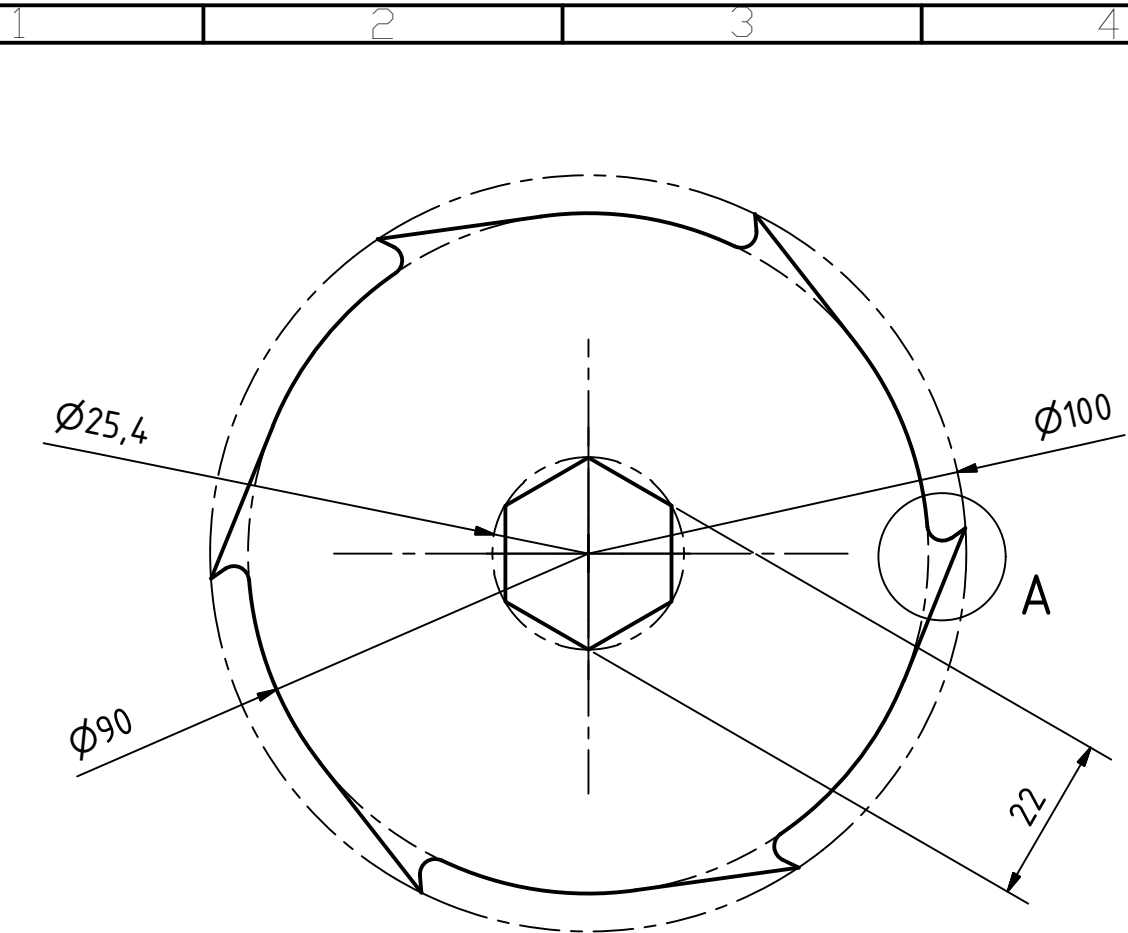
Nota:
 -Radios de acuerdo R = 6
 -2 agujeros \varnothing 8

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36 espesor 6.35mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Base Reductor		MTR-2		Fecha: 18/05/2018



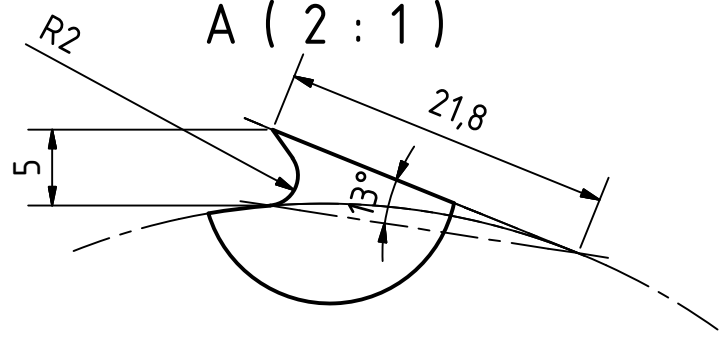
Nota:
 -Para detalle A (manija) optar por una longitud y radio cómodo para su manejo
 -Espesor: 0.5

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Tol	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:3	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Caja de Recolección		MTR-3		Fecha: 18/05/2018



Detalle

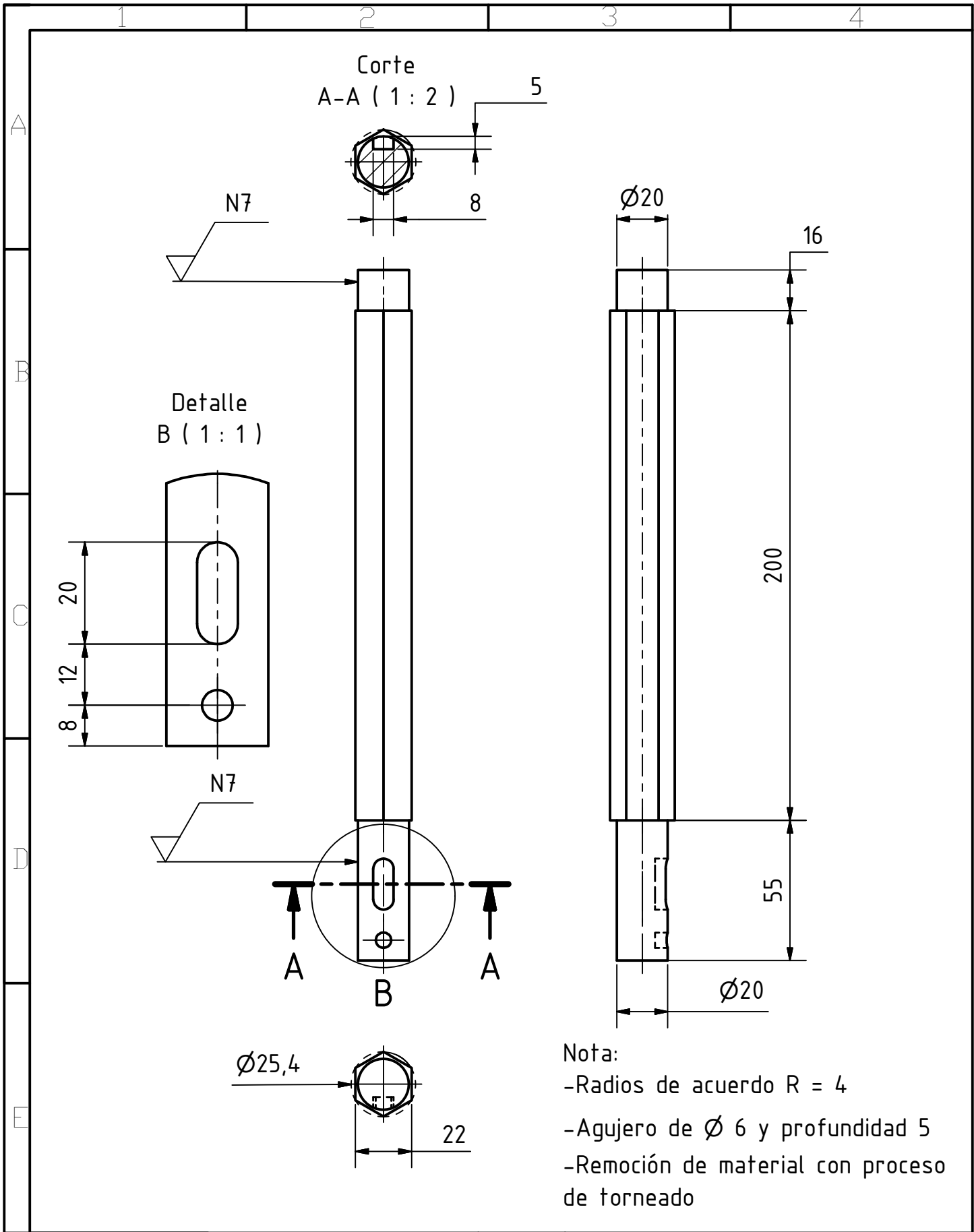
A (2 : 1)



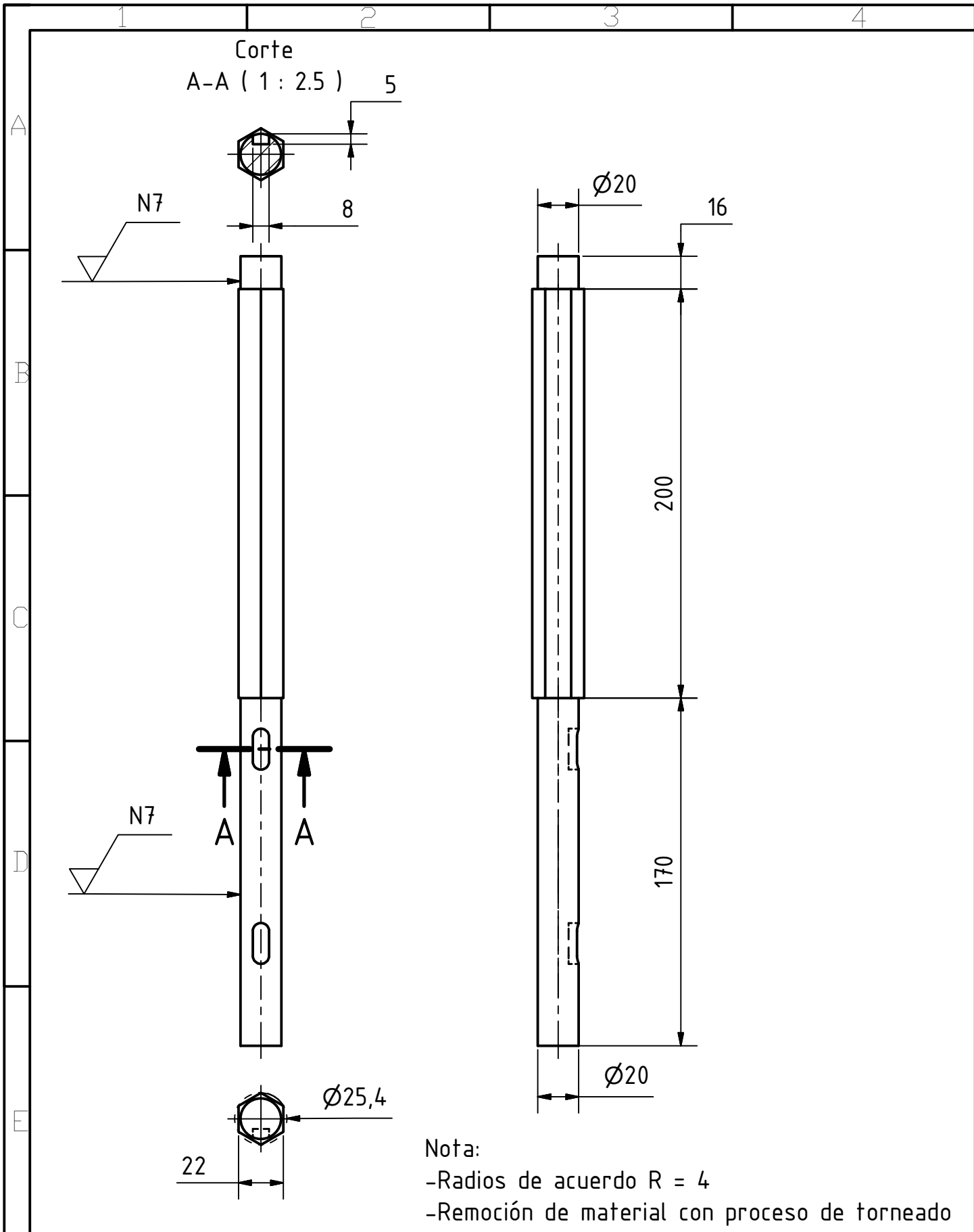
Nota:

- Hay 10 cuchillas con el hexágono interior desfasado 9° por cada transición
- Espesor: 10 mm

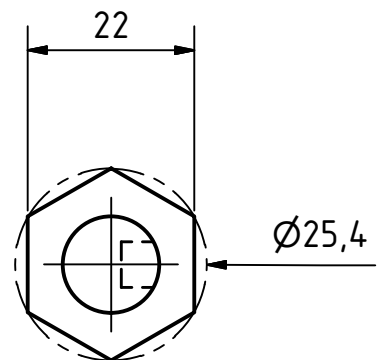
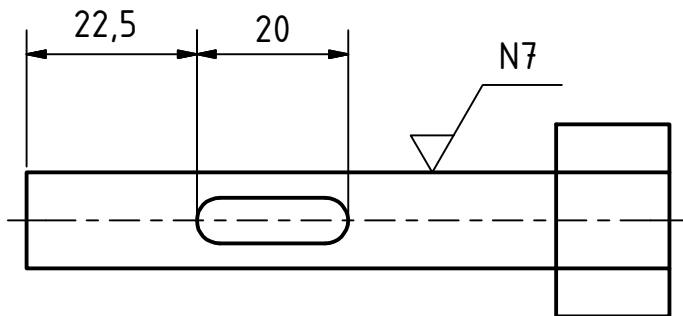
Trat. Térmico:	Cementación 1mm	USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Cuchilla		MTR-4		Fecha: 18/05/2018



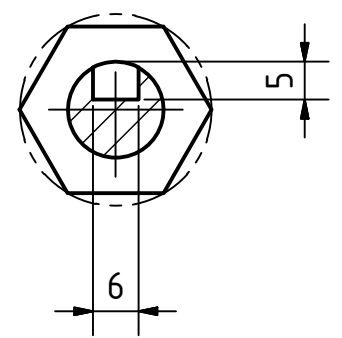
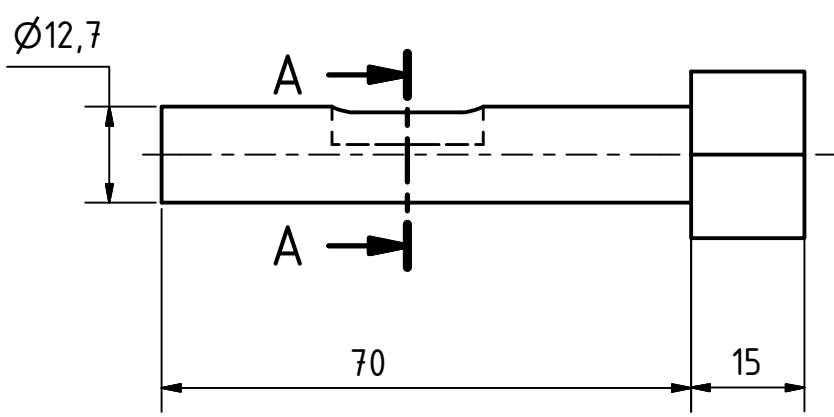
Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Eje hexagonal Acero de transmisión SAE 1018 diámetro 25.4 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:2	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Eje 1		MTR-5		Fecha: 18/05/2018



Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Eje hexagonal Acero de transmisión SAE 1018 diámetro 25.4 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 2:5	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Eje 2		MTR-6		Fecha: 18/05/2018

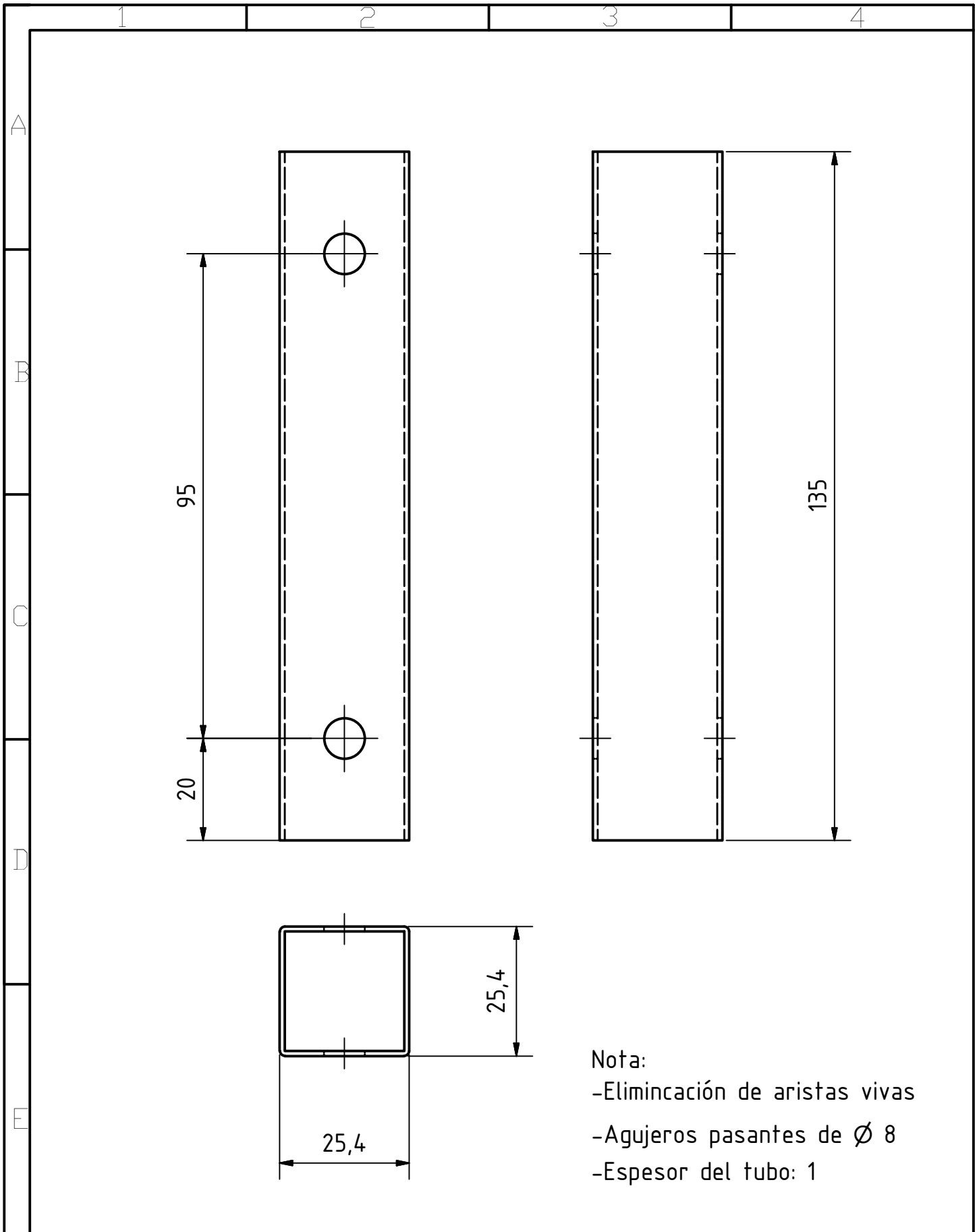


Corte
A-A (1 : 1)

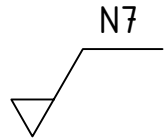
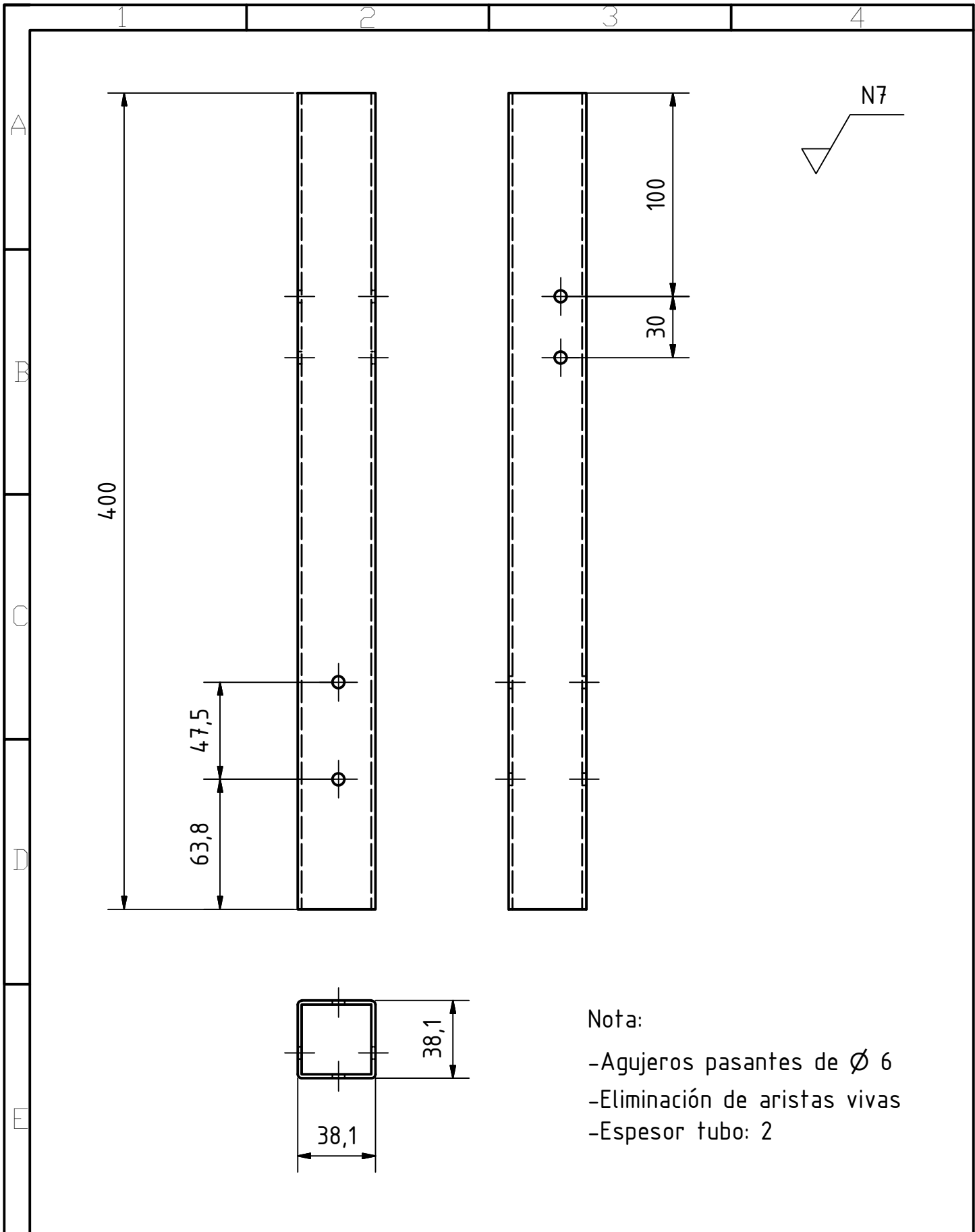


Nota:
 -Radios de acuerdo R = 3
 -Remoción de material con proceso de torneado

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Eje hexagonal Acero de transmisión SAE 1018 diámetro externo 25.4 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Eje 3		MTR-7		Fecha: 18/05/2018

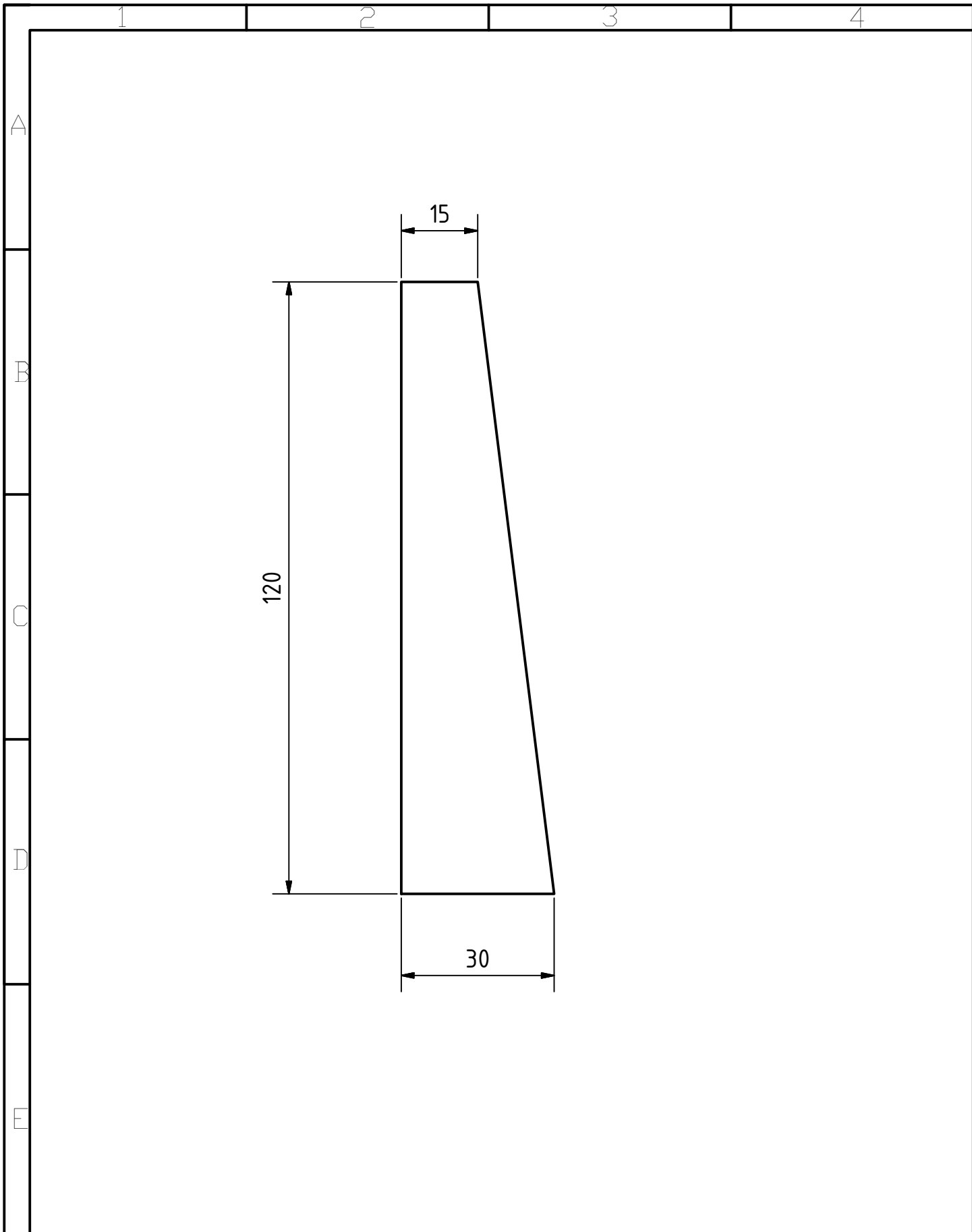


Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Tubo Cuadrado Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Estructura 2 Motor		MTR-8		Fecha: 18/05/2018

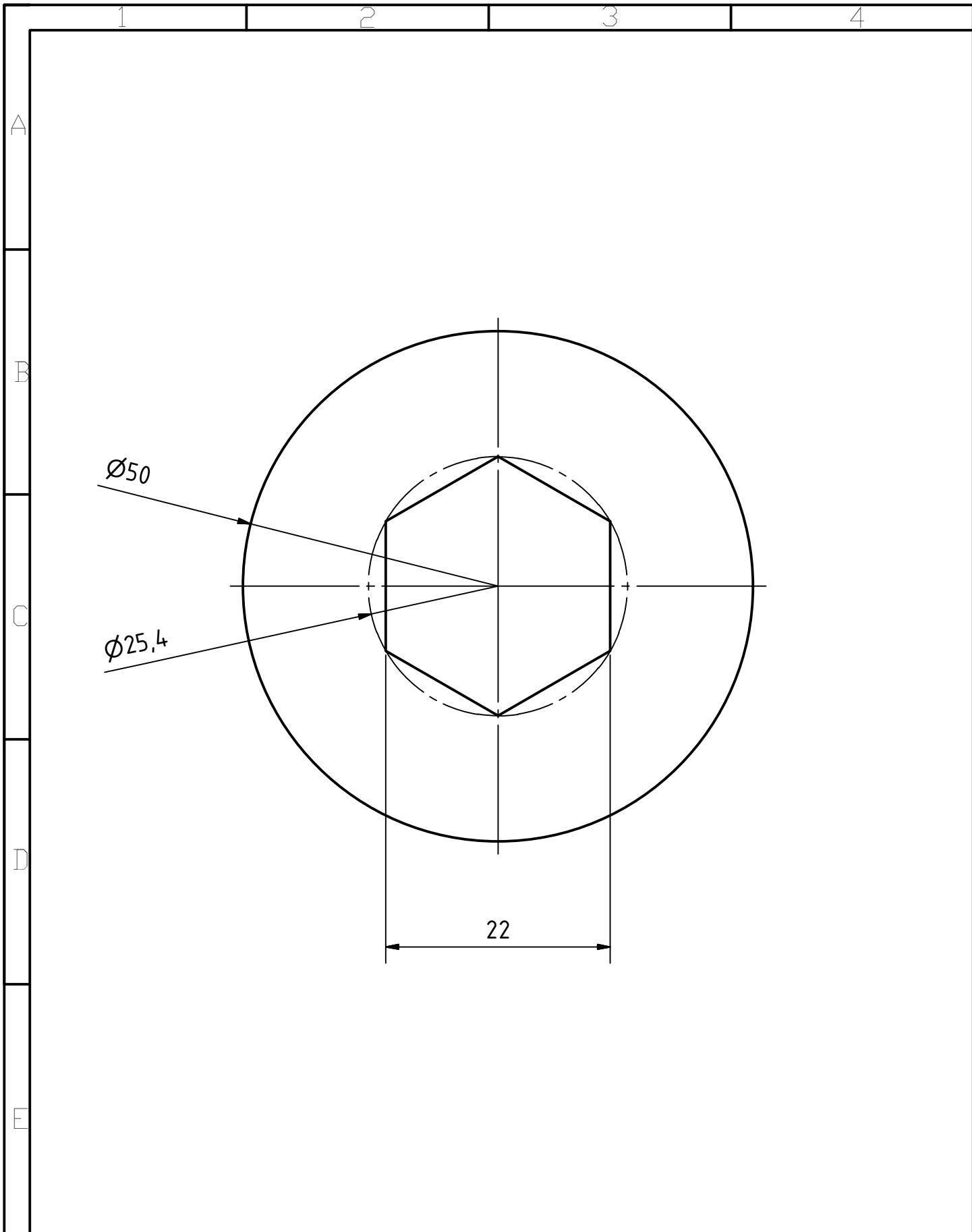


- Nota:
- Agujeros pasantes de $\varnothing 6$
 - Eliminación de aristas vivas
 - Espesor tubo: 2

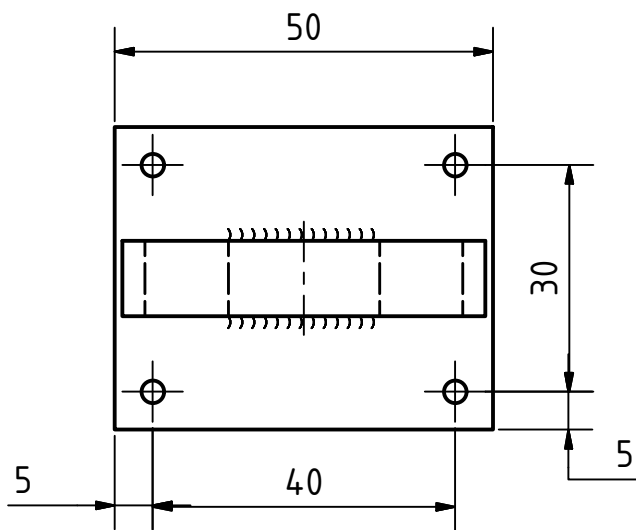
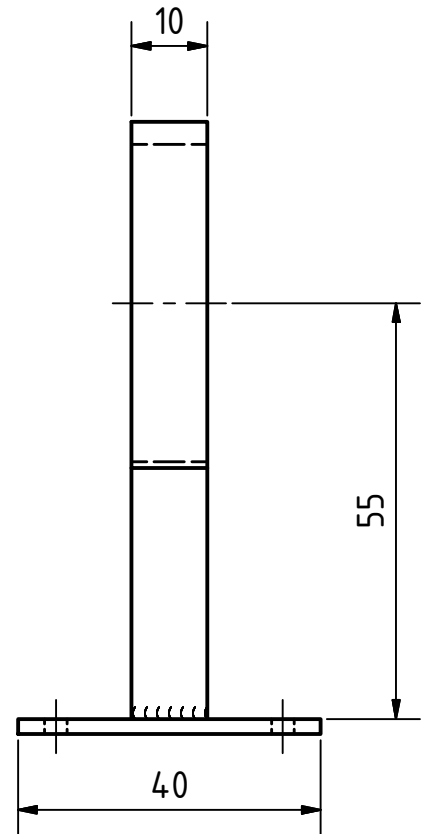
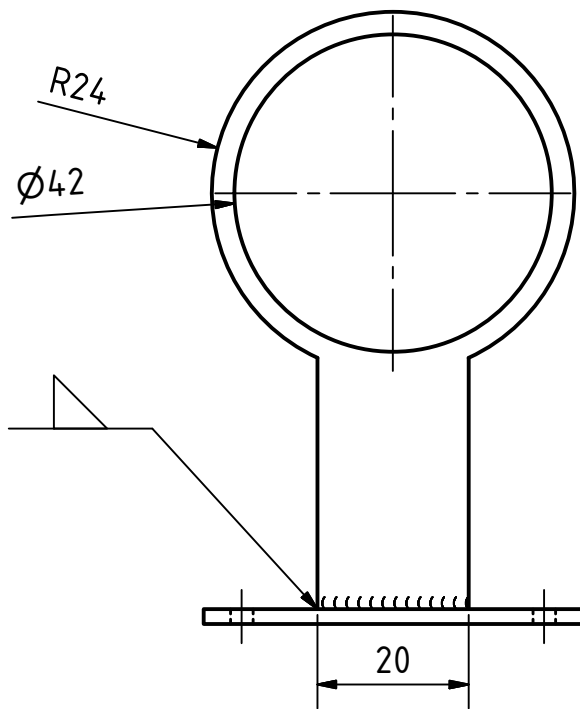
Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Tubo Cuadrado Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 2:5	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Estructura Principal 1		MTR-9		Fecha: 18/05/2018



Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36 espesor 10 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Guía		MTR-10		Fecha: 18/05/2018

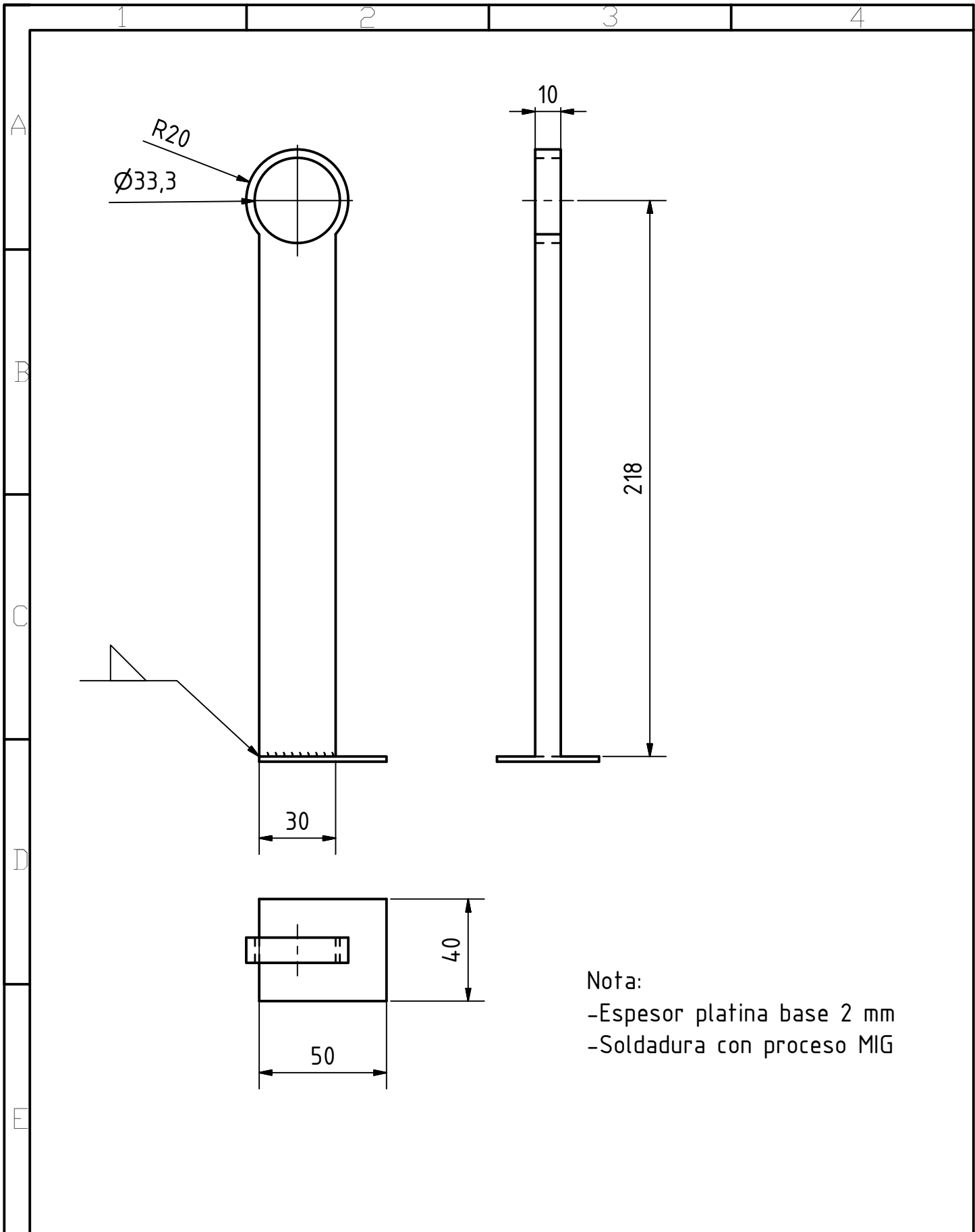


Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36 espesor 10 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 2:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Separador		MTR-11		Fecha: 18/05/2018



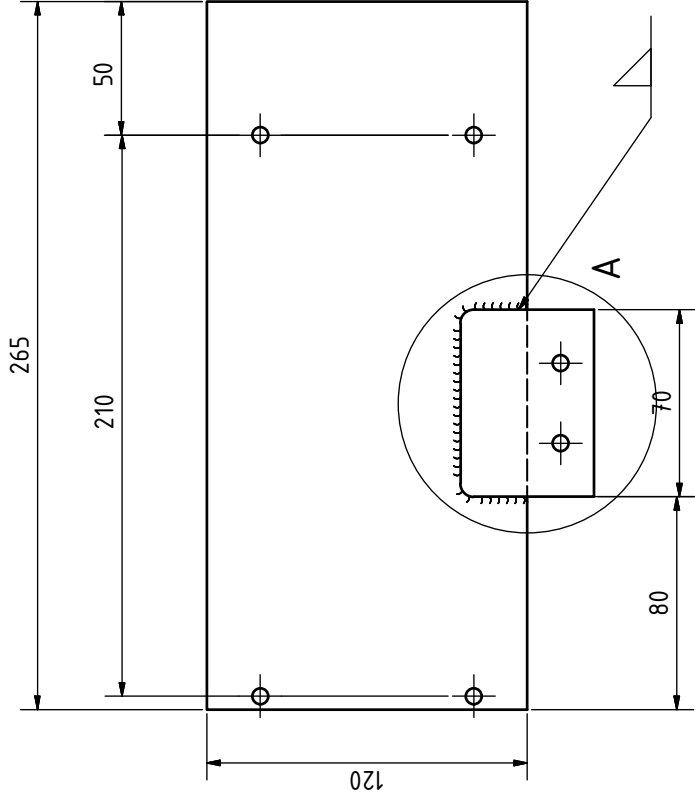
Nota:
 -Espesor platina base 2 mm
 -Agujeros \varnothing 3
 -Soldadura con proceso MIG

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Soporte Eje 1		MTR-12		Fecha: 18/05/2018

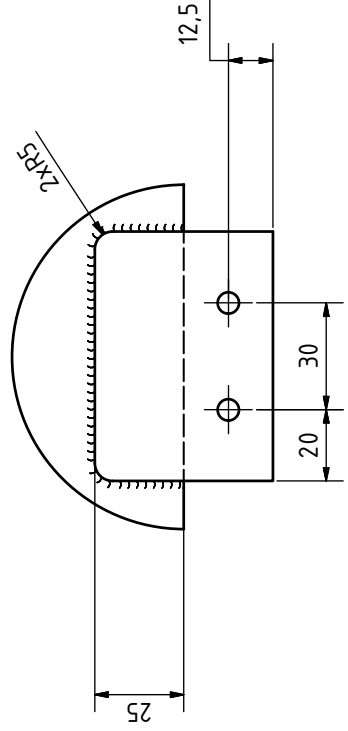


Nota:
 -Espesor platina base 2 mm
 -Soldadura con proceso MIG

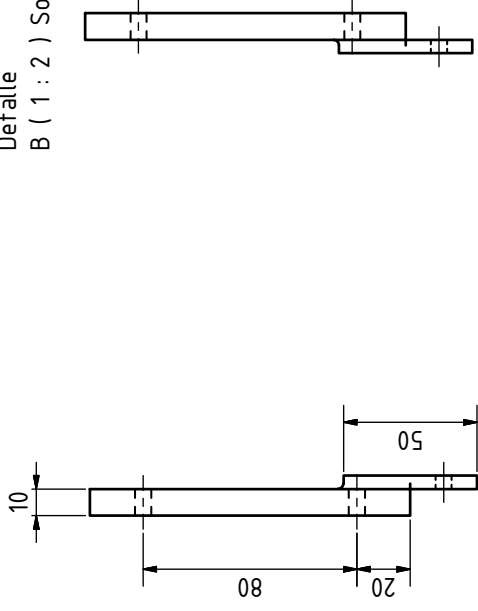
Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:2	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Soporte Eje 2		MTR-13		Fecha: 18/05/2018



Detalle
A (1 : 1.5)



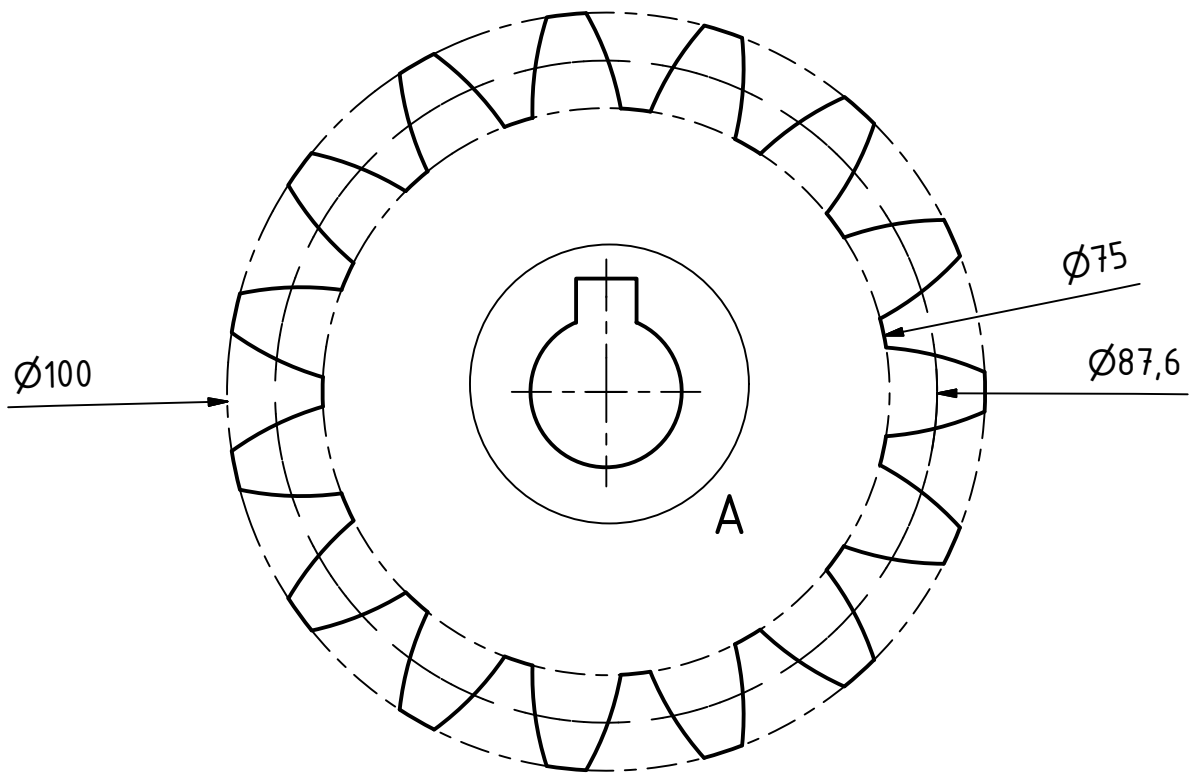
Detalle
B (1 : 2) Soporte Izquierdo



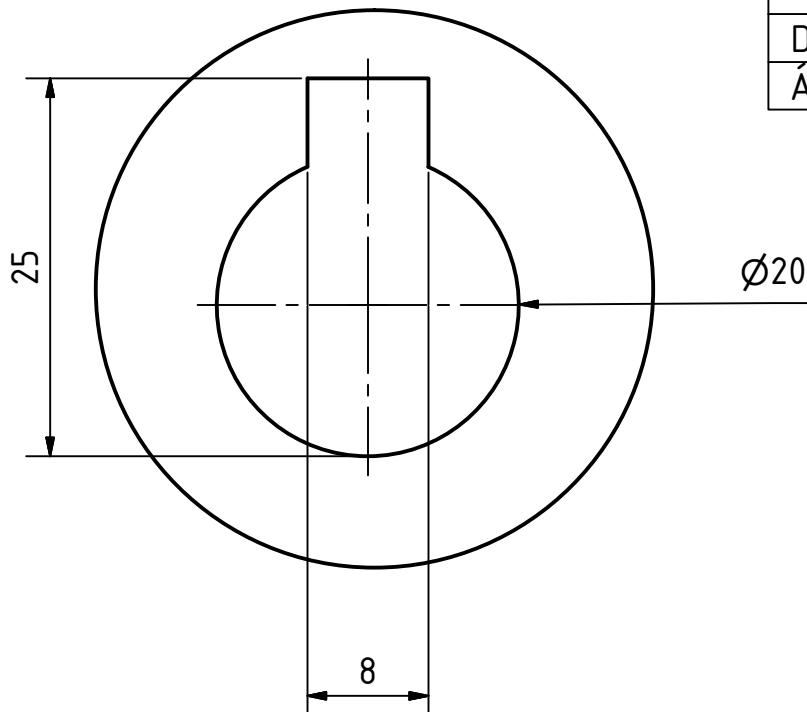
Nota:

- Soporte derecho mostrado
- Para soporte izquierdo la placa en el detalle A soldado al respaldo como muestra el detalle B
- Espesor placa: 5mm
- 6 agujeros iguales $\varnothing 6$
- Soldadura con proceso MIG

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA
Recubrimiento:			MECÁNICA
Material: Platina Acero A36 espesor 10mm	Tol. Gral	Escala:	DIB. Israel Tapia & Pamela Aquirre
	0.1	1:2	DIS. Israel Tapia & Pamela Aquirre
			REV. Michel Vargas PhD
Soporte Lateral			MTR-14
			Fecha: 18/05/2018



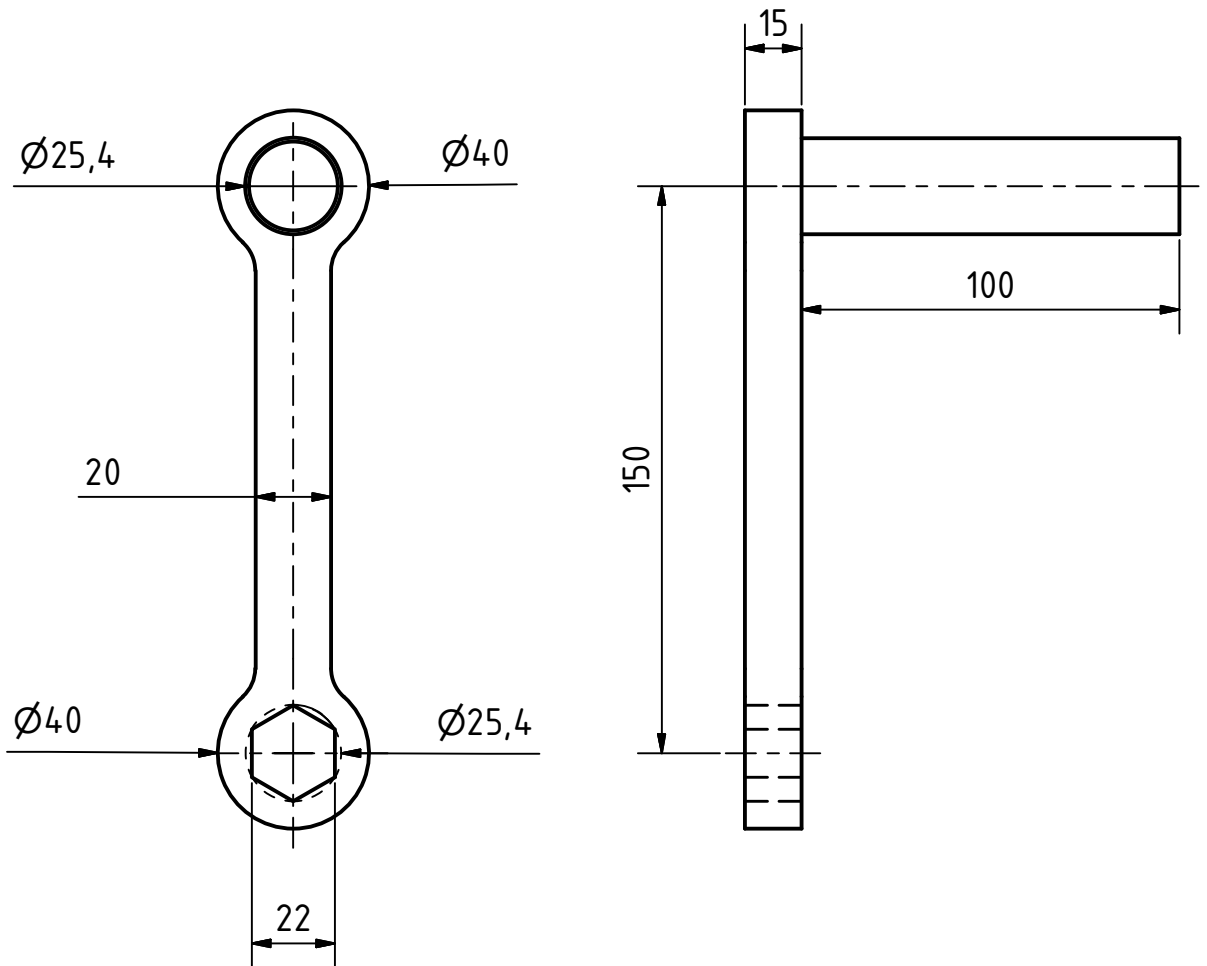
Detalle
A (2 : 1)



Datos Engranaje	
No. Dientes	15
Diámetro Primitivo	87.5 mm
Ángulo de Presión	20°

Nota:
-Espesor 10 mm

Trat. Térmico:	Cementación 1mm	USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:1	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Engranaje		MTR-15		Fecha: 18/05/2018



Nota:
 -Espesor tubo 1 mm
 -Radios de acuerdo R = 10

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Acero A36	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:2	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Manivela		MTR-16		Fecha: 18/05/2018

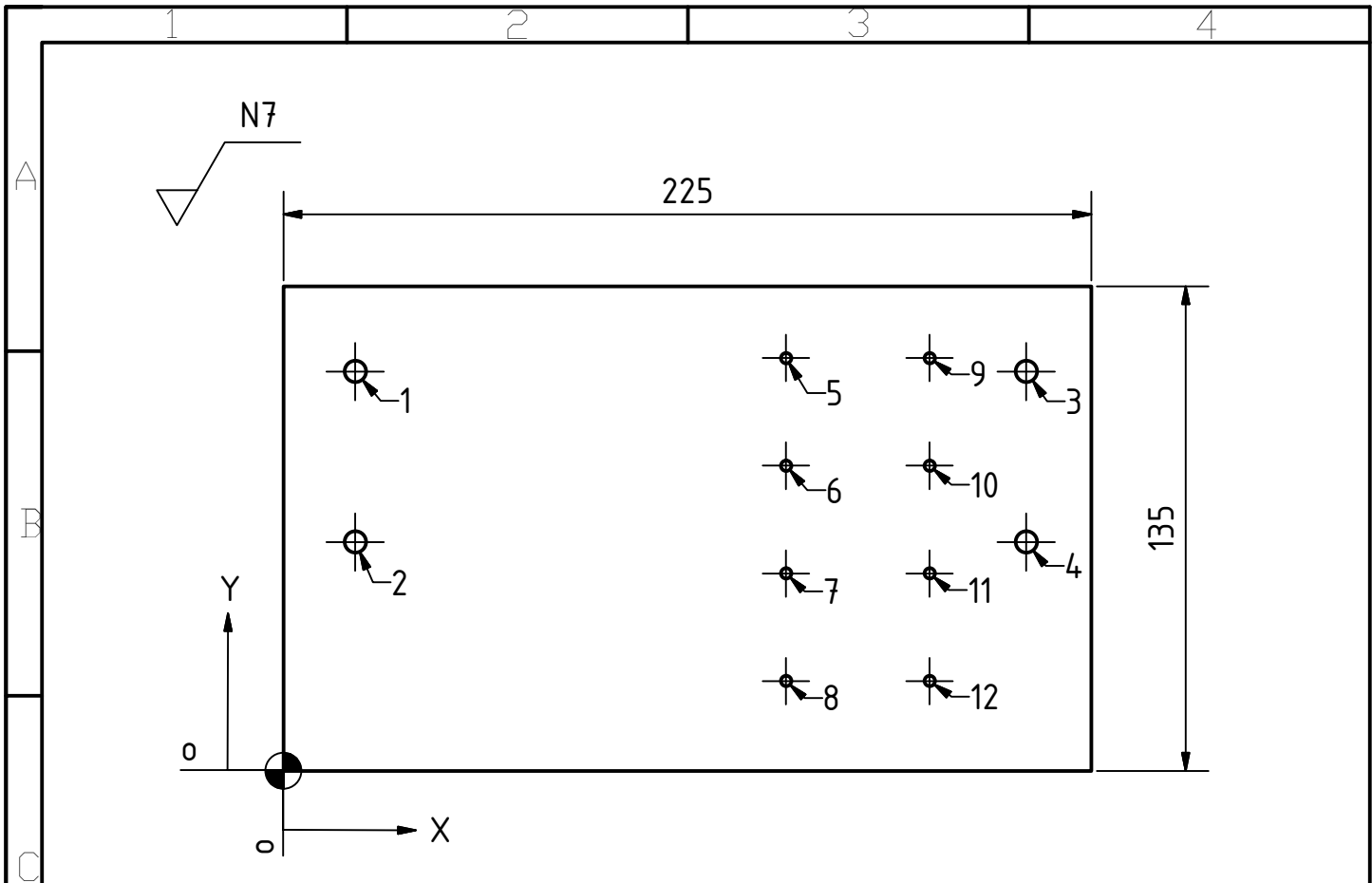


Tabla de Orificios			
No. Orificio	X(mm)	Y(mm)	Descripción
1	20,0	111,3	Ø6 mm - pasante
2	20,0	63,8	Ø6 mm - pasante
3	206,9	111,3	Ø6 mm - pasante
4	206,9	63,8	Ø6 mm - pasante
5	140,0	115,0	Ø3 mm - pasante
6	140,0	85,0	Ø3 mm - pasante
7	140,0	55,0	Ø3 mm - pasante
8	140,0	25,0	Ø3 mm - pasante
9	180,0	115,0	Ø3 mm - pasante
10	180,0	85,0	Ø3 mm - pasante
11	180,0	55,0	Ø3 mm - pasante
12	180,0	25,0	Ø3 mm - pasante

Trat. Térmico:		USFQ	CARRERA DE INGENIERÍA	
Recubrimiento:			MECÁNICA	
Material: Platina Acero A36 espesor 3 mm	Tol. Gral. 0.1	Escala: 1:2	DIB.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			DIS.	Israel Tapia & Pamela Aguirre
			REV.	Michel Vargas PhD.
Mesa 1		MTR-17		Fecha: 18/05/2018