

DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET COMO HERRAMIENTA DE APOYO  
PARA LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA DE UNICATÓLICA

JESÚS ALBERTO CLEVEL ANGULO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2020

DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET COMO HERRAMIENTA DE APOYO  
PARA LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA DE UNICATÓLICA

JESÚS ALBERTO CLEVEL ANGULO

Proyecto de investigación para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

PhD. JOHN EDWARD ORDOÑEZ ÑAÑEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2020

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Cali, 2 de Junio de 2020

## DEDICATORIA

“Para mi madre Bertha Angulo, por todo su esfuerzo,  
Dedicación y amor incondicional, por anteponer  
La tranquilidad de sus hijos antes  
que la de sí misma”.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y una hermosa familia, a mis padres, hermano y hermanas por su cariño, acompañamiento y apoyo durante este camino, motivándome a seguir siempre hacia adelante.

A la universidad y sus educadores, por su profesionalismo y dedicación, forjando siempre a través del buen ejemplo.

A los doctores en Física John E. Ordoñez y Carlos W. Sánchez por asesorarme y acompañarme durante el desarrollo de este proyecto de investigación, por compartir su experiencia y buenos consejos.

Al semillero MeFAI y sus integrantes por las experiencias vividas durante el tiempo compartido con ellos, experiencias que aportaron de manera significativa a mi formación profesional.

## CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	14
1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	19
3 JUSTIFICACIÓN .....	20
3.1 ALCANCE .....	20
3.2 LIMITACIÓN.....	20
3.3 RESULTADOS Y PRODUCTO DEL PROYECTO .....	21
3.4 IMPACTO AMBIENTAL.....	21
3.5 IMPACTO SOCIAL.....	21
4 ANTECEDENTES .....	22
4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE TRITURACIÓN PARA PET 22	
4.2 DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET .....	23
4.3 DISEÑO Y PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PET .....	24

4.4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECICLADORA DE PLÁSTICOS.....	25
4.5 DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR PARA POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS PARA LA EMPRESA INDUSTRIA RECUPLAST S.A.S.....	26
4.6 DESARROLLO MECATRÓNICO SUSTENTABLE: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PET .....	27
5 MARCO DE REFERENCIA.....	29
5.1 MARCO CONTEXTUAL.....	29
5.2 MARCO TEÓRICO.....	29
5.3 MARCO CONCEPTUAL.....	40
5.4 MARCO LEGAL.....	42
6 METODOLOGÍA.....	44
7 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	46
7.1 CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS DE LUGAR .....	46
7.2 MÁQUINA TRITURADORA.....	49
7.3 ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO Y COSTOS DEL PROTOTIPO .....	61
7.3.1 Análisis de posicionamiento.....	61
7.3.2 Análisis de costos .....	66
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	77
LISTA DE ANEXOS.....	12
ANEXOS.....	82

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Causas y efectos de la falta de un diseño.....	18
Tabla 2. Ejemplos de polímeros según su origen. ....	31
Tabla 3. Características y aplicaciones más comunes de los termoplásticos. ....	33
Tabla 4. Ventajas y desventajas del Reciclaje químico y mecánico. ....	37
Tabla 5. Requerimientos para el diseño de la máquina trituradora.....	49
Tabla 6. Costos de los materiales.....	67
Tabla 7. Costo de equipos. ....	68
Tabla 8. Costos de mano de obra.....	68
Tabla 9. Resumen de costos de fabricación. ....	69
Tabla 10. Costos directos del desarrollo del proyecto. ....	70



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Trituradora Finalizada. ....	23
Figura 2. Trituradora de plástico PET para procesar 100 Kg al día. ....	24
Figura 3. Trituradora completa. ....	25
Figura 4. Esquema de la planta. ....	26
Figura 5. Ilustración y Vista del Modelo. ....	27
Figura 6. Vistas de la carcasa exterior y del interior de la trituradora. ....	28
Figura 7. Polímeros termoplásticos más usados por las personas en su día a día: Tereftalato de Polietileno (PET) y Polietileno de alta densidad (HDPE). ....	32
Figura 8. Procesos en los que se clasifica el reciclaje químico. ....	35
Figura 9. Etapas del reciclaje mecánico. ....	36
Figura 10. Tolva de alimentación para pellets. ....	38
Figura 11. Rotor, motor y tolva de una trituradora de plásticos. ....	39
Figura 12. Criba para molino Cumberland. ....	39
Figura 13. Material plástico. ....	40
Figura 14. Proceso de reciclaje. ....	41
Figura 15. Línea de lavado completo en frío para PET. ....	41
Figura 16. Granceado plástico. ....	42
Figura 17. Vista Isométrica del LAB3i. ....	46
Figura 18. Distribución del LAB3i. ....	47
Figura 19. Asignaturas enfocadas en producción. ....	48
Figura 20. Vista isométrica de tolva. ....	50
Figura 21. Vista superior de tolva. ....	50
Figura 23. Vista isométrica inferior de tolva. ....	51
Figura 23. Propiedades de materia de la tolva. Simulación en SolidWorks. ....	51
Figura 24. Vista isométrica, eje de trituración. ....	52

Figura 25. Vista superior, eje de trituración. ....	52
Figura 26. Vista isométrica, eje de transmisión de potencia. ....	53
Figura 27. Vista superior, eje de transmisión de potencia. ....	53
Figura 28. Vista isométrica de criba. ....	53
Figura 29. Vista superior de criba. ....	54
Figura 30. Vista isométrica inferior de criba. ....	54
Figura 31. Vista isométrica, caja de cuchillas y criba. ....	55
Figura 32. Vista superior caja de cuchillas y criba. ....	55
<i>Figura 33. Vista isométrica desde abajo caja de cuchillas y criba. ....</i>	<i>56</i>
Figura 34. Propiedades de materia de la caja de cuchillas y criba. Simulación en SolidWorks. ....	56
Figura 35. Vista isométrica de estructura en perfil cuadrado. ....	57
Figura 36. Vista superior estructura en perfil cuadrado. ....	57
Figura 37. Vista isométrica inferior de estructura en perfil cuadrado. ....	58
Figura 38. Propiedades de materia de estructura en perfil cuadrado. Simulación en SolidWorks. ....	58
Figura 39. Ensamble final de trituradora. ....	59
Figura 40. Vista superior ensamble final trituradora. ....	60
Figura 41. Vista isométrica inferior de ensamble final trituradora. ....	60
Figura 42. Propiedades de materia de la trituradora. Simulación en SolidWorks. .	61
Figura 43. Interior del LAB3i en Pance. ....	62
Figura 44. LAB3i en Pance. Elaboración propia. ....	63
Figura 45. LAB3i en Pance. Elaboración propia. ....	63
Figura 46. Vista en planta del LAB3i. ....	64
Figura 47. Vista isométrica del interior del LAB3i. ....	65
Figura 48. Ubicación de la trituradora dentro del LAB3i. ....	65
Figura 49. Trituradora de doble eje. ....	71
Figura 50. Trituradora para plástico. ....	71
Figura 51. Molino para PET, marca WENSUI VGY 15. ....	72

Figura 52. Greenmaker – Trituradora de plástico Precious Plastic.....72  
Figura 53. Molino triturador para plásticos, botellas PET.....73  
Figura 54. Tritura plásticos. ....73

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 3 mm.....	82
Anexo B. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 4.5 mm. ....	84
Anexo C. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 6 mm.....	86
Anexo D. Planos de máquina trituradora de PET. ....	88

## **RESUMEN**

El PET es uno de los plásticos más usados por las personas en sus actividades diarias, su mala disposición ha ocasionado que año tras año sus volúmenes de desechos, terminen afectando la vida de los animales en sus diferentes ecosistemas debido al largo tiempo que le toma a la naturaleza degradarlo; estos son indicios de que la industria debe trabajar con este material, por lo tanto, los ingenieros industriales dentro de su formación profesional deben saber sus procesos de fabricación y reutilización, para aprenderlo están las prácticas de laboratorio; por eso con este proyecto de investigación se le brindó a Unicatónica el diseño de una máquina trituradora de PET haciendo uso de la metodología del prototipo evolutivo, para que pueda implementar el uso de este material en las asignaturas del área de producción y de esta forma se logre disminuir el impacto de los desechos de PET en el medio ambiente.

Palabras claves: PET, ecosistema, máquina trituradora, prácticas de laboratorio.

## **ABSTRACT**

PET is one of the most used plastics by people in their daily activities, its poor disposition has caused that year after year their volumes of waste, end up affecting the lives of animals in their different ecosystems due to the long time it takes for nature to degrade it; these are indications that the industry must work with this material, therefore, industrial engineers within their professional training must know their manufacturing and reuse processes, to learn it, there are laboratory practices; that's why with this research project was contributed to Unicatónica with the design of a PET crushing machine using the evolutionary prototype methodology, so that it can implement the use of this material in the subjects of the production area and thus reduce the impact of PET waste on the environment.

Keywords: PET, ecosystem, shredding machine, laboratory practices.

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son en su mayoría de un solo uso, es decir, no se pueden utilizar nuevamente en actividades propias ni diferentes para los que fueron creados sin un riguroso tratamiento; por tanto, una vez usado se debe depositar en lugares destinados para su recolección, ya que su tiempo de degradación se estima en más de 450 años (Ámbar plus S.L.), debido a los compuestos químicos, naturales y aditivos utilizados durante su producción.

A raíz de la inmensa aplicabilidad y bajo costo de manufactura, este material se ha convertido en indispensable para industrias de envases, alimentos, cosmética, limpieza, entre otras; ocasionando de esta forma grandes volúmenes de desechos que al no ser recolectados correctamente y ser arrojados en cualquier lugar, terminan deteriorando ambientes naturales y sus animales sufren serias complicaciones al confundirlos con alimento.

Producto de su impacto, empresas como Apropet, Enka y proyectos como plástico precioso en Colombia, están llevando a cabo iniciativas de reciclaje y tratamiento de este material con el fin de mitigar su impacto en los ecosistemas.

Bajo este mismo pensamiento nació este proyecto, en el cual, se tomó como base la iniciativa propuesta por el holandés (Dave Hakkens, 2016) con su página *Precious Plastic*, en ella se brindan herramientas y medios visuales con el fin de que personas de todo el mundo puedan construir sus máquinas y transformar plástico reciclado en nuevos productos. Dichas máquinas permiten granular recipientes de plástico, para luego con ayuda de calor, convertirlo en filamento o crear nuevos objetos al ser introducidos en moldes para que adquieran su forma.

El proceso principal del cual depende la creación de nuevos productos de plástico pasa por la máquina trituradora; por tanto, se usó la información en *Precious Plastic*, y se realizó el diseño de la trituradora, teniendo en cuenta el espacio disponible y

demás objetos instalados en el LAB3i, ya que es el lugar donde será utilizada una vez construida, brindando apoyo en diferentes cursos de producción, al integrarse al proyecto pedagógico de un sistema de reprocesamiento de plásticos en UNICATOLICA, el cual va a presentarse en la próxima convocatoria de investigaciones. Este tipo de iniciativas permitirá a los estudiantes de ingeniería industrial acrecentar las experiencias que le serán útiles como futuros profesional.

# 1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los plásticos, el Tereftalato de polietileno (PET) se ha convertido en uno de los materiales más manipulados por las personas en sus actividades diarias; se usa principalmente en la industria de alimentos, bebida, limpieza y cosméticos, con el fin de envasar y proteger el producto de agentes externos que afectan la calidad del contenido; según (Ferro Nieto, Toledo arguelles, & Cadalso Basadre, 2008) entre sus aplicaciones se encuentran el envasado de “agua mineral, aceite, zumos, bebidas isotónicas, detergentes, productos de higiene corporal, etc.”

Este material al ser considerado de un solo uso, no se recomienda reutilizarlo para envasar nuevos líquidos para el consumo, ya que entre sus componentes químicos está presente el Bisfenol A, que con el pasar del tiempo se desprende del PET mezclándose con su contenido y al ser ingerido en grandes cantidades afecta el sistema endocrino de las personas, imposibilitando el correcto funcionamiento de ciertas hormonas, incluso llegando a tener incidencia en la diabetes y obesidad para quienes lo consumen (Magnet, 2017).

Debido al *“abaratamiento de los costos de fabricación y el desarrollo de tecnologías que mejoran sustancialmente las propiedades de las botellas haciéndolas resistentes a los agentes biológicos y atmosféricos”* (Ferro Nieto, Toledo arguelles, & Cadalso Basadre, 2008) su tiempo de descomposición se estima en más de 450 años. Este factor sumado a la mala disposición final que realizan las personas después de utilizarlos y no desecharlos correctamente ha ocasionado que este material llegue a parar a calles, zonas verdes, alcantarillado, ríos, mares y océanos afectando las actividades y el libre desarrollo de los seres vivos que en ellos habitan, principalmente en los ecosistemas acuáticos y vegetales.

*Según (Semana Sostenible, 2019) “en Colombia de las 49.000 toneladas que se producen anualmente, solo se reciclan el 30% de estas”,* problemática que se



presenta debido a la poca conciencia y desinterés que tienen las personas, al no percibir directamente los daños que ocasiona este material en los ecosistemas y sus especies, haciendo que los niveles de desperdicios que terminan en los ecosistemas acuáticos, año tras año sigan en aumento.

Si las personas no se concientizan, y no empiezan a disponer responsablemente de este material después de utilizarlo, los envases de PET que lleguen a los ríos, mares y océanos, seguirán imposibilitando la supervivencia de las especies que los habitan: afectando el desplazamiento en su hábitat; durante el proceso de descomposición, las pequeñas partes en que se va diluyendo, terminan siendo confundidas como alimento y consumidas por estos animales, afectando el funcionamiento de su sistema digestivo, ocasionándoles su muerte.

Con el fin de mitigar el impacto que este material está generando en las especies y su hábitat, se propone diseñar una máquina trituradora de PET; en la Tabla 1 se visualizan los efectos de no realizarlo en Unicatólica. Con esta máquina se busca utilizar dicho material que ha finalizado su vida útil y darle valor, creando nuevos productos a partir de él, haciendo uso de una serie de máquinas propuestas por (Dave Hakkens, 2016) en su proyecto "*Precious Plastic*" al cual pertenecen los diseños a utilizar en la máquina trituradora.

Esta máquina se plantea como punto de partida para el sistema de reprocesamiento de plásticos, que servirá como apoyo en el proceso formativo de los ingenieros industriales de Unicatólica, específicamente podrá ser empleada en prácticas de laboratorio en áreas afines a producción vistas a lo largo de su formación, con la cual podrán mejorar sus competencias para el mercado laboral.

Tabla 1. Causas y efectos de la falta de un diseño.

<b>Causa</b>	<b>Problema</b>	<b>Efecto</b>
No construcción.	Falta de un diseño de máquina trituradora de PET.	No se involucra a la comunidad académica en procesos de reciclaje.
Desaprovechamiento del material desechado.		Aumento de la contaminación.
Acumulación del material en los ecosistemas.		Daño en ecosistemas y animales que los habitan.

Fuente: Autor.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Como diseñar una máquina trituradora de PET para que, a partir de material reutilizado, permita su reprocesamiento para la creación de nuevos productos y sea una herramienta que contribuya al proceso formativo de los ingenieros industriales de Unicatólica?

## **1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo identificar requerimientos necesarios para el diseño de la máquina trituradora para el laboratorio de ingeniería?

¿Cómo realizar el diseño de una máquina trituradora que responda a los requerimientos planteados por Unicatólica y permitan apoyar la formación de estudiantes de ingeniería?

¿Cómo realizar el análisis de posicionamiento de la máquina en el laboratorio y los costos de fabricación de un prototipo?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una máquina trituradora de PET que, a partir de material reutilizado, permita su reprocesamiento para la creación de nuevos productos y sea una herramienta que contribuya al proceso formativo de los ingenieros industriales de Unicatólica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar requerimientos necesarios para el diseño de la máquina trituradora para el laboratorio de ingeniería.
- Realizar el diseño de una máquina trituradora que responda a los requerimientos planteados por Unicatólica y permitan apoyar la formación de estudiantes de ingeniería.
- Realizar el análisis de posicionamiento de la máquina en el laboratorio y los costos de fabricación de un prototipo.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1 ALCANCE**

El plástico es un polímero que debido a la cantidad de aplicaciones que tiene en la industria, sumado a su bajo costo de producción, es utilizado diariamente por empresas y personas. La poca conciencia que se tiene a raíz de las implicaciones que este material ocasiona en el medio ambiente, es un tema más de desinterés que de desconocimiento, acción que se evidencia en la poca cantidad de material que es reciclado, aun, cuando sus características permiten hacerlo.

En función de esto, se planteó el diseño de una máquina trituradora de plásticos y su análisis de costos de fabricación como punto de partida, sentando las bases para que después de su construcción permita procesar el PET que ha finalizado su vida útil, reutilizándolo en nuevas actividades que impidan que este siga deteriorando el hábitat y la vida de los animales en el entorno de disposición final.

#### **3.2 LIMITACIÓN**

El diseño de la máquina trituradora hace parte del sistema de reprocesamiento de plásticos, con el cual se busca apoyar, mediante prácticas, el proceso formativo de los estudiantes del programa de Ingeniería Industrial de la institución; haciendo de esta forma que el tamaño de la máquina se convierta en una variable determinante, ya que debe ajustarse al espacio físico del LAB3i, teniendo en cuenta las conexiones eléctricas (lugar de enchufes y diferencial de potencial soportado), además de los equipos ya instalados, para no impedir, ni dificultar, el flujo ni las actividades que normalmente se realizan en él.

La viabilidad de este proyecto se fundamenta en la inversión necesaria para la construcción de la máquina; ya que por el esfuerzo mecánico que deben soportar algunos de sus componentes, hacen que el estado y la calidad de las mismas se

conviertan en variables determinantes; por tanto, se debe tener cuidado con la cotización de estos y realizarla con proveedores certificados.

### **3.3 RESULTADOS Y PRODUCTO DEL PROYECTO**

Diseño de la maquina trituradora con sus respectivos planos, siguiendo los requerimientos planteados por Unicatónica, para que se integre al sistema de reprocesamiento de plásticos y pueda ser utilizada como herramienta de apoyo en las asignaturas de producción que se imparten a lo largo de la formación de los ingenieros industriales de la institución.

Análisis de costos para su posterior fabricación, identificando la disponibilidad de los componentes de la máquina a nivel local - nacional y en caso de ser necesaria su importación, determinar todos los costos asociados de cada uno de estos para que se pueda construir y funcione correctamente.

### **3.4 IMPACTO AMBIENTAL**

Una vez construida la máquina, se podrá disminuir la cantidad de desechos generados por este material al interior de Unicatónica; reduciendo el volumen de estos, que terminan en zonas verdes, alcantarillado y cauce del río Pance que pasa cerca de la institución.

### **3.5 IMPACTO SOCIAL**

A través de este proyecto se busca concientizar a la comunidad académica con buenas prácticas en procesos de reciclaje y reutilización del plástico con el fin de mitigar su daño en el medio ambiente, además de hacerles partícipes en el camino de tener una institución amigable con el medio ambiente.

## 4 ANTECEDENTES

### 4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE TRITURACIÓN PARA PET

Los estudiantes (Velas rojas, Rey Romero, & Jaimes Rada, 2018) construyeron un prototipo de trituración para PET, en la Universidad Cooperativa de Colombia con sede en Villavicencio, brindándole a los estudiantes de la institución un *“equipo para triturar el material PET que se recicla en la universidad y darle un valor agregado a través de la investigación y la construcción de nuevos materiales para la construcción”*. Este proyecto es planteado por los estudiantes como alternativa, en respuesta al nuevo uso que se está dando a los polímeros en el mercado de la construcción, a raíz de las investigaciones realizadas por *“algunos científicos de Indonesia y Estados Unidos para desarrollar materiales tan resistentes como el cemento, pero elaborados con PET, que, al ser añadidos en las mezclas tradicionales para el pavimento flexible y mampostería, los proveen de mayor resistencia”*. Los planos utilizados para la construcción de la máquina son los de libre acceso proporcionados por la página *preciousplastic.com* de (Dave Hakkens, 2016), los cuales, también, serán usados para este proyecto.

Durante la construcción de la máquina, los estudiantes realizaron cambios en los materiales y motores inicialmente planteados en la página (ver Figura 1), ellos cambiaron *“la configuración de la trituradora de sistema lineal a sistema en L, sin perjuicio de entorpecer el proceso de trituración”*.

Figura 1. Trituradora Finalizada.



Fuente: (Velas rojas, Rey Romero, & Jaimes Rada, 2018).

## 4.2 DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET

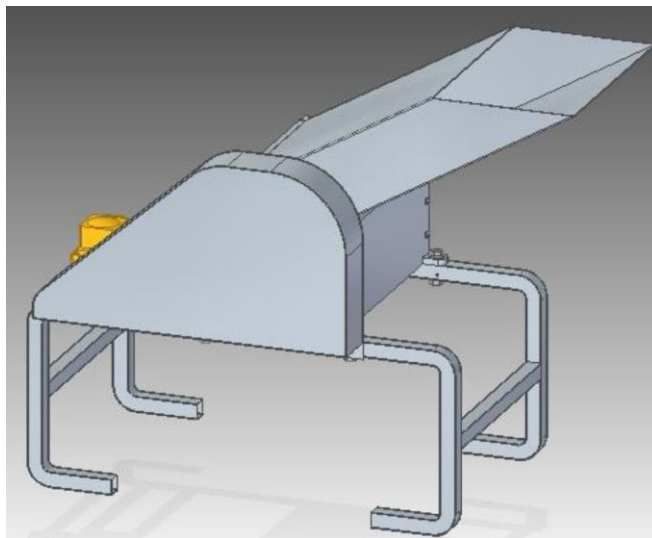
Los estudiantes y hermanos (Hoyos Mateus & Hoyos Mateus, 2016), de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas realizaron el Diseño de una Trituradora de PET que procesa 100 kg/día de este material (ver Figura 2), con el fin de ser utilizado por empresas o usuarios recicladores de plástico en Colombia para “triturarlo y llevarlo a un estado granulado pudiendo así almacenar mayores cantidades para luego comercializarlas y ser usado en la fabricación de alfombras, mesas, sillas entre otras aplicaciones”.

Los estudiantes utilizaron la matriz QFD con el fin de seleccionar el diseño idóneo que, cumpliera con las características de operabilidad óptimas garantizando durabilidad y un correcto proceso de trituración, el cual, entre sus características físicas fue “más pequeño, de menor capacidad, pero asequible a los recicladores”. El diseño de las partes de la máquina fue realizado de “*forma sencilla para que en*

*el momento de su mantenimiento sea fácil su desmontaje y en caso de dañarse alguna pieza, esta pueda ser fabricada por un taller local”.*

Los estudiantes recomiendan para la construcción de la trituradora, que sus materiales sean de “marcas reconocidas, que tengan presencia y respaldo en el país, todo esto con el fin de facilitar su mantenimiento. Los costos de mayor incidencia en su construcción son los de la cuchilla y el eje, representando el 57% del total”.

Figura 2. Trituradora de plástico PET para procesar 100 Kg al día.



Fuente: (Hoyos Mateus & Hoyos Mateus, 2016).

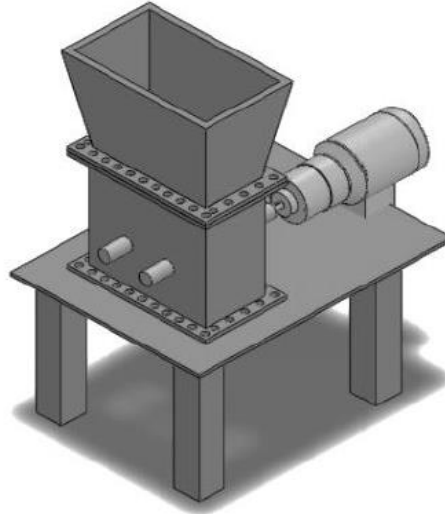
### **4.3 DISEÑO Y PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PET**

En el departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México; los estudiantes (García Villalba, Ponce Corra, Martínez López, & León Ordaz, 2014) realizaron el proyecto “*diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET*”, pudiendo ser usado con fines comerciales, domésticos y académicos para generar en los alumnos el hábito de reciclaje, gracias a lo compacto del diseño (ver Figura 3); ellos hicieron uso del programa SolidWorks para estimar el peso de los diferentes materiales usados en la máquina y, el estudio



de factibilidad financiera les arrojó una inversión del 35%, teniendo en cuenta el valor más bajo investigado, de las trituradoras disponibles en el mercado.

Figura 3. Trituradora completa.

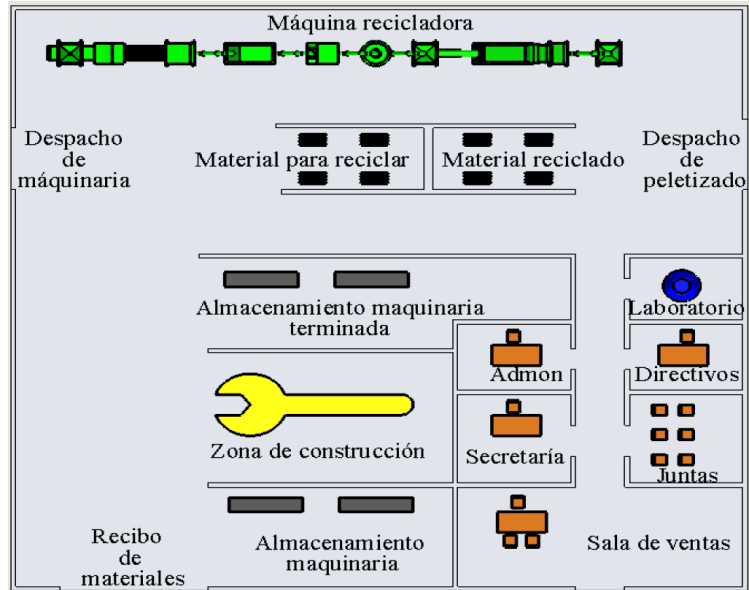


Fuente: (García Villalba, Ponce Corra, Martínez López, & León Ordaz, 2014).

#### **4.4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA RECICLADORA DE PLÁSTICOS**

Los estudiantes (Avalo Valencia & Giraldo Diaz, 2017) de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron el estudio de factibilidad para la creación de una empresa recicladora de plásticos: información necesaria para su constitución, diferentes máquinas que se deben de utilizar en cada proceso hasta convertir el plástico reciclado en Peles y luego ser comercializado, diseño de planta (ver figura 4), flujograma del proceso y por último la factibilidad del proyecto durante los tres primeros años de funcionamiento, arrojando un Valor Presente Neto de \$3.523.923.393 y una Tasa Interna de Retorno de 116.64% concluyendo de esta forma que el proyecto es totalmente viable al superar la Tasa Interna de Oportunidad del 18%.

Figura 4. Esquema de la planta.

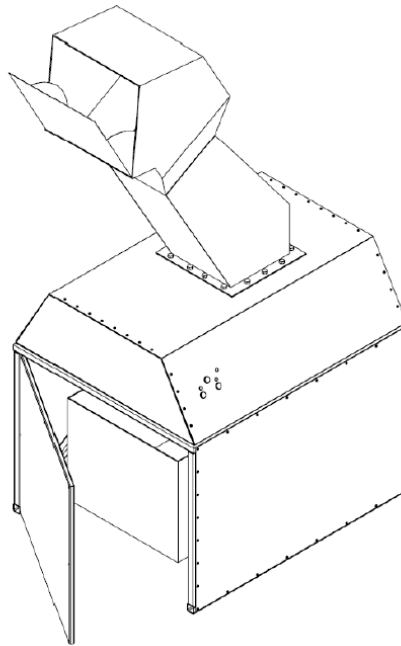


Fuente: (Avalo Valencia & Giraldo Diaz, 2017).

#### 4.5 DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR PARA POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS PARA LA EMPRESA INDUSTRIA RECUPLAST S.A.S.

En la Universidad Libre de Bogotá, el estudiante (Gaitán Hernández, 2017) del programa de ingeniería mecánica, realizó el diseño de un molino triturador de polímeros plásticos siguiendo los lineamientos de la metodología QFD para traducir las necesidades de Industria Recuplast S.A.S en el diseño final (ver figura 5); determinó los esfuerzos a los que estarán expuestos sus diferentes componentes, además usó diferentes teorías, entre ellas, el “*método ordinal corregido de criterios ponderados*”, logrando de esta forma elegir los componentes ideales, según las variables desglosadas luego del análisis del QFD y, obtener la mayor eficiencia en el proceso de trituración.

Figura 5. Ilustración y Vista del Modelo.

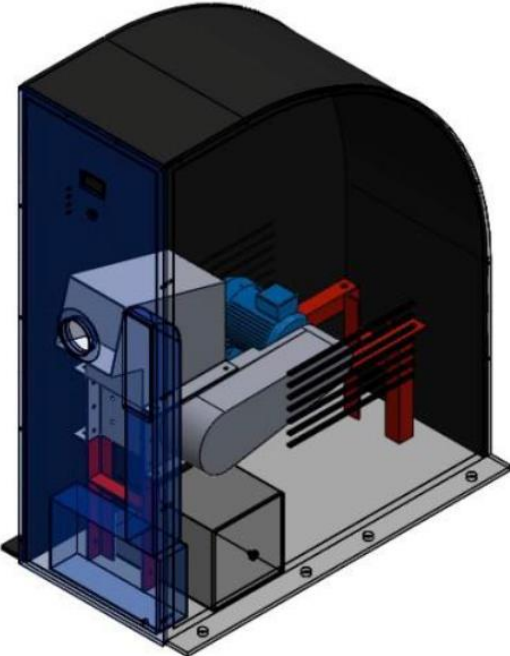


Fuente: (Gaitán Hernández, 2017).

#### **4.6 DESARROLLO MECATRÓNICO SUSTENTABLE: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PET**

Los Ingenieros e integrantes del departamento de mecatrónica de la Universidad Politécnica de Sinaloa (Espino, Núñez Nalda, Lizárraga Lizárraga, & Sapiens, 2016) realizaron el diseño de una trituradora, basándose en los esfuerzos a los que estará sometido el sistema de corte, encargado de realizar la molienda del PET (ver figura 6); la tensión ejercida sobre éste es *“producto de la resistencia de las botellas, haciendo que se presente un momento flexionante en dicho sistema durante el funcionamiento de la máquina”*. Al someter el sistema a diferentes condiciones a través de un programa de simulación, determinaron el sistema ideal de corte que satisficiera los requerimientos del diseño.

Figura 6. Vistas de la carcasa exterior y del interior de la trituradora.



Fuente: (Espino, Núñez Nalda, Lizárraga Lizárraga, & Sapiens, 2016).

## 5 MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO CONTEXTUAL

La Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, es una institución de educación superior que durante sus 20 años de historia se ha *“comprometido con los valores cristianos, formando personas de manera integral, al reafirmar su dignidad humana en la relación con Dios, consigo mismo, los demás y el medio ambiente”* (Unicatólica).

A través de sus diferentes grupos de investigación, se han realizado iniciativas que propenden por dignificar la relación de sus estudiantes con su ambiente interno y externo, logrando de esta forma, llevar a cabo proyectos que permitan mejorar el sentido de conciencia y pertenencia en estos.

El diseño de la trituradora se plantea como apoyo para las asignaturas de ingenieros de esta institución, pudiendo construirse y utilizarse en su sede de Pance, como herramienta de prácticas al integrarse en el sistema de reprocesamiento de plástico, con el fin de consolidar la teoría vista en el aula de clases, en un entorno real, pudiendo identificar de primera mano los factores que intervienen en la producción de un producto.

### 5.2 MARCO TEÓRICO

Según (IngeOexpert, 2018) el termino Ecosistemas ha tenido diferentes definiciones a lo largo de la historia, buscando siempre que ésta agrupara los diferentes organismos y hábitats que componen la Tierra, solo hasta 1935 el botánico y ecólogo Arthur George Tansley y su compañero Roy Clapham dieron la definición que se utiliza como base para la definición actual: *“un ecosistema es el conjunto de organismos de una comunidad y su entorno, en él se pueden distinguir diferentes tipos de seres vivos que lo componen, estos son los productores primarios, los consumidores y los descomponedores”* (IngeOexpert, 2018).

Las relaciones que estos organismos tienen en su medio, *“resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema, mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis”* (Biodiversidad, 2019). En éste se logran diferenciar diferentes tipos, atendiendo a su naturaleza, estos son: Ecosistemas aéreos, acuáticos (marino y de agua dulce) y terrestres (forestal, desértico, montañoso), además, del ecosistema artificial en *“el que el hombre ha intervenido en su formación”* (Romero Real, 2017) creando espacios muy diferentes de cómo eran hace milenios como *“edificios, rascacielos y grandes extensiones que están cubiertas por luces, cemento y pavimento, obligando a las especies a adaptarse a estos nuevos entornos”* (Torres).

El hombre, haciendo uso de los recursos que le ofrece el ecosistema natural, con ayuda de la ciencia, tecnología e innovación ha desarrollado diferentes herramientas y productos con el fin de satisfacer sus necesidades diarias. En algunas situaciones, por azar, buscando crear un producto que respondiese a una necesidad en particular, crea uno que termina siendo efectivo para una en la cual no se hubo pensado; situación del celuloide, inventado por el americano John Wesley Hyatt, *“un polímero basado en la celulosa, este hecho marcó el inicio de la industria de polímeros en 1887 el cual buscaba sustituir al marfil en la creación de bolas de billar”* (Agosto Aceves, Ramírez Álvarez, Andrade Ramírez, & Bernáldez Hernández, 2018).

Pero no fue hasta 1909, cuando el inventor Leo Baekeland obtuvo mediante una serie de experimentaciones *“la baquelita”*, el primer polímero verdaderamente sintético, duro e inmune a varias sustancias químicas fuertes, aislante eléctrico, pudiendo ser utilizado en innumerables productos para el hogar, piezas eléctricas, máquinas y herramientas (Agosto Aceves, Ramírez Álvarez, Andrade Ramírez, & Bernáldez Hernández, 2018).

Según (Hermida, Polímeros, 2011) *“Los polímeros son moléculas de gran tamaño, constituidas por eslabones orgánicos denominados monómeros (moléculas*

individuales), unidos por enlaces covalentes; estos eslabones están formados fundamentalmente por átomos de carbono”. Los cuales se clasifican según su origen (ver tabla 2) en “naturales: provienen de la naturaleza; semisintéticos: se obtienen al transformar polímeros naturales mediante procesos químicos y, artificiales: son obtenidos industrialmente por acción del hombre” (Enciclopedia de Ejemplos, 2019).

Tabla 2. Ejemplos de polímeros según su origen.

<b>Clasificación de polímeros según su origen</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Polímero natural</b>	Seda, Madera, Almidón, Caucho, Quitina, Celulosa, Algodón, Lana y Ácidos nucleicos.
<b>Polímero artificial</b>	Acrilato de butilo, Poliéster, Polisulfonas, Poliacrilonitrilo, Polietilentereftalato, Poliurea, Polianhidrido, Polióxido de etileno, Poliuretano termoplástico, Policarbonato, Polisiloxanos, Siliconas, Policicloctano, Tereftalato de Polibutileno, teflón, Policloruro de Vinilo, Rayón y Poliestireno.
<b>Polímero semisintético</b>	Nitrocelulosa, Etonita y Caucho vulcanizado.

Fuente: (Enciclopedia de Ejemplos, 2019).

Los polímeros artificiales, según su comportamiento al ser calentados se dividen en termoplásticos y termoestables. *Los primeros al elevarse su temperatura, la naturaleza de sus enlaces no se modifica radicalmente, motivo por el cual pueden ser conformados a altas temperaturas, enfriados y después recalentados o reconformados sin afectar el comportamiento de este* (Hermida, Polímeros, 2011), algunos ejemplos de estos se muestran en la figura 7; los segundos, por el contrario

no pueden ser “reprocesados después de que han sido conformados” (Hermida, Polímeros, 2011).

Figura 7. Polímeros termoplásticos más usados por las personas en su día a día: Tereftalato de Polietileno (PET) y Polietileno de alta densidad (HDPE).









Fuente: (BMIMachines).

Según (Valle Alvarado & Vértiz Ramírez, 2013) los polímeros termoplásticos se encuentran presentes en muchos de los artículos que las personas utilizan diariamente sin siquiera lograr identificar cada uno de estos. Las propiedades mecánicas y bajos costos para producirlos, los han convertido en el material idóneo para empresas de alimentos, cocina, cosmética, video fílmicas, entre otras, para realizar y proteger sus productos de agentes externos, manteniéndolos en óptimas condiciones. En la Tabla 3, se muestran algunos de los polímeros más representativos con sus aplicaciones más prácticas. Las empresas han inundado el mercado con estos productos, al disminuir los costos de producción y ofertar un producto más económico a un cliente cada vez más demandante de bienes de alta calidad y bajo precio.



Tabla 3. Características y aplicaciones más comunes de los termoplásticos.

Termoplástico	Símbolo	Características	Aplicaciones
<b>Polietileno Tereftalato (PET)</b>		Es claro, lavable y no absorbe la humedad, es resistente a la grasa y al calor.	botellas de plásticas para bebidas, envases muy transparentes y delgados, recipientes de aderezo, entre otros
<b>Polietileno de alta densidad (HDPE)</b>		Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto, resistente a bajas temperaturas, además de impermeable e inerte al contenido.	envases para detergentes, aceites, shampoo, lácteos, blanqueadores, juguetes, etc.
<b>Cloruro de polivinílico (PVC)</b>		Posee alta resistencia química y a la humedad, buenas propiedades eléctricas, fuerza y dureza, resistencia a grasa y aceites.	tuberías, válvulas, aislamiento de cables, loseta de piso, techos de vinil para automóviles, etc.
<b>Polietileno de Baja densidad (LDPE)</b>		Es flexible, liviano, impermeable e inerte al contenido, buen aislante eléctrico y resistencia química, baja resistencia a altas temperaturas.	papel celofán, bolsas para supermercados, bolsas para alimentos congelados y para dulces, tapas, etc. (Ávila Sanabria, 2017)

<p><b>Polipropileno (PP)</b></p>		<p>Tiene alta resistencia a la tensión, compresión, resistencia térmica y química; inodoro y ligero, resistencia contra diversos solventes químicos.</p>	<p>empaques para alimentos, fibras, componentes automotrices, ropa deportiva, carpas, pajitas de plástico, etc. (Ávila Sanabria, 2017)</p>
<p><b>Poliestireno (PS)</b></p>		<p>Es resistente al impacto y al calor, ligero e impermeable.</p>	<p>tazas, platos, juguetes, componentes de aparatos, aislamiento térmico, etc.</p>

Fuente: (Valle Alvarado & Vértiz Ramírez, 2013).

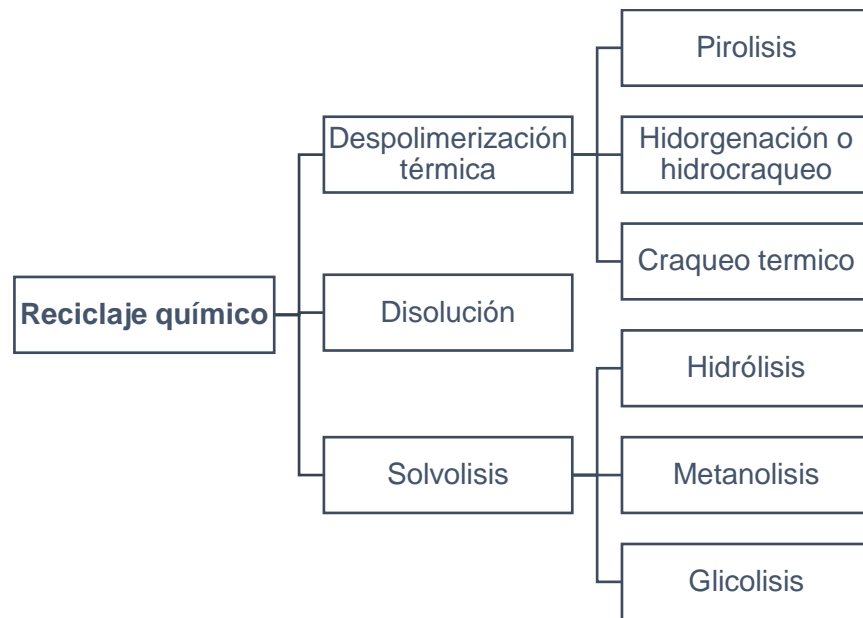
A pesar de la multiplicidad de aplicaciones que tienen y los beneficios que aportan en la vida del ser humano, las modificaciones que le han realizado, mejorando sus propiedades y aumentando su resistencia. Para los ecosistemas naturales es difícil degradarlos, a tal punto que han provocado que, durante su tiempo de degradación que está por encima de los 450 años aproximadamente, imposibiliten y perjudiquen la supervivencia de las especies animales que se encuentran en estos ecosistemas.

Cabe resaltar que estos termoplásticos que son los de mayor uso por las industrias, entre una de las características que poseen es su reutilización, es decir, pueden ser reciclados mediante ciertos métodos, con el fin de devolverlos a la cadena de valor y no terminen siendo desechados por quienes los utilizan, en lugares donde afecten el libre desarrollo de las especies animales. Según (Precious Plastic, 2017) Los más recomendados para su reutilización son HDPE, PET, LDPE y PP.

Actualmente existen dos procesos de reciclaje, según el tipo de plásticos que se necesite tratar, estos son, reciclaje químico y reciclaje mecánico; el reciclaje químico, degrada con ayuda de calor o catalizadores el termoplástico, hasta el punto de romper sus enlaces y queden solamente sus monómeros, a partir de estos se

pueden hacer nuevos plásticos de la misma calidad que los originales (ECOticias, 2010); este proceso de reciclaje se clasifica en despolimerización térmica, disolución y solvolisis, los cuales se dividen en diferentes procesos para cumplir su finalidad como se muestra en la Figura 8.

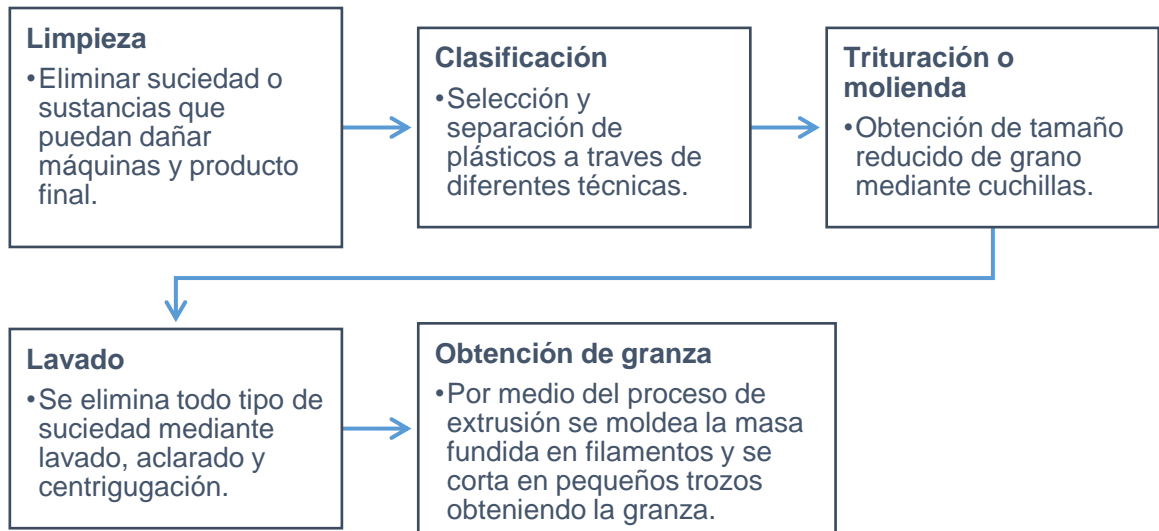
Figura 8. Procesos en los que se clasifica el reciclaje químico.



Fuente: (Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento).

El reciclaje mecánico “*consiste en cortar las piezas de plástico en pequeños granos para posteriormente tratarlos*” (ECOticias, 2010). Según (Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento), para realizar este tipo de reciclaje, los plásticos no deben de estar muy degradados, se debe realizar una separación de estos por tipos y deben estar limpios de materiales y partículas extrañas que puedan dañar los equipos utilizados en el proceso e interfieran con las características físicas del producto. En la Figura 9 se observan las etapas de este tipo de reciclaje.

Figura 9. Etapas del reciclaje mecánico.



Fuente: (Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento).

En la Tabla 4, se observan las ventajas y desventajas de estos dos tipos de reciclaje, evidenciando que el reciclaje químico es el ideal para recuperar los residuos y utilizarlos nuevamente para envasar y contener alimentos, pero debido a sus altos costos de inversión es poco utilizado. Por su parte, el reciclaje mecánico es el de mayor demanda gracias a la versatilidad y bajo costo de inversión, siendo usado por diferentes empresas para recuperar los residuos plásticos, a pesar de no poderse utilizar en plásticos multi-material.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del Reciclaje químico y mecánico.

<b>Tipo de reciclaje</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Reciclaje Químico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convierte a los plásticos en sus componentes originales.</li> <li>- Los químicos utilizados pueden repolimizarse en resinas de la misma calidad de la materia prima virgen.</li> <li>- Permite recuperar cualquier tipo de material plástico y convertirlo en MP de primera calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de inversión, siendo pensada para empresas que operen a gran escala.</li> <li>- Legislación insuficiente para llevar a cabo los diferentes procesos en que se divide.</li> </ul>
<b>Reciclaje Mecánico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere de grandes inversiones en maquinaria para su funcionamiento.</li> <li>- Versatilidad en su aplicabilidad, pudiendo realizarse en cualquier lugar, incluso desde casa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El material pierde propiedades en cada ciclo térmico al que se somete.</li> <li>- Se deben usar aditivos que restauren las uniones entre moléculas, ya que estas se segmentan cada vez que se cortan, y se fragmentan por cada ciclo de calentamiento.</li> <li>- Hay residuos que no se pueden recuperar con su tecnología, ejemplo: plásticos multi-material, es decir, están mezclados con todo tipo de sustancias.</li> </ul>

Fuente: (Tecnología del plástico, 2019).

En el reciclado mecánico, la trituración es el proceso mediante el cual se reduce el tamaño de grandes piezas de plástico, pudiendo ser almacenadas con mayor facilidad y, utilizadas mediante métodos de formación como inyección, extrusión, moldeo y compresión para la creación de nuevos productos plásticos (Recytrans,

2015). Una trituradora se divide en tres partes fundamentales para su funcionamiento:

- La primera de ellas es la boca de entrada o tolva de alimentación (ver Figura 10) ésta permite que las diferentes piezas de plástico sean introducidas en la máquina, además de evitar que el plástico salga proyectado hacia el exterior cuando la máquina esté en funcionamiento.

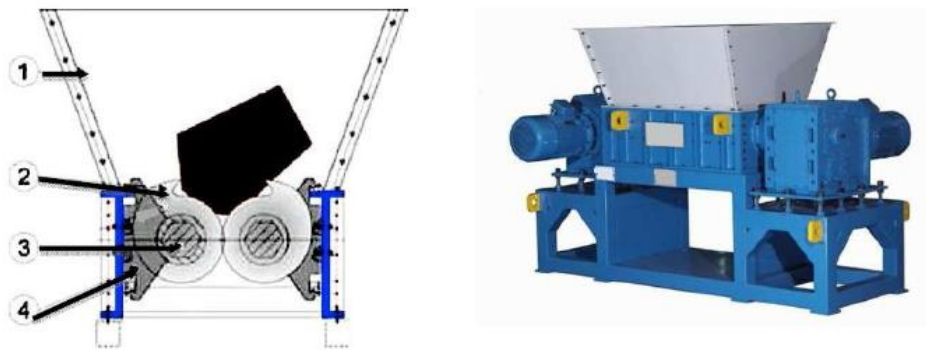
Figura 10. Tolva de alimentación para pellets.



Fuente: (Novatec).

- Luego está el rotor que está conectado al motor, este incorpora cuchillas (ver Figura 11), las cuales debido a su filo y, la potencia y velocidad de giro que le imprime el motor, logran triturar las botellas de plástico y convertirlas en gránulos.

Figura 11. Rotor, motor y tolva de una trituradora de plásticos.



Fuente: (tecnocabo, 2016).

- Por último, un tamiz o rejilla (ver Figura 12), que permite la filtración de los gránulos hacia el exterior, del tamaño de sus orificios, dependen las dimensiones que tendrán los gránulos, haciendo que el plástico se mantenga en esta zona hasta que las cuchillas lo trituren al tamaño esperado; posteriormente estos salen de la máquina para ser almacenado.

Figura 12. Criba para molino Cumberland.



Fuente: (Janfrex, 2018).

Mediante la trituración se pueden compactar grandes volúmenes de residuos en pequeños espacios, al reducir el tamaño de estos en mínimos gránulos y almacenarlos en costales o Big bags, se realiza un mayor aprovechamiento del espacio cubico del lugar de almacenamiento, razón por la cual esta etapa del reciclado mecánico se convierte en el principal mecanismo para reducir y aprovechar estos tipos de residuos, además de poder obtener beneficios

económicos al comercializarlo con entidades que utilicen estos materiales como MP en la manufactura de sus productos. Según (Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento), los gránulos de plástico reciclado se utilizan en la fabricación de madera plástica para el mobiliario urbano en banquetas, sillas, parques infantiles, vallas, entre otros; tuberías, cajas, accesorios de oficina, cubos de basura; construcción de obras públicas urbanas en losas para aceras, losas para parques y jardines, pavimento de colegios y edificios públicos; al combinarlo con resinas reforzadas con fibra de vidrio se utilizan en la fabricación de toboganes

### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

- Plástico: material de origen orgánico, se obtiene de derivados del petróleo y del gas natural, se caracteriza por su propiedad maleable, permitiéndole adoptar diversidad de formas. Está compuesto por largas cadenas de moléculas de gran tamaño denominadas polímeros (Significados).

Figura 13. Material plástico.



Fuente: (Significados).

- Reciclaje: Consiste en obtener una materia o producto, mediante un proceso fisicoquímico o mecánico, a partir de productos y materiales que ya no se encuentran en uso. Permitiendo incrementar el tiempo de vida de un producto, ahorrando materiales y generando menos residuos (Inforeciclaje).



Figura 14. Proceso de reciclaje.



Fuente: (Freepik Company S.L.).

- Lavado: proceso mediante el cual, con ayuda de productos químicos y agua, se le quitan las impurezas y suciedad al plástico ya triturado. Los métodos más utilizados son de fricción, centrifugación y ciclón (Tecnología de los plásticos, 2011).

Figura 15. Línea de lavado completo en frío para PET.



Fuente: (Rmachines S.A. de CV, 2014).

- Granceado: proceso mediante el cual, el plástico triturado y lavado, pasa por la extrusora, saliendo de ella en forma de hilo, siendo cortados en pequeños granos llamados granza (La red: reciclados plásticos).

Figura 16. Granceado plástico.



Fuente: (Martín, 2017).

- Práctica de laboratorio: Tipo de clase, que tiene como objetivos instructivos fundamentales, que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos de investigación científica, amplíen, profundicen, realicen y comprueben los fundamentos teóricos de la asignatura mediante la experimentación (Cañedo Iglesias & Cáceres Mesa).

#### **5.4 MARCO LEGAL**

A continuación, se menciona la reglamentación para el uso y disposición de los residuos de plástico y la educación ambiental que deriva de ello.

- Resolución 1407 de 2018: Mediante la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal.
- Ley 1549 de 2012: Mediante la cual se fortalece la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su incorporación efectiva en el desarrollo territorial.

Con el fin de llevar a cabo el diseño de la trituradora y disposición del material que se utilizara en ella, se debió seguir la siguiente normatividad que rige en Colombia e internacionalmente:

- NTC 1594: Dibujo técnico. Terminología.
- NTC 1580: Dibujo técnico. Escalas.

- NTC 1687: Dibujo técnico. Formato y plegado.
- NTC 1777: Dibujo técnico. Principios generales de representación.
- NTC 1914: Dibujo técnico. Rotulado.
- NTC 2530: Dibujo Técnico. Dibujo de construcción. Representación de dimensiones, líneas y cuadrículas.
- NTC 5765: En esta norma se proporcionan los requisitos de seguridad y orientaciones sobre los principios para el diseño e integración de las partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad SRP/CS (partes del sistema de mando relativas a la seguridad).
- NTC 2506: En esta norma se identifica y describen métodos de protección aplicables a secciones que presentan riesgo en maquinaria, indicando los criterios que se deben tener en cuenta para el diseño, construcción y aplicación de tales medios.
- NTC 4595: Mediante la cual se establecen los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares, acoge en materia de arquitectura y medio ambiente construido, los temas de accesibilidad, seguridad y comodidad, desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental.
- UNE-EN ISO 14159: Esta norma internacional especifica los requisitos de higiene de las máquinas y proporciona información para el uso previsto que debe ser indicado por el fabricante.
- ISO 12100 de 2010: Guía para el diseño de máquinas seguras, establece principios de evaluación de la seguridad del diseño de maquinaria y reducción de riesgos.

## 6 METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología del prototipo evolutivo, la cual consiste en realizar un diseño con base a unos requerimientos, éste se evalúa y corrige hasta que el diseño final responde a los requerimientos planteados; de esta forma, se logró explorar las alternativas de diseño idóneas para la trituradora de plásticos, que se integren correctamente a los elementos de lugar donde se proyecta su instalación, permitiendo apoyar la formación de los estudiantes del programa de Ingeniería Industrial.

Las fases y actividades se dividieron de la siguiente forma:

- i. Requerimientos de lugar.
  - a. Elegir lugar donde será instalada la trituradora.
  - b. Cuantificar distribución de equipos y actividades que se realizan dentro de dicho lugar.
  - c. Medir disponibilidad de espacio, energía y ventilación de dicho lugar.
- ii. Diseño.
  - a. Identificar software de diseño asistido por computador para utilizar en el proyecto.
  - b. Elaborar diseño de maquina con base en los requerimientos y elementos mencionados anteriormente con apoyo de software CAD.
- iii. Análisis de posicionamiento.
  - a. Identificar el lugar donde se debe instalar la máquina teniendo en cuenta los requerimientos del lugar seleccionado.
- iv. Análisis de costos.

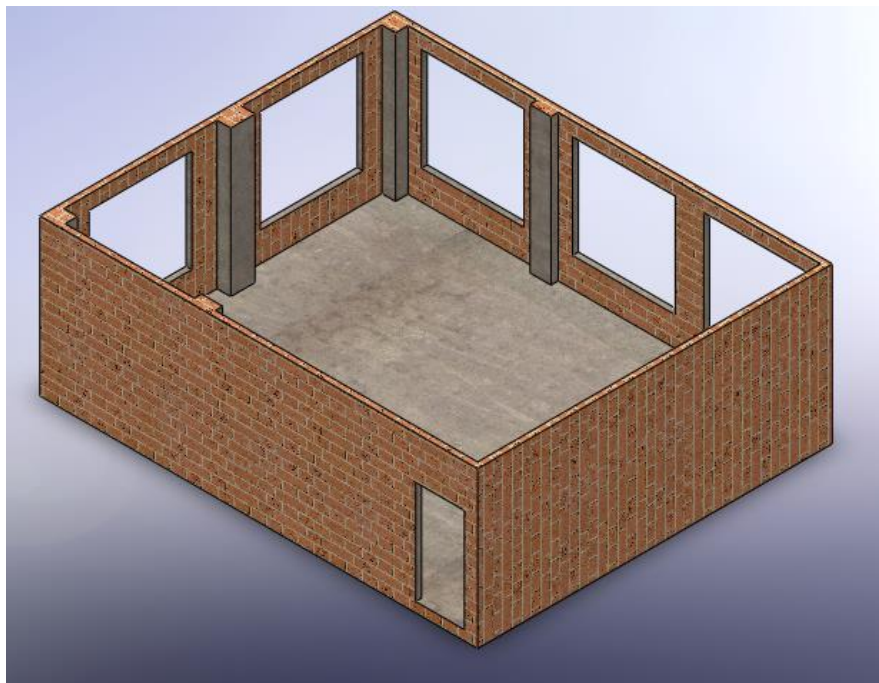
- a. Investigar disponibilidad y precios de los materiales en el mercado local.
- b. Tabular cada uno de los costos necesarios para la construcción de la máquina.

## 7 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1 CONSIDERACIONES Y REQUERIMIENTOS DE LUGAR

El laboratorio de ingeniería industrial “LAB3i” (Ver Figura 17) está ubicado en la sede Pance de Unicatólica; éste espacio es utilizado para realizar diferentes tipos de prácticas y presentaciones por los colaboradores de la universidad; hace pocos años fue equipado con piezas Legos, Fisher Technics y Legos Mindstorms, permitiéndole a sus colaboradores realizar simulaciones operacionales en un entorno de producción, para que los estudiantes puedan evidenciar ciertas complejidades que se presentan en el proceso de transformación de una materia prima, variables que intervienen durante el proceso, con el fin de establecer estrategias de optimización y lograr mejorarlo.

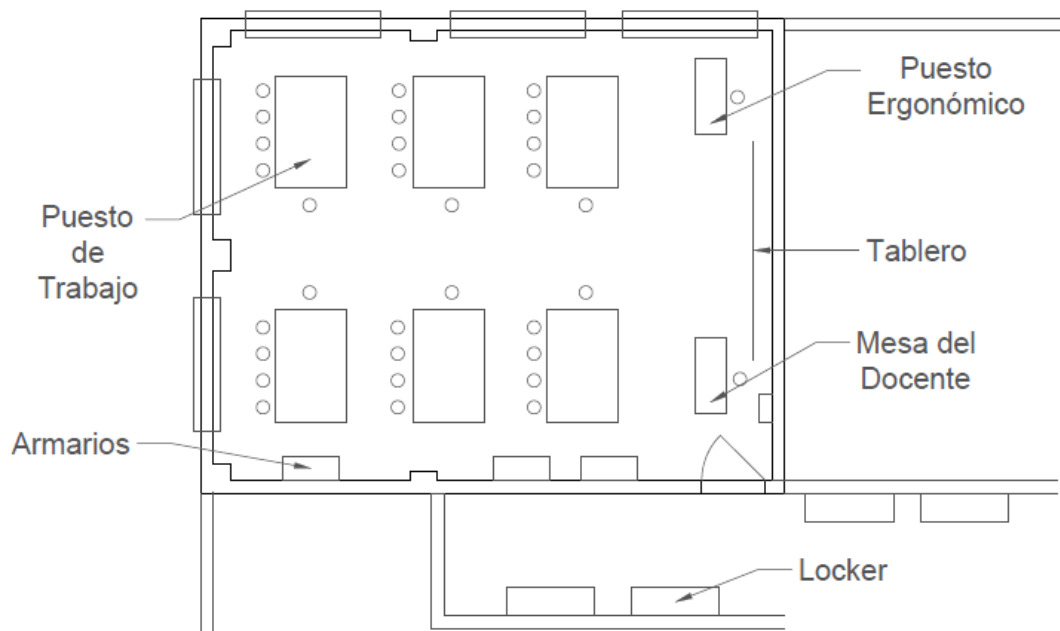
Figura 17. Vista Isométrica del LAB3i.



Fuente: Autor.

Actualmente, la distribución del espacio responde a la Figura 18, está equipado con 6 mesas de trabajo para que los estudiantes realicen ejercicios de simulación con las piezas ya mencionadas, 30 asientos para ellos; tres armarios para almacenar los diferentes componentes y elementos que serán utilizados por colaboradores y estudiantes durante la clase; tablero; video Beam; puesto ergonómico y mesa para el colaborador con sus respectivas sillas; por fuera del salón se instalaron los Lockers para que los estudiantes guarden sus pertenencias.

Figura 18. Distribución del LAB3i.

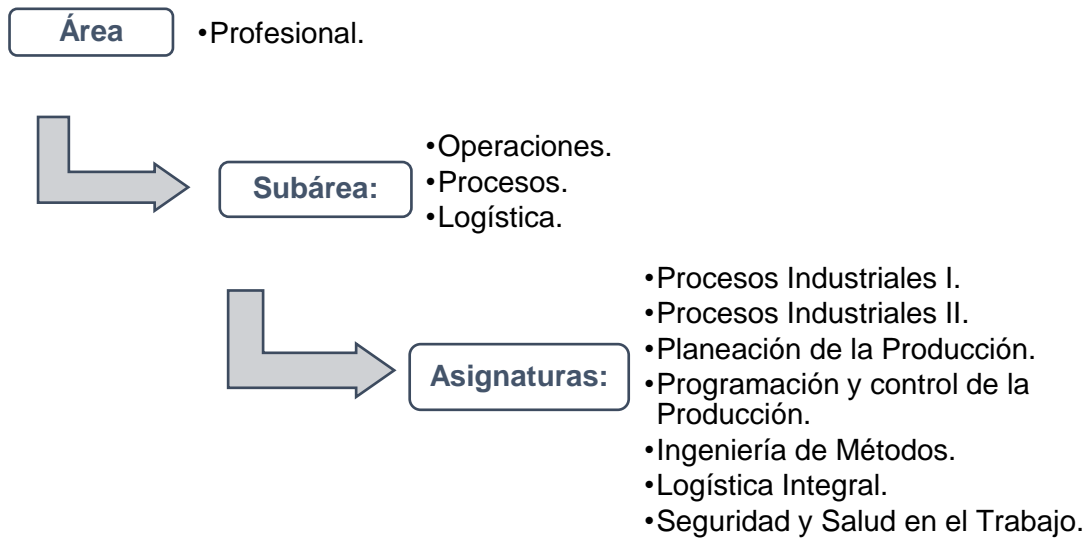


Fuente: Edwin López Arango.

UNICATÓLICA, anteriormente creó un convenio con la Universidad de Ibagué para formar profesionales de diferentes ramas de la ingeniería y administrativas. El programa de ingeniería industrial estuvo cobijado bajo este convenio hasta hace pocos años que se finalizó formalmente. UNICATÓLICA, actualmente oferta el programa de Ingeniería Industrial con un programa curricular propio y como era previsto, tuvo diferentes modificaciones en busca de dignificar la relación de sus estudiantes con Dios y su entorno sociocultural, sin dejar de lado las asignaturas que son primordiales para formar un profesional útil para la sociedad. Por

consiguiente, las asignaturas del programa de Ingeniería Industrial de UNICATÓLICA, enfocadas en el área de producción para las que el proyecto brinda apoyo, se visualizan en la Figura 19.

Figura 19. Asignaturas enfocadas en producción.



Fuente: (Unicatólica).

A través de la máquina trituradora de PET, los colaboradores podrán realizar ejercicios prácticos haciendo uso de su proceso de molienda, durante sus clases en el LAB3i, para las asignaturas de la Figura 19. En la Tabla 5 se visualizan los requerimientos de la trituradora y el laboratorio, sin los cuales no se pudo realizar el diseño de la misma.



Tabla 5. Requerimientos para el diseño de la máquina trituradora.

<b>Requerimientos de la máquina trituradora</b>	
<b>Tipos de requerimientos</b>	<b>Características</b>
<b>Sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina trituradora de PET que apoye las asignaturas de producción mediante la molienda del material.</li> </ul>
<b>Funcionales del producto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La máquina puede moler plásticos de tipo PET, HDPE, LDPE y PP con una capacidad de 10 Kg/h.</li> </ul>
<b>No funcionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El área del LAB3i es de 61.76 m<sup>2</sup>.</li> <li>• La máquina debe ocupar un área no mayor a 0,5 m<sup>2</sup>.</li> <li>• Los tomacorrientes del LAB3i son de 110V.</li> <li>• La máquina debe estar ubicada cerca de fuentes de ventilación.</li> <li>• La máquina genera ruido.</li> </ul>

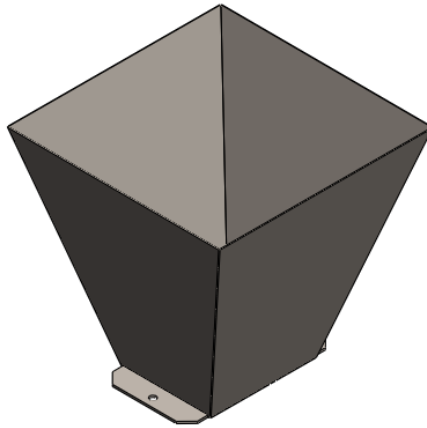
Fuente: Autor.

## **7.2 MÁQUINA TRITURADORA**

Cómo ya se mencionó, para la máquina trituradora se hizo uso de los diseños propuestos por (Dave Hakkens, 2016) en su página; con el fin de adaptarlo a los requerimientos y el espacio del LAB3i, se cambió la configuración inicial de la caja de electrónicos, motor y reductor, para esto fue necesario cortar y ensamblar nuevamente la trituradora haciendo uso del software asistido por computador “SolidWorks”.

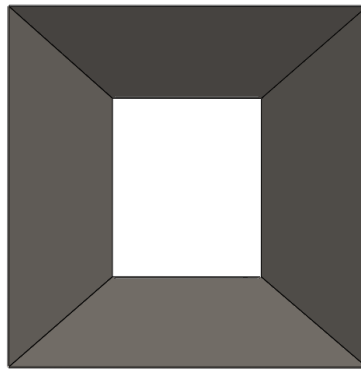
Entre los componentes esenciales para el diseño de la trituradora, primero está la tolva de alimentación (ver Figura 20, 21 y 22) en ella se deposita el material plástico para que ingrese en la caja de cuchillas; su estructura permite que el material permanezca dentro de la máquina y no se devuelva ni se esparza por fuera de la misma.

Figura 20. Vista isométrica de tolva.



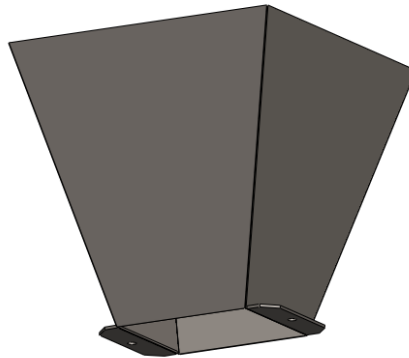
Fuente: Autor.

Figura 21. Vista superior de tolva.



Fuente: Autor.

Figura 22. Vista isométrica inferior de tolva.



Fuente: Autor.

En la Figura 23, se observan las propiedades de materia, así como los ejes y momentos principales de inercia de la tolva, teniendo en cuenta que el material de composición es el acero AISI 1020 laminado en frío por su facilidad de mecanizado; la masa aproximada de la tolva de alimentación es de 2,2Kg con un peso de 21.56N.

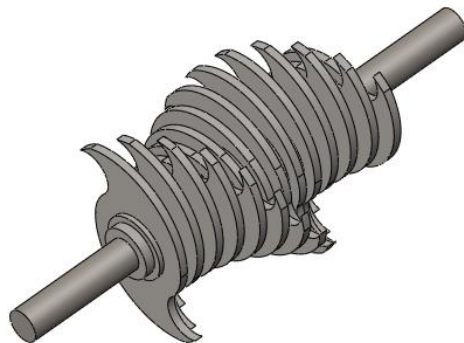
Figura 23. Propiedades de materia de la tolva. Simulación en SolidWorks.

<b>Propiedades de masa de Tolva</b>		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 2.20 kilogramos		
Volumen = 279.82 centímetros cúbicos		
Área de superficie = 5392.37 centímetros cuadrados		
Centro de masa: ( centímetros )		
X = -29.66		
Y = -4.60		
Z = 2.56		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = ( 0.00, 0.00, 1.00) Px = 352.72		
Iy = ( 1.00, 0.00, 0.00) Py = 374.79		
Iz = ( 0.00, 1.00, 0.00) Pz = 384.92		
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 374.79	Lxy = -0.03	Lxz = -0.01
Lyx = -0.03	Ly y = 384.92	Lyz = 0.05
Lzx = -0.01	Lzy = 0.05	Lzz = 352.72
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 435.87	lxy = 300.72	lxz = -167.08
lyx = 300.72	lyy = 2337.20	lyz = -25.88
lzx = -167.08	lzy = -25.88	lzz = 2337.27

Fuente: Autor.

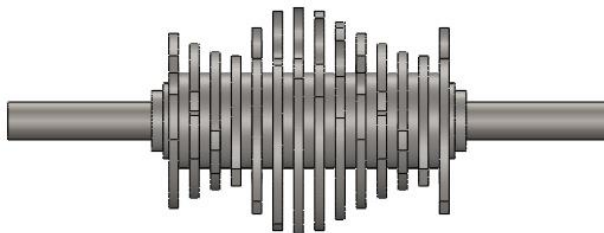
Esta máquina tiene un solo eje de trituración, el cual lo componen 14 cuchillas y separadores elaborados en acero inoxidable AISI 304 por su buena resistencia a la corrosión (ver Figura 24 y 25); los separadores entre cuchillas permiten que estas no se choquen ni se dañen durante la molienda, su geometría permite la recirculación del plástico dentro de la caja, evitando que éste salte hacia las paredes. El eje de transmisión es fabricado en acero AISI 1020 y permite el acople con las cuchillas con una forma hexagonal (ver Figura 26 y 27), la potencia de alimentación es recibida mediante el tornillo sinfín corona de la caja reductora del motor, aproximadamente a 50 – 70 RPM.

Figura 24. Vista isométrica, eje de trituración.



Fuente: Autor.

Figura 25. Vista superior, eje de trituración.



Fuente: Autor.

Figura 26. Vista isométrica, eje de transmisión de potencia.



Fuente: Autor.

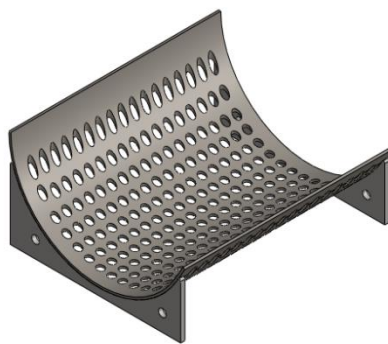
Figura 27. Vista superior, eje de transmisión de potencia.



Fuente: Autor.

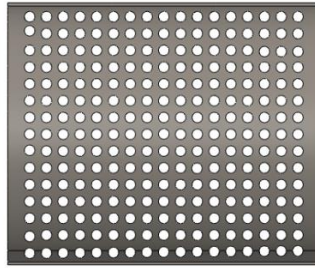
Para términos de clasificación, debajo del eje trituración se instaló un tamiz o criba en acero AISI 304 que permite solo la salida de gránulos de PET menores a 5 mm, haciendo que el material que no cumple con dicho tamaño sea triturado nuevamente hasta alcanzarlo, para seguidamente ser almacenado dentro de costales o el medio que mejor se disponga, su geometría se muestra en la Figura 28, 29 y 30.

Figura 28. Vista isométrica de criba.



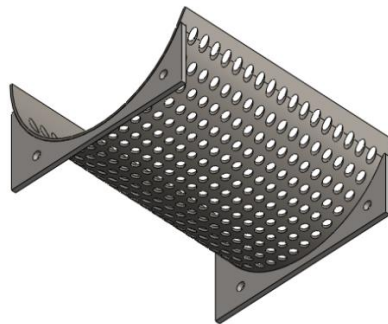
Fuente: Autor.

Figura 29. Vista superior de criba.



Fuente: Autor.

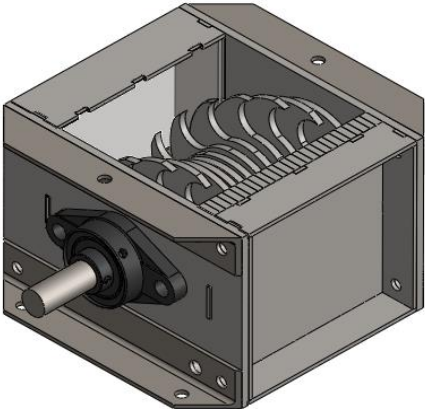
Figura 30. Vista isométrica inferior de criba.



Fuente: Autor.

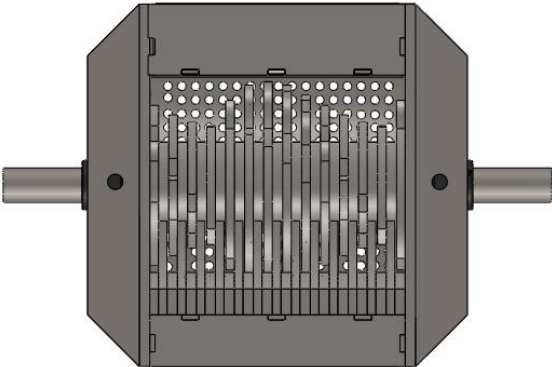
En la Figura 31, 32 y 33 se observa la caja que protege el eje de trituración y la criba, de la manipulación y contaminación exterior; está elaborada en acero AISI 304, su fabricación permite un fácil desmontaje cuando se necesite realizar el mantenimiento de los componentes. En la Figura 34 se observan las propiedades de materia de la caja con todos los componentes ya mencionados, su masa aproximada es de 14.1Kg con un peso de 138.18N.

Figura 31. Vista isométrica, caja de cuchillas y criba.



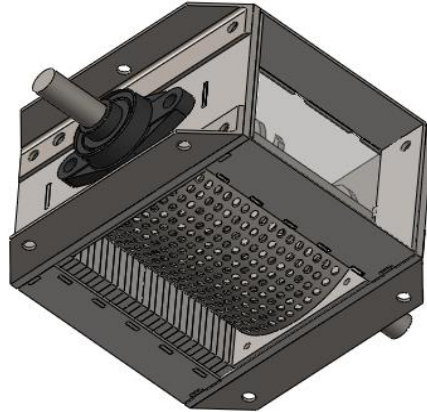
Fuente: Autor.

Figura 32. Vista superior caja de cuchillas y criba.



Fuente: Autor.

Figura 33. Vista isométrica desde abajo caja de cuchillas y criba.



Fuente: Autor.

Figura 34. Propiedades de materia de la caja de cuchillas y criba. Simulación en SolidWorks.

Propiedades de masa de Caja de cuchillas		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 14.10 kilogramos		
Volumen = 1777.95 centímetros cúbicos		
Área de superficie = 9275.87 centímetros cuadrados		
Centro de masa: ( centímetros )		
X = -17.67		
Y = -9.64		
Z = -3.27		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
lx = ( 0.00, 1.00, 0.00)	Px = 545.62	
ly = (-1.00, 0.00, -0.02)	Py = 728.84	
lz = (-0.02, 0.00, 1.00)	Pz = 919.30	
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 728.95	Lxy = -0.70	Lxz = 4.66
Lyx = -0.70	lyy = 545.62	Lyz = -0.20
Lzx = 4.66	Lzy = -0.20	Lzz = 919.18
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 2191.41	lxy = 2401.72	lxz = 820.24
lyx = 2401.72	lyy = 5098.10	lyz = 444.97
lzx = 820.24	lzy = 444.97	lzz = 6631.87

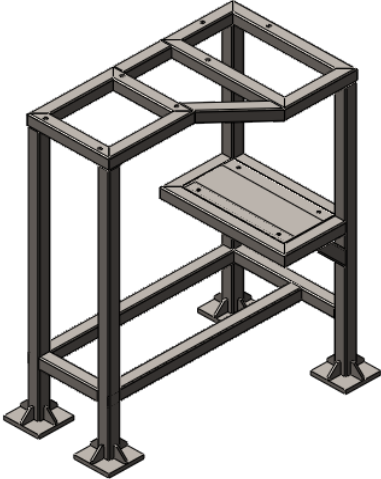
Fuente: Autor.

Los diferentes componentes incluyendo su motor y reductor están apoyados sobre una estructura formada por perfiles cuadrados de 30x30x3 mm, elaborados en acero AISI 1020 laminado en frío ya que ofrece alta resistencia mecánica y buena soldabilidad, su geometría se visualiza en la Figura 35, 36 y 37; las propiedades de



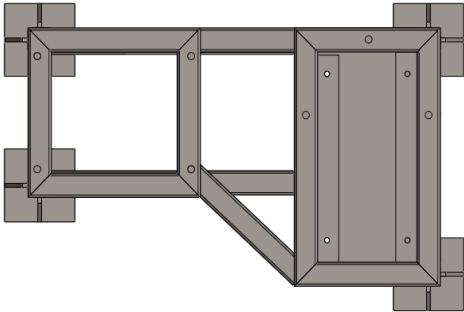
materia se observan en la Figura 38, tiene una masa de 21.78Kg con un peso de 213.44N.

Figura 35. Vista isométrica de estructura en perfil cuadrado.



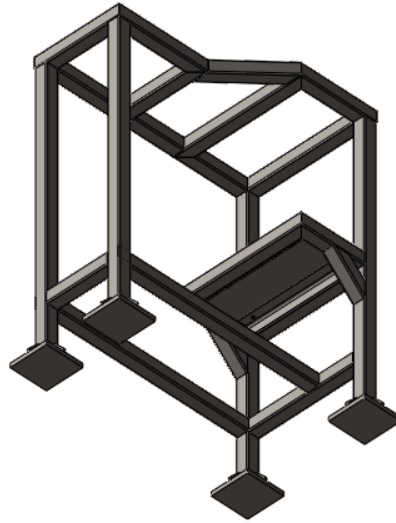
Fuente: Autor.

Figura 36. Vista superior estructura en perfil cuadrado.



Fuente: Autor.

Figura 37. Vista isométrica inferior de estructura en perfil cuadrado.



Fuente: Autor.

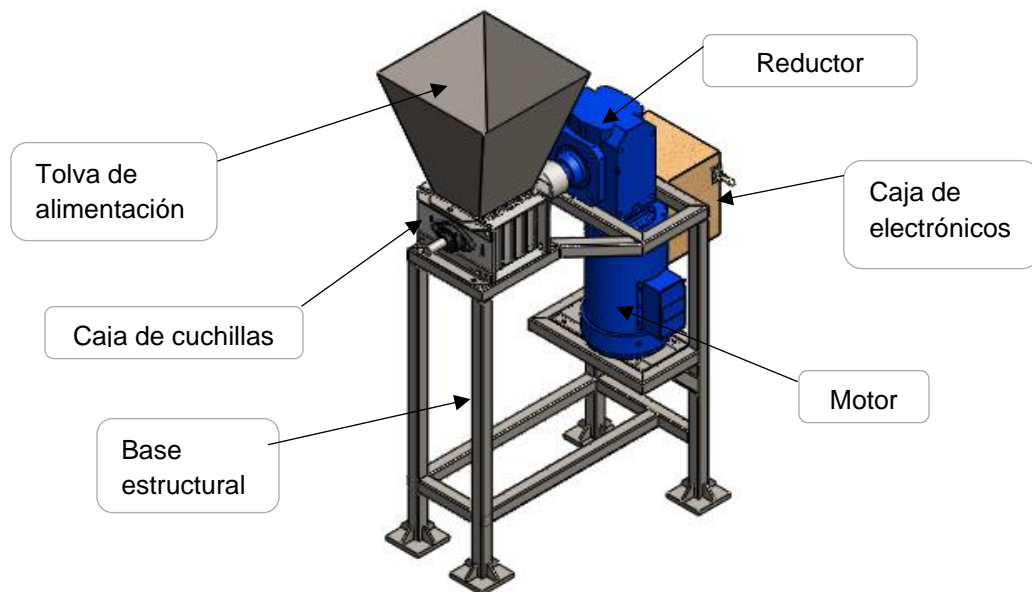
Figura 38. Propiedades de materia de estructura en perfil cuadrado. Simulación en SolidWorks.

<b>Propiedades de masa de EstructuraBase2</b>		
Configuración: Predeterminado<Como mecanizada>		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Densidad = 0.008 kilogramos por centímetro cúbico		
Masa = 21.783 kilogramos		
Volumen = 2767.807 centímetros cúbicos		
Área de superficie = 1727153.828 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = -191.879		
Y = -363.897		
Z = -30.787		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
lx = (-0.095, 0.995, -0.029)		Px = 1204518.990
ly = (-0.983, -0.098, -0.153)		Py = 1565095.256
lz = (-0.155, 0.014, 0.988)		Pz = 2265303.339
Momentos de inercia: ( kilogramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 1578631.404	Lxy = -32557.924	Lxz = 108102.752
Lyx = -32557.924	Lyy = 1208215.176	Lyz = -20145.282
Lzx = 108102.752	Lzy = -20145.282	Lzz = 2248071.004
Momentos de inercia: ( kilogramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 4483759.703	lxy = 1488401.734	lxz = 236782.487
lyx = 1488401.734	lyy = 2030849.532	lyz = 223894.269
lzx = 236782.487	lzy = 223894.269	lzz = 5934540.066

Fuente: Autor.

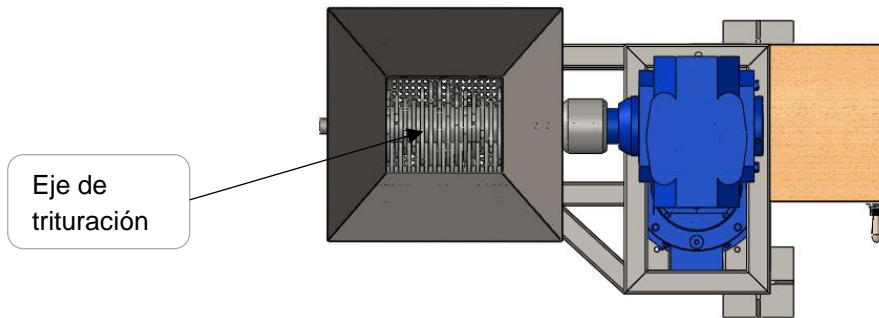
El ensamble final de la máquina trituradora con los componentes mencionados anteriormente, incluyendo el motor, reductor y caja de electrónica se observa en la Figura 39, 40, y 41; éste se realizó teniendo en cuenta cada uno de los materiales de elaboración para sus componentes con el fin de obtener una aproximación de la masa y el peso que tendrá, luego de ser construida; además se simuló su apariencia para poder tener una idea del aspecto que tendrá, si se utilizan los mismos materiales. Por consiguiente, la masa final del ensamble de la trituradora de PET con todos sus componentes es de 50.71 Kg y ejercen una fuerza de 496,96N sobre una superficie de 2758.8 cm<sup>2</sup>, además tiene un volumen de 16238.72 cm<sup>3</sup> (ver Figura 42). Sin embargo, el espacio que debe ocupar esta máquina teniendo en cuenta el 50% de su área para permitir la movilidad de las personas alrededor de ella, finalmente es de 4138.2cm<sup>2</sup>.

Figura 39. Ensamble final de trituradora.



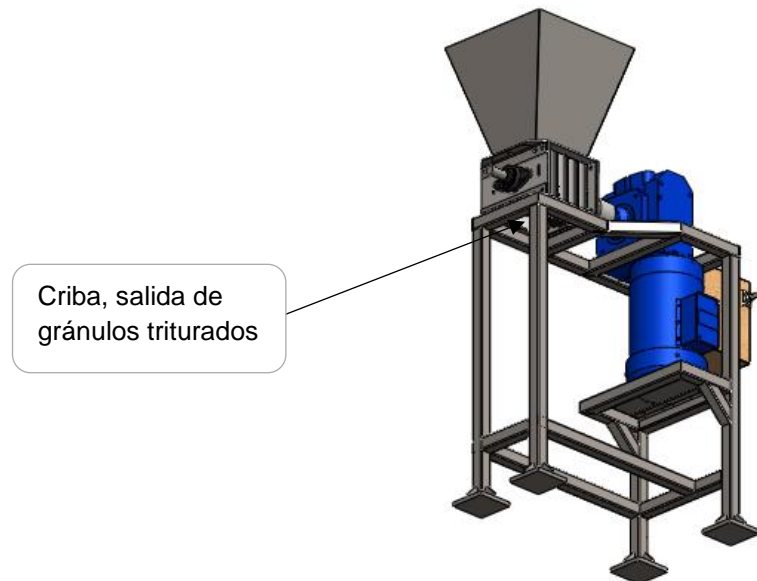
Fuente: Autor.

Figura 40. Vista superior ensamble final trituradora.



Fuente: Autor.

Figura 41. Vista isométrica inferior de ensamble final trituradora.



Fuente: Autor.

Figura 42. Propiedades de materia de la trituradora. Simulación en SolidWorks.

Propiedades de masa de Trituradora2		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 50.71 kilogramos		
Volumen = 16238.72 centímetros cúbicos		
Área de superficie = 2758.8 centímetros cuadrados		
Centro de masa: ( centímetros )		
X = 5.27		
Y = 18.38		
Z = -87.33		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
lx = (-0.05, 0.96, 0.29)	Px = 19494.41	
ly = (-0.13, -0.29, 0.95)	Py = 43577.87	
lz = (0.99, 0.01, 0.14)	Pz = 56009.05	
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 55709.55	Lxy = -1163.14	Lxz = -2059.52
Lyx = -1163.14	Lyy = 21583.36	Lyz = 6679.08
Lzx = -2059.52	Lzy = 6679.08	Lzz = 41788.41
Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 459544.42	lxy = 3751.71	lxz = -25414.27
lyx = 3751.71	lyy = 409702.77	lyz = -74701.23
lzx = -25414.27	lzy = -74701.23	lzz = 60324.83

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta la seguridad de los estudiantes que operen la máquina trituradora, se le deben instalar mallas metálicas alrededor de la periferia donde está posicionado el motor, evitando de esta forma el acceso a sus partes durante la molienda del plástico.

Los planos de diseño de los diferentes componentes de la máquina trituradora de PET se visualizan en la parte final como Anexos del documento.

## 7.3 ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO Y COSTOS DEL PROTOTIPO

### 7.3.1 Análisis de posicionamiento

La máquina trituradora será instalada en el LAB3i, por lo tanto, se hizo necesario analizar la distribución actual del mismo con los diferentes equipos que lo integran (ver Figura 18). Las variables a tener en cuenta son ventilación, conexión eléctrica, espacio y seguridad del operario.

- Ventilación:

Durante el proceso de trituración, el plástico aumentará su temperatura debido al contacto que tiene con las cuchillas, por consiguiente, lo más probable es que se desprendan olores hacia el entorno por esta fricción, debido a esto, su instalación debe permitir que estos olores se ventilen fácilmente y no se acumulen dentro del lugar; bajo este principio, se descartan las paredes donde están ubicados los armarios, el tablero y la mesa del colaborador, ya que no tienen ventanas; en la Figura 43 se observan las paredes opcionales, denominadas 1 y 2.

Figura 43. Interior del LAB3i en Pance.



Fuente: Autor.

- **Conexión eléctrica:**

Dentro del LAB3i las dos paredes donde están las ventanas, tienen debajo de ellas 8 enchufes, distribuidos en 4 cajas, en la Figura 44 y 45 se observan los lugares donde estos se encuentran. Por consiguiente, la trituradora puede ser instalada en cualquiera de estos cuatro espacios.

Figura 44. LAB3i en Pance. Elaboración propia.



Fuente: Autor.

Figura 45. LAB3i en Pance. Elaboración propia.



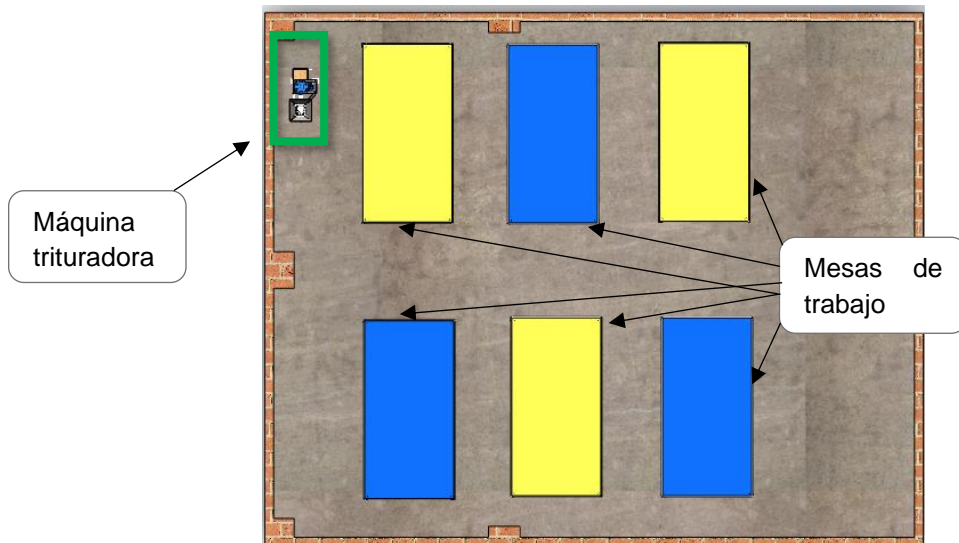
Fuente: Autor.

- Espacio:

Al ubicar la trituradora cerca de cualquiera de los enchufes de las ventanas en la pared 2, se deben reubicar las mesas de trabajo que se encuentran junto a ella, realizando este movimiento se limita el espacio de circulación de los colaboradores

y estudiantes dentro del LAB3i, quedando las mesas muy cercanas entre ellas; por consiguiente, ésta se debe ubicar en la pared 1; se decide, que el lugar donde será instalada la máquina, tomando como referencia la Figura 45, será cerca al enchufe y ventana próximos a la columna, ya que permite que los olores generados durante el proceso de trituración salgan por las dos ventanas aledañas. Instalando la máquina en este espacio, las mesas de trabajo se deben mover hacia delante (dirección del tablero) sin perjuicio de que las actividades que se realizan comúnmente en el laboratorio se vean afectadas. En la Figura 46, 47 y 48 se observa la distribución final; para estas imágenes solo se tuvieron en cuenta los elementos que cambiaron de lugar (mesas de trabajo) y la trituradora.

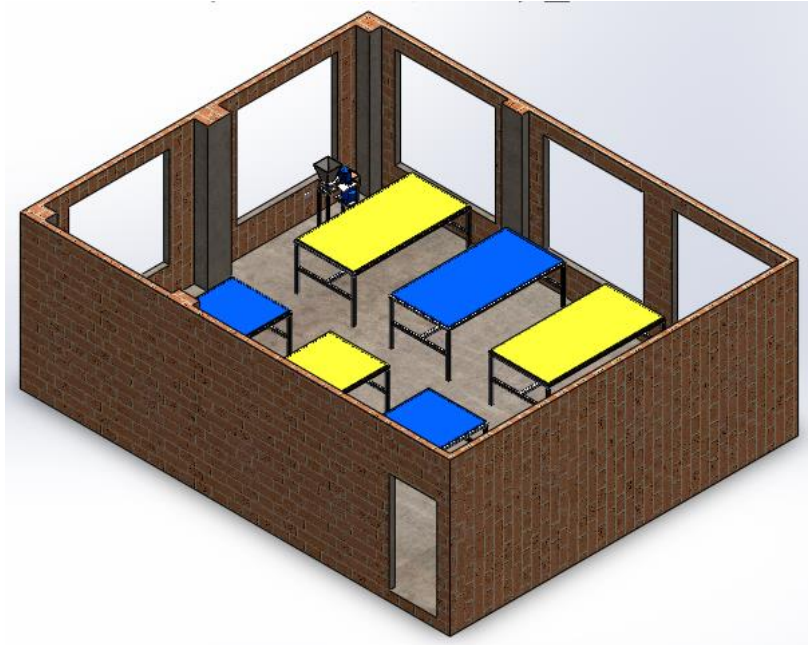
Figura 46. Vista en planta del LAB3i.



Fuente: Autor.

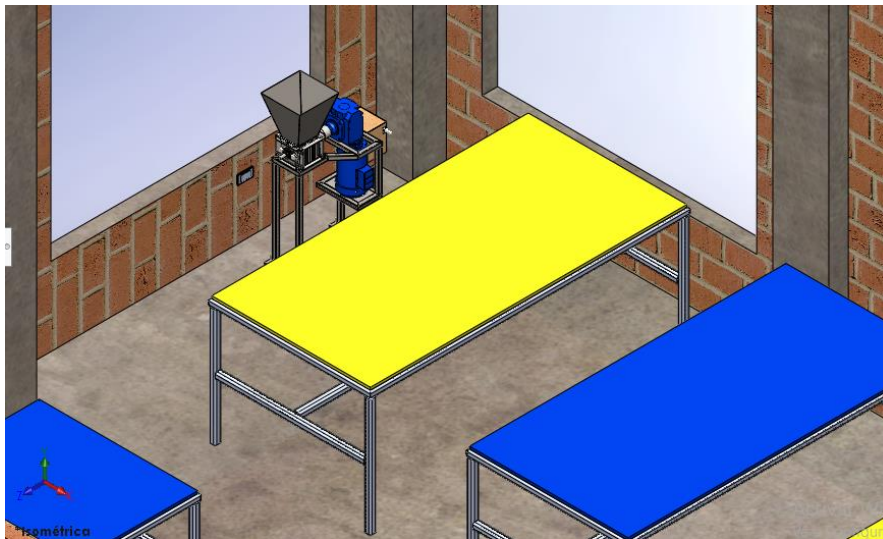


Figura 47. Vista isométrica del interior del LAB3i.



Fuente: Autor.

Figura 48. Ubicación de la trituradora dentro del LAB3i.



Fuente: Autor.

- Seguridad del operario:

Durante la molienda del PET la máquina trituradora generará ruido y pequeñas partículas del material saldrán expulsadas; por lo tanto, se hace necesario que los estudiantes y demás personas que la operen utilicen tapa oídos, gafas de protección y tapabocas; evitando de esta forma, futuras enfermedades al estar expuestos a sus ondas sonoras, además de evitar que pequeñas partículas terminen en sus ojos o las inhalen.

Finalmente, el lugar de instalación de la máquina trituradora de PET dentro del LAB3i, se hizo teniendo en cuenta que debe adaptarse a los elementos del laboratorio y no al contrario; por ejemplo los armarios, debido a su material, no pueden reubicarse en paredes donde caiga el sol directamente, haciéndolos inamovibles de su pared actual; el tablero, mesa del colaborador y mesa ergonómica, al ser espacios utilizados por colaboradores, su pared les permite tener mayor control sobre las personas que ingresen y salgan del lugar; los únicos elementos que pueden ser reubicados son las mesas de trabajo, más sin embargo, se respetó su dirección hacia la pared de los colaboradores, puesto que los estudiantes siempre deben estar mirándolos de frente; las paredes laterales solo permiten que las mesas se muevan hacia el centro del laboratorio, pero esta acción, entorpece el desplazamiento de las personas de un lugar a otro; bajo estas consideraciones, se optó por mover las mesas hacia delante, en dirección de los colaboradores e instalar la trituradora en la pared del fondo ya que es la menos transitada y, su posición final responde a las variables ya analizadas.

### **7.3.2 Análisis de costos**

A continuación, se muestra el estudio de costos de los componentes necesarios para la construcción de la máquina trituradora de PET, estos se consultaron a través de diferentes proveedores ubicados dentro de la ciudad de Cali.

Tabla 6. Costos de los materiales.

<b>Costos directos de fabricación</b>			
<b>Materiales</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Corte de componentes caja de cuchillas - 3 mm de espesor</b>	12	\$ 10.000	\$ 120.000
<b>Corte de componentes caja de cuchillas - 4.5 mm de espesor</b>	28	\$ 6.964	\$ 195.000
<b>Corte de componentes caja de cuchillas - 6 mm de espesor</b>	34	\$ 6.471	\$ 220.000
<b>Perfiles cuadrados 1 1/4 x 1 1/4 x 1/8</b>	2	\$ 80.000	\$ 160.000
<b>Tornillería</b>	120	\$ 667	\$ 80.000
<b>Disco Abrasivo Corte Metal 4 1/2 X 1/8 Ref. DW44820 Dewalt.</b>	12	\$ 5.000	\$ 60.000
<b>Lamina de Acero 50 x 120 x 2 mm</b>	1	\$ 245.670	\$ 245.670
<b>Chumacera ojo de pescado</b>	2	\$ 21.500	\$ 43.000
<b>Angulo de 1/2</b>	2	\$ 80.000	\$ 160.000
<b>Relé Motor contactor</b>	2	\$ 28.500	\$ 57.000
<b>Cable de alimentación</b>	1	\$ 10.000	\$ 10.000
<b>Interruptor basculante</b>	1	\$ 4.000	\$ 4.000
<b>Interruptor de tres vías</b>	1	\$ 15.000	\$ 15.000
<b>Indicador led 110V</b>	3	\$ 9.000	\$ 27.000

<b>Total</b>	<b>\$ 1.396.670</b>
--------------	---------------------

Tabla 7. Costo de equipos.

<b>Costos directos de fabricación</b>			
<b>Equipos</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Motorreductor monofásico BOMORESA modelo NMRV063: Motor WEG 1.5 HP a 1750 RPM 110V/220V. Caja reductora HENGTAI REDUCER corona sinfín con relación 20:1, 25:1 y 30:1</b>	1	\$ 1.258.113	\$ 1.258.113
<b>Total</b>			<b>\$ 1.258.113</b>

Tabla 8. Costos de mano de obra.

<b>Costos directos de fabricación</b>			
<b>Mano de obra</b>			
<b>ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Soldadura 60/13 (Kg)</b>	5	\$ 12.000	\$ 60.000
<b>Mecanizado de barra Hexagonal</b>	1	\$ 130.000	\$ 130.000
<b>Mano de obra indirecta</b>	-	-	\$ 800.000
<b>Total</b>			<b>\$ 990.000</b>

Tabla 9. Resumen de costos de fabricación.

<b>Costos de fabricación</b>	
<b>Resumen de costos</b>	
<b>Costos directos</b>	<b>Costo total</b>
- <b>Materiales</b>	\$ 1.396.670
- <b>Equipos</b>	\$ 1.258.113
- <b>Mano de obra</b>	\$ 990.000
<b>Total costos directos</b>	\$ 3.644.783
<b>Costos variables (Imprevistos 10%)</b>	\$ 364.478
<b>Total costo prototipo</b>	<b>\$ 4.009.261</b>

Fuente: Autor.

El costo aproximado de fabricación de la máquina trituradora de PET es de \$4.009.261. Como se esperaba, el motorreductor y piezas de la caja de cuchillas recortadas en laser, al ser los componentes del cual depende el funcionamiento de la misma, representan el mayor porcentaje de inversión, el coste de estos es el 45% del total; cabe resaltar que este porcentaje lo ocupa en mayoría, los costos del motorreductor, los cuales representan el 31% del total. Es preciso recordar que estos componentes son totalmente nuevos, y con excepción de los cortes en laser, el motorreductor se puede adquirir en el mercado de segunda mano, obteniendo de esta forma una reducción considerable en el costo total de inversión de la trituradora.

En los anexos del documento se visualizan cada una de las cotizaciones de los componentes mencionados anteriormente.

En la Tabla 10 se observa el resumen de los costos para el desarrollo del proyecto; teniendo en cuenta los diferentes elementos necesarios, su valor es de \$8.900.644 y sumado a los costos de los diferentes componentes de la máquina, se determinó

que a la universidad le costó desarrollar el diseño de la máquina trituradora de PET \$12.909.905.

Tabla 10. Costos directos del desarrollo del proyecto.

<b>Costos directos del desarrollo del proyecto</b>			
	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
<b>Computador portátil</b>	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
<b>Licencia educativa SolidWorks</b>	1	\$ 511.645	\$ 511.645
<b>Consumo de energía (kWh)</b>	168	\$ 597,85	\$ 100.439
<b>Ingeniero Industrial (h)</b>	285	\$ 10.416	\$ 2.968.560
<b>Asesores (h)</b>	14	\$ 130.000	\$ 1.820.000
<b>Total</b>			<b>\$ 8.900.644</b>
<b>Costo total desarrollo de la máquina</b>			<b>\$ 12.909.905</b>

Fuente: Autor.

Actualmente, en el mercado se ofertan diferentes modelos de máquinas trituradoras de plásticos, principalmente para uso industrial. La empresa Asian Machinery USA tiene a la venta la trituradora de dos ejes de la serie VMGL-2160 de VERMACK (ver Figura 49) con un precio de \$90.298.045, éste valor representa: el precio de la máquina y los costos de envío, desde los Estados Unidos hasta el puerto de Buenaventura; la empresa CM Repuestos de argentina tiene a la venta el triturador de plásticos con capacidad de salida de 60 Kg/h de la marca MENICHETTI con un precio de \$32.530.520 (Ver Figura 50); En la Figura 51 se observa un molino triturador de PET, el cual es importado desde china por la empresa Importec S.A.S. ubicada en Kennedy, Bogotá, su precio de venta es \$15.800.000. La trituradora de plásticos Precious Plastic fabricada por la compañía The Kitmaker (ver Figura 52)

tiene un costo de \$15.169.836, debe ser armada por el comprador y es vendida argentina.

Figura 49. Trituradora de doble eje.



Fuente: <https://asianmachineryusa.com/m/reciclado/trituradores/de-doble-eje/>

Figura 50. Trituradora para plástico.



Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-786223266-trituradora-para-plastico-2hp-60kg-por-hora- JM#position=14&type=item&tracking\\_id=bcdd73b8-a8b3-4a18-a244-85333e2c4c05](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-786223266-trituradora-para-plastico-2hp-60kg-por-hora-JM#position=14&type=item&tracking_id=bcdd73b8-a8b3-4a18-a244-85333e2c4c05)

Figura 51. Molino para PET, marca WENSUI VGY 15.



Fuente: <https://www.olx.com.co/item/molino-para-pet-reciclador-de-plastico-o-triturador-produccion-de-300-a-500-klh-iiid-1102762096>

**Figura 52. Greenmaker – Trituradora de plástico Precious Plastic.**



Fuente: <https://www.thekitmaker.com.ar/productos/greenmaker-trituradora-de-plastico-precious-plastic/>

En la Figura 53 se observa el molino triturador para plásticos modelo MT de los fabricantes de maquinaria para la industria del reciclaje Industrias Elypson; el precio de venta para este molino es \$ 9.328.000. Por último, está la empresa fabricante



y distribuidora de molinos, lavadoras y secadoras, ubicada en Bogotá con un precio de venta sobre su molino triturador de plásticos (ver Figura 54) de \$ 4.400.000.

Figura 53. Molino triturador para plásticos, botellas PET.



Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-825090326-molino-triturador-para-plastico-botellas-pet-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=bcdd73b8-a8b3-4a18-a244-85333e2c4c05](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-825090326-molino-triturador-para-plastico-botellas-pet-_JM#position=1&type=item&tracking_id=bcdd73b8-a8b3-4a18-a244-85333e2c4c05)

Figura 54. Tritura plásticos.



Recuperado de: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458741678-tritura-plastico-molino-industrial-para-canastas-petuco-\\_JM#position=6&type=item&tracking\\_id=caa484aa-217f-4606-9b22-e3e176d36ae8](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458741678-tritura-plastico-molino-industrial-para-canastas-petuco-_JM#position=6&type=item&tracking_id=caa484aa-217f-4606-9b22-e3e176d36ae8)

Las máquinas y precios mencionados anteriormente representan la mayoría de trituradoras de plásticos que se ofertan actualmente en el mercado, todas ellas son

diseñadas para cumplir con rendimientos a nivel industrial, a pesar que se trató de discriminar la búsqueda, haciendo énfasis en el tamaño de estas, en caso de ser más viable su compra que construcción, sus dimensiones finalmente no fueron las adecuadas para el espacio disponible en el LAB3i; además de sus altos precios de venta, incluso la Figura 52 con la máquina diseñada por Precious Plastic en argentina, la excepción es el precio de la Figura 54, el cual está en línea con el análisis del costo de inversión mencionado anteriormente; cabe resaltar que estas personas son fabricantes y lo hacen según especificaciones del cliente, sin embargo, ya que la empresa está ubicada en Bogotá, se deben tener en cuenta los costos de envío, haciendo que el precio final de esta aumente.

Finalmente, teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas en el análisis de costos, para disminuirlo; la inversión de la trituradora de PET del proyecto termina siendo representativo, ya que son muy pocas las trituradoras que puedan comprarse con este precio y puedan ser compactas, fáciles de transportar, no necesitando de grandes espacios para ser instaladas.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los requerimientos establecidos por la universidad fueron equipar el laboratorio con una herramienta que apoye la formación de los ingenieros y permita disminuir el impacto de los plásticos, requerimiento que se cumplió sentando las bases con el diseño de una máquina trituradora.

El diseño responde a los requerimientos del LAB3i ya que se tuvo en cuenta el espacio disponible ( $0.5 \text{ m}^2$ ) y finalmente ocupó  $0.41 \text{ m}^2$ , además los equipos de la máquina son alimentados con un diferencial de potencial de 110V.

El diseño se diferenció del propuesto por el alemán *Dave Hakkens* en el posicionamiento del motor, reductor y caja de electrónicos, aumentando de esta forma su volumen y superficie; sin embargo, esto no afectó, lo compacto del diseño; permitiendo que el área de ocupación no necesite de grandes reubicaciones para ser instalado, no dificulte el desplazamiento, ni cambios en las actividades realizadas actualmente en el LAB3i.

Haciendo uso de la simulación de materiales en SolidWorks se determinó el peso aproximado que tiene la trituradora; este valor es de gran importancia, ya que permite tomar acciones sobre el lugar donde se debe construir; con un peso de 496.96N permite ser ensamblada en un taller donde si se tengan todas las herramientas para su construcción y luego ser llevada a la universidad.

El costo total de fabricar un prototipo como el que se planteó en el proyecto es de \$4.009.261 y, el costo de desarrollar este prototipo fue de \$8.900.644.

La finalidad de este proyecto es ser construida haciendo uso de elementos reciclables; es decir, para su puesta en marcha, no se necesita que todos sean completamente nuevos, con excepción de los componentes que integran la caja de cuchillas, que si deben de estar en óptimas condiciones; se permite la holgura en definir según el presupuesto disponible, adquirir piezas de segunda mano que no

afecten el funcionamiento de la máquina, principalmente el motor y reductor que son los componentes más costosos, sin embargo, así sean de segunda mano, se debe tener cuidado y comprar marcas reconocidas de proveedores certificados.

Se recomienda a la universidad que alguien continúe e implemente el proyecto y de esta forma se logre disminuir el impacto que generan los plásticos en su medio ambiente interno y externo.

Se recomienda integrar a la comunidad académica con programas de reciclaje, para que suministren los plásticos que utilizan dentro y fuera de Unicatólica, pudiendo ser granulados por la máquina trituradora y transformados en nuevos productos plásticos a través del sistema de reprocesamiento de plásticos.

Se recomienda darle continuidad al sistema de reprocesamiento de plásticos al cual se integra este proyecto, logrando de esta forma apoyar directamente las asignaturas de producción impartidas a los estudiantes del programa de ingeniería industrial de Unicatólica.

Se recomienda tener comunicación directa con los colaboradores de las asignaturas de producción, con el fin integrar el proceso realizado por la trituradora en sus planes de estudio, dándoles nuevas herramientas de apoyo para la formación de sus estudiantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agosto Aceves, C., Ramírez Álvarez, c. I., Andrade Ramírez, A. F., & Bernáldez Hernández, K. F. (2018). Los polímeros. *Ciensante*.
- Ámbar plus S.L. (s.f.). *El plástico en el medio ambiente: contaminación y reciclaje [Blog]*. Obtenido de ambarplus.com: <https://ambarplus.com/plastico-medio-ambiente/>
- Avalo Valencia, C. A., & Giraldo Diaz, L. F. (2017). *Estudio de factibilidad para el diseño de una máquina recicladora de plásticos*. Pereira, Risaralda: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ávila Sanabria, A. (2017). Química de los polímeros. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Biodiversidad. (25 de 10 de 2019). *Ecosistemas*. Obtenido de Biodiversidad mexicana : <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>
- BMIMachines. (s.f.). *Cinco tipos de plásticos que usas en tu día a día*. Obtenido de bmimachines.com: <https://www.bmimachines.com/cinco-tipos-de-plasticos-que-usas-en-tu-dia-a-dia/>
- Cañedo Iglesias, C. M., & Cáceres Mesa, M. (s.f.). Caracterización de la practica de laboratorio. En C. M. Cañedo Iglesias, & M. Cáceres Mesa, *Fundamentos teóricos para la implementación de la didáctica en el proceso enseñanza-aprendizaje* (pág. 77). Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento. (s.f.). *Residuos plásticos: Reciclaje químico*. Obtenido de Catálogo de residuos utilizables en construcción: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/37/residuos-plasticos/gestion-del-residuo/valorizacion-material/250/reciclaje-quimico.html>

- Dave Hakkens. (2016). *We have created machines that enable anyone to recycle plastic*. Obtenido de Precious plastic: <https://preciousplastic.com/en/machines.html>
- ECoticias. (4 de 1 de 2010). *Reciclado de Plásticos ¿Cómo se Reciclan?* Obtenido de Ecoticias: <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/21178/Reciclado-de-Plasticos-Como-se-Reciclan>
- Enciclopedia de Ejemplos. (2019). *Polímeros naturales y artificiales*. Obtenido de <https://www.ejemplos.co/polimeros-naturales-y-artificiales/>
- Espino, P., Núñez Nalda, J. V., Lizárraga Lizárraga, A., & Sapiens, J. (2016). *Desarrollo mecatrónico sustentable: Diseño de una máquina trituradora de PET*. Investigación aplicada de las UNiversidades politécnicas.
- Ferro Nieto, A., Toledo arguelles, A., & Cadalso Basadre, j. C. (2008). *El envase de polientireftalato: su impacto medio ambiental y los metodos para su reciclado*.
- Freepik Company S.L. (s.f.). *Recycling [Imagen]*. Obtenido de freepik.es: [https://www.freepik.es/vector-premium/pasos-proceso-reciclaje-basura\\_5758704.htm#position=1](https://www.freepik.es/vector-premium/pasos-proceso-reciclaje-basura_5758704.htm#position=1)
- Gaitán Hernández, D. F. (2017). *Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa Industria Recuplast S.A.S*. Bogotá: Universidad Libre.
- García Villalba, L. A., Ponce Corra, C., Martínez López, E. j., & León Ordaz, J. (2014). *Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET*. México: CUKCyT//Septiembre-Diciembre. Año 11, No. Especial No. 1.
- Hermida, É. (2011). Polímeros. En J. M. Kirscheanbaum, *Guía didáctica: Capítulo 9, Polímeros* (págs. 16-18). Buenos Aires: Saavedra 789. C1229ACE.
- Hermida, É. (2011). Polímeros. En J. M. Kirscheanbaum, *Guía didáctica: Capítulo 9, Polímeros* (pág. 14). Buenos Aires: Saavedra 789. C1229ACE.

- Hoyos Mateus, D., & Hoyos Mateus, M. R. (2016). *Diseño de una trituradora de PET*. Bogotá.
- Inforeciclaje. (s.f.). *Qué es el reciclaje*. Obtenido de inforeciclaje.com: <http://www.inforeciclaje.com/que-es-reciclaje.php>
- IngeOexpert. (14 de 9 de 2018). *Tipos de ecosistemas*. Obtenido de Ingeoexpert : <https://ingeoexpert.com/blog/2018/09/14/tipos-de-ecosistemas/>
- Janfrex. (2018). *Criba para molino cumberland [Imagen]*. Obtenido de janfrex.mx: [https://www.janfrex.mx/site/en/?attachment\\_id=2851](https://www.janfrex.mx/site/en/?attachment_id=2851)
- La red: reciclados plásticos. (s.f.). *Proceso de reciclaje de plásticos*. Obtenido de recicladoslared.es: <http://www.recicladoslared.es/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/>
- Magnet. (2017). *Qué es Bisfenol A y por qué es una preocupación ahora [Video]*. Obtenido de Youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=AOTb9NURuL4>
- Martín, L. (8 de Noviembre de 2017). *Seis materiales perfectos para la economía circular*. Obtenido de compromisoempresarial.com: <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2017/11/seis-materiales-perfectos-para-la-economia-circular/>
- Novatec. (s.f.). *Tolva de alimentación para pellets*. Obtenido de directindustry.com: <https://www.directindustry.es/prod/novatec-inc/product-74452-1752221.html>
- Precious Plastic. (2017). *Manual Version 1.0*.
- Recytrans. (15 de 5 de 2015). *Trituración de plásticos [Blog]*. Obtenido de Recytrans.com: <https://www.recytrans.com/blog/trituracion-de-plastico/>
- Rmachines S.A. de CV. (2014 de Octubre de 2014). *Linea de lavado completo en frio para PET [Video]*. Obtenido de youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=xiMhibs-BV0>

- Romero Real, F. (20 de 4 de 2017). *Tipos de ecosistemas y sus características*. Obtenido de Unprofesor : <https://www.unprofesor.com/ciencias-sociales/tipos-de-ecosistemas-y-sus-caracteristicas-1950.html>
- Semana Sostenible. (11 de 9 de 2019). *En Colombia, por cada 10 botellas plásticas que salen al mercado solo se reciclan 3*. Obtenido de Medio Ambiente: <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/que-sucedec-con-el-reciclaje-de-botellas-pet-en-colombia/46691>
- Significados. (s.f.). *Qué es plástico*. Obtenido de Significados.com: <https://www.significados.com/plastico/>
- tecnocabo. (30 de Mayo de 2016). *Julio 2014 - opción A ( Trituradora de plasticos) [Blog]*. Obtenido de areadetecno.wordpress.com: <https://areadetecno.wordpress.com/2016/05/30/julio-2014-opcion-a-trituradora-de-plasticos/>
- Tecnología de los plásticos. (2011). *Reciclado mecánico de PET (súper-limpieza) [Blog]*. Obtenido de tecnologiadelosplasticos.blogspot.com: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/reciclado-mecanico-de-pet-super.html>
- Tecnología del plástico. (22 de Abril de 2019). *¿Podría el reciclaje químico ser la solución? [Blog]*. Obtenido de plastico.com: <http://www.plastico.com/blogs/Podria-el-reciclaje-quimico-ser-la-solucion+130142>
- Torres, A. (s.f.). *Los 6 tipos de ecosistemas: los diferentes hábitats que encontramos en la Tierra*. Obtenido de Psicología y Mente : <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-ecosistemas>
- Unicatólica. (s.f.). *Nuestra Institución*. Obtenido de Unicatólica: <https://www.unicatolica.edu.co/nuestra-institucion/>



Valle Alvarado, D. I., & Vértiz Ramírez, j. M. (2013). Diseño de un equipo de separación de una mezcla de PET/PVC por medio de flotación [Tesis]. En 18-25. Huancayo - Peú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Velas rojas, C. C., Rey Romero, E. J., & Jaimes Rada, A. N. (2018). *Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET: Análisis sistemático de literatura*. Villavicencio.

# ANEXOS

## Anexo A. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 3 mm.

	FECHA:	16/04/2020
	Plan No. :	14187

### PLAN DE PREPARACION

#### DATOS GENERALES



Cliente : JESUS CLEVEL	Valor antes de IVA : 120,000.00	
Espesor : 3	Cantidad de piezas : 12	
Acabado : 304	Vendedor : ALEJANDRO ESTRADA	
Calidad : 2B		


### VARIACIÓN EN CANTIDADES O MEDIDAS, IMPLICA VARIACIÓN EN LOS PRECIOS OFERTADOS


Los planos, cotas y demás anotaciones contenidas en este documento, corresponden a la información recibida por parte del cliente de manera digital o para levantamiento de plano.


Al aceptar o aprobar esta cotización (por escrito, con firma, sello o digitalmente), se exonera de responsabilidad a IMPORINOX S.A.S. y / o sus representantes. Una vez procesado y / o entregado el material, no se aceptan devoluciones.


#### INFORMACION PIEZA INDIVIDUAL

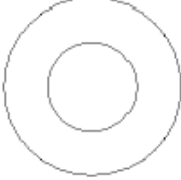
	No. de pieza:	1
	Unidades:	2
	Dimensiones:	161.0mmx135.0mm
	Costo por pieza	22,609.63
	Nombre pieza:	3mm_2unds_01.geo
	No. de pieza:	2
	Unidades:	1
	Dimensiones:	41.0mmx149.0mm
	Costo por pieza	8,583.96
	Nombre pieza:	3mm_1und.GEO
	No. de pieza:	3
	Unidades:	1
	Dimensiones:	41.0mmx149.0mm
	Costo por pieza	8,583.96
	Nombre pieza:	3mm_1und_01.geo

	No. de pieza:	4
	Unidades:	2
	Dimensiones:	41.0mmx135.0mm
	Costo por pieza	8,255.76
	Nombre pieza:	3mm_2unds_02.geo

	No. de pieza:	5
	Unidades:	1
	Dimensiones:	33.0mmx149.0mm
	Costo por pieza	11,720.57
	Nombre pieza:	3mm_1und_02.geo

	No. de pieza:	6
	Unidades:	1
	Dimensiones:	30.0mmx149.0mm
	Costo por pieza	7,646.80
	Nombre pieza:	3mm_1und_03.geo

	No. de pieza:	7
	Unidades:	2
	Dimensiones:	30.0mmx135.0mm
	Costo por pieza	7,406.65
	Nombre pieza:	3mm_2unds_03.geo

	No. de pieza:	8
	Unidades:	2
	Dimensiones:	40.0mmx40.0mm
	Costo por pieza	3,460.32
	Nombre pieza:	3mm_2unds_04.geo

**Anexo B. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 4.5 mm.**

	FECHA:	16/04/2020
	Plan No. :	14188

**PLAN DE PREPARACION**

**DATOS GENERALES**

Cliente : JESUS CLEVEL	Valor antes de IVA : 195,000.00
Espesor : 4.5	Cantidad de piezas : 28
Acabado : 2B	Vendedor : ALEJANDRO ESTRADA
Calidad : 304	

**VARIACIÓN EN CANTIDADES O MEDIDAS, IMPLICA VARIACIÓN EN LOS PRECIOS OFERTADOS**

Los planos, cotas y demás anotaciones contenidas en este documento, corresponden a la información recibida por parte del cliente de manera digital o para levantamiento de plano.


Al aceptar o aprobar esta cotización (por escrito, con firma, sello o digitalmente), se exonera de responsabilidad a IMPORINOX S.A.S. y / o sus representantes. Una vez procesado y / o entregado el material, no se aceptan devoluciones.

**INFORMACION PIEZA INDIVIDUAL**

	No. de pieza:	1
	Unidades:	5
	Dimensiones:	84.9mmx104.4mm
	Costo por pieza	7,392.12
	Nombre pieza:	5mm_5unds_01.geo

	No. de pieza:	2
	Unidades:	5
	Dimensiones:	84.9mmx104.4mm
	Costo por pieza	7,392.12
	Nombre pieza:	5mm_5unds_02.geo

	No. de pieza:	3
	Unidades:	5
	Dimensiones:	84.9mmx104.4mm
	Costo por pieza	7,392.12
	Nombre pieza:	5mm_5unds_03.geo

	<b>No. de pieza:</b>	4
	<b>Unidades:</b>	13
	<b>Dimensiones:</b>	54.5mmx132.0mm
	<b>Costo por pieza</b>	6,470.63
	<b>Nombre pieza:</b>	5mm_13unds.GEO

**Anexo C. Cotización de corte en laser de cuchillas con espesor de 6 mm.**

	FECHA:	16/04/2020
	Plan No. :	14189

**PLAN DE PREPARACION**

**DATOS GENERALES**

Cliente : JESUS CLEVEL	Valor antes de IVA : 220,000.00
Espesor : 6	Cantidad de piezas : 34
Acabado : 2B	Vendedor : ALEJANDRO ESTRADA
Calidad : 304	

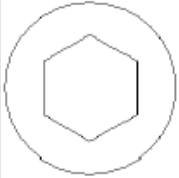
**VARIACIÓN EN CANTIDADES O MEDIDAS, IMPLICA VARIACIÓN EN LOS PRECIOS OFERTADOS**

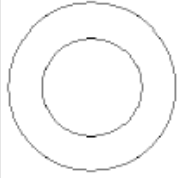
Los planos, cotas y demás anotaciones contenidas en este documento, corresponden a la información recibida por parte del cliente de manera digital o para levantamiento de plano.

Al aceptar o aprobar esta cotización (por escrito, con firma, sello o digitalmente), se exonera de responsabilidad a IMPORINOX S.A.S. y / o sus representantes. Una vez procesado y / o entregado el material, no se aceptan devoluciones.

**INFORMACION PIEZA INDIVIDUAL**

	No. de pieza:	1
	Unidades:	2
	Dimensiones:	210.0mmx135.0mm
	Costo por pieza	35,652.80
	Nombre pieza:	6mm_2unds_01.geo
	No. de pieza:	2
	Unidades:	15
	Dimensiones:	24.6mmx132.0mm
	Costo por pieza	5,276.28
	Nombre pieza:	6mm_15unds.GEO
	No. de pieza:	3
	Unidades:	2
	Dimensiones:	121.0mmx50.5mm
	Costo por pieza	8,093.74
	Nombre pieza:	6mm_2unds_02.geo

	<b>No. de pieza:</b>	4
	<b>Unidades:</b>	13
	<b>Dimensiones:</b>	50.0mmx50.0mm
	<b>Costo por pieza</b>	3,784.29
	<b>Nombre pieza:</b>	6mm_13unds.GEO

	<b>No. de pieza:</b>	5
	<b>Unidades:</b>	2
	<b>Dimensiones:</b>	34.0mmx34.0mm
	<b>Costo por pieza</b>	2,083.44
	<b>Nombre pieza:</b>	6mm_2unds_03.geo

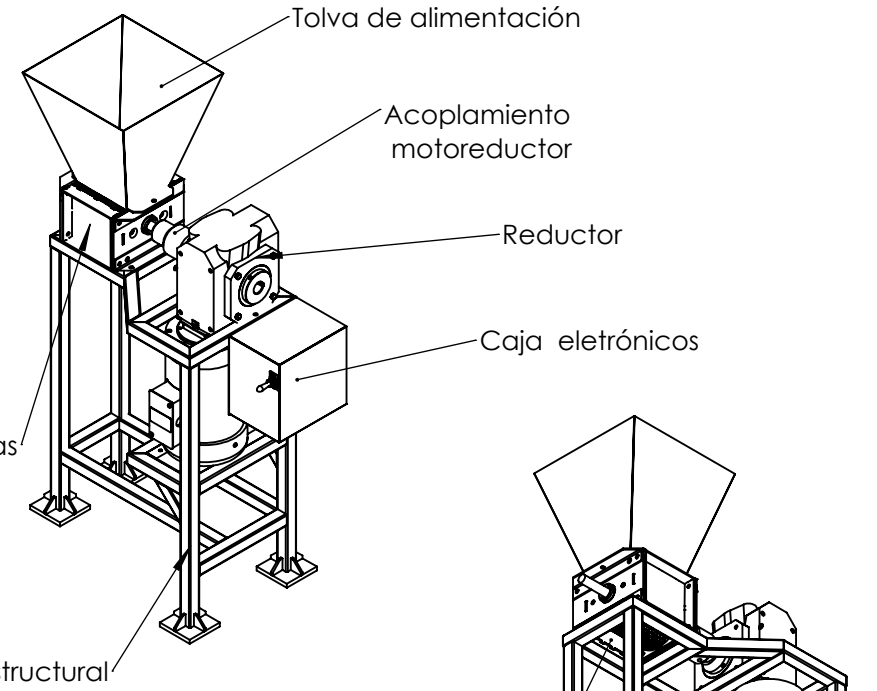
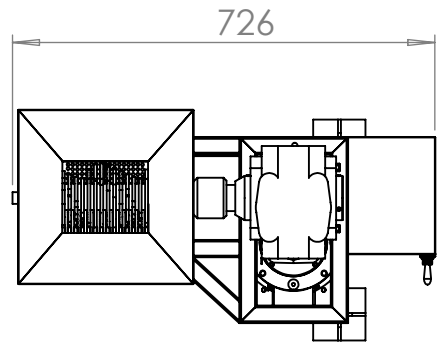
**Anexo D. Planos de máquina trituradora de PET.**



6 5 4 3 2 1

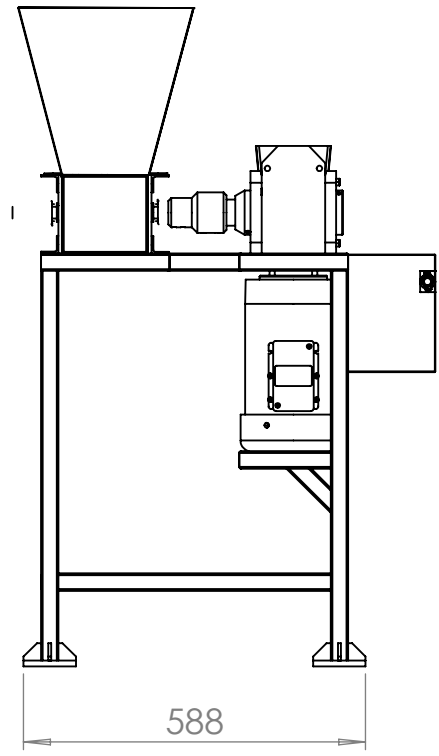
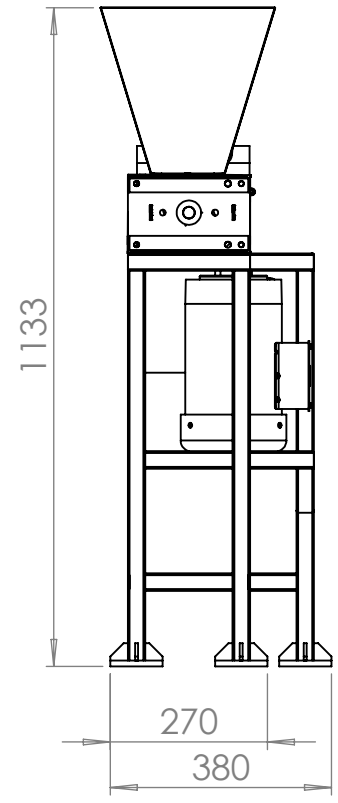
D

D



C

C

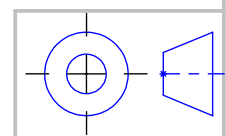


B

B

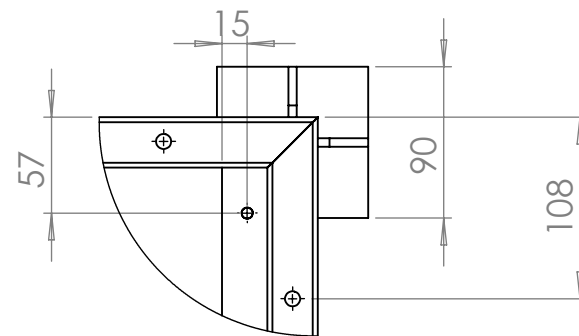
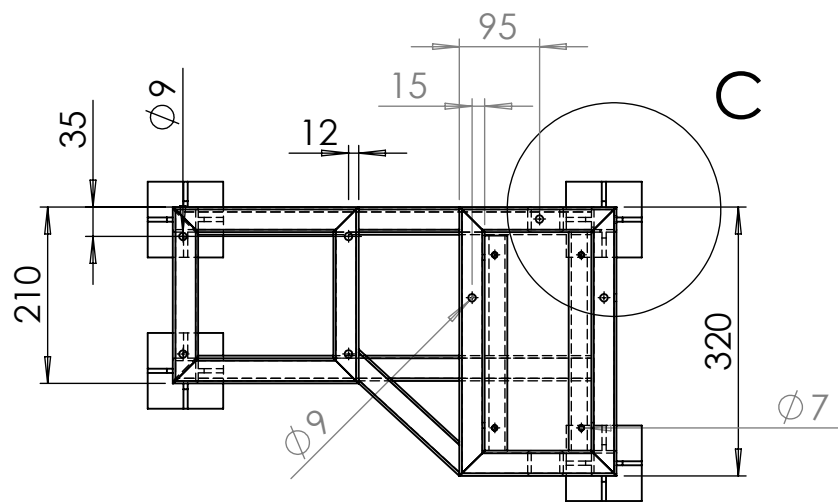
A

A

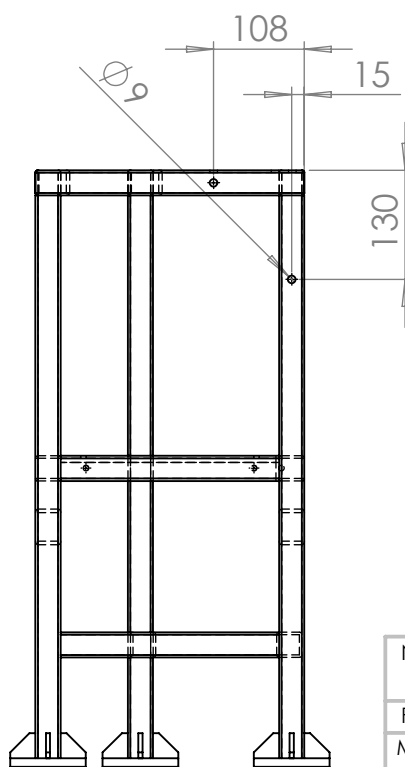
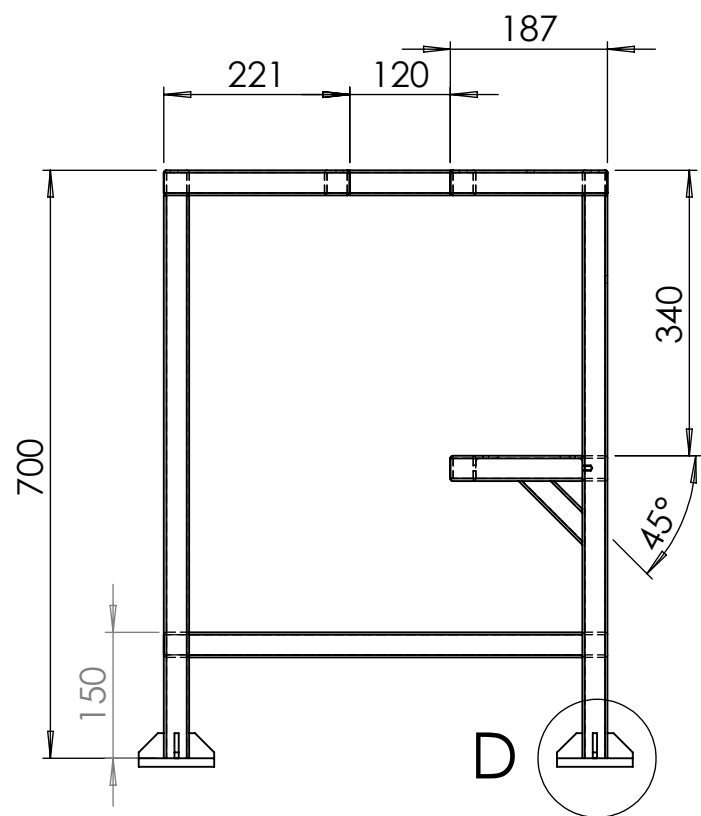
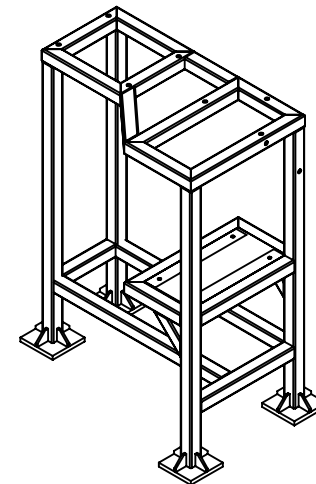


NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Ensamble final trituradora	
MATERIAL: Multi-material		ESCALA: 1:20	A4
MASA: 50.71 Kg		DIMENSIONES EN MM	

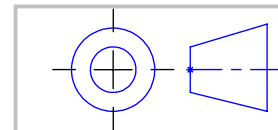
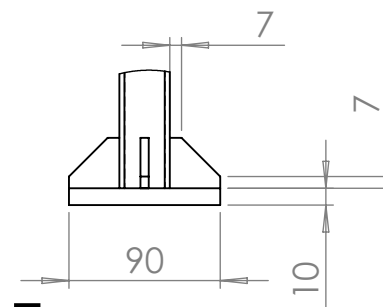
6 5 4 3 2 1



**DETALLE C**  
ESCALA 2:9



**DETALLE D**  
ESCALA 2:9



DESCRIPCIÓN:  
Tubo cuadrado 30 x 30 x 3

NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo  
FECHA: 25 / 04 / 2020  
MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frío  
MASA: 21.78 Kg

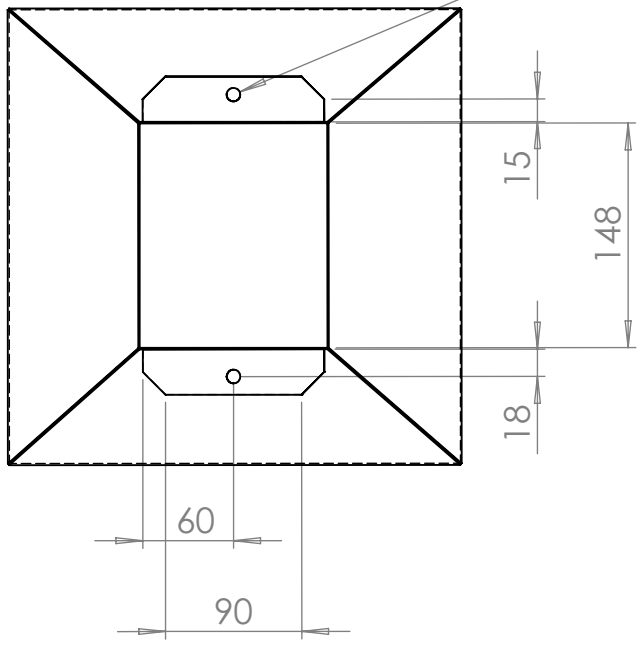
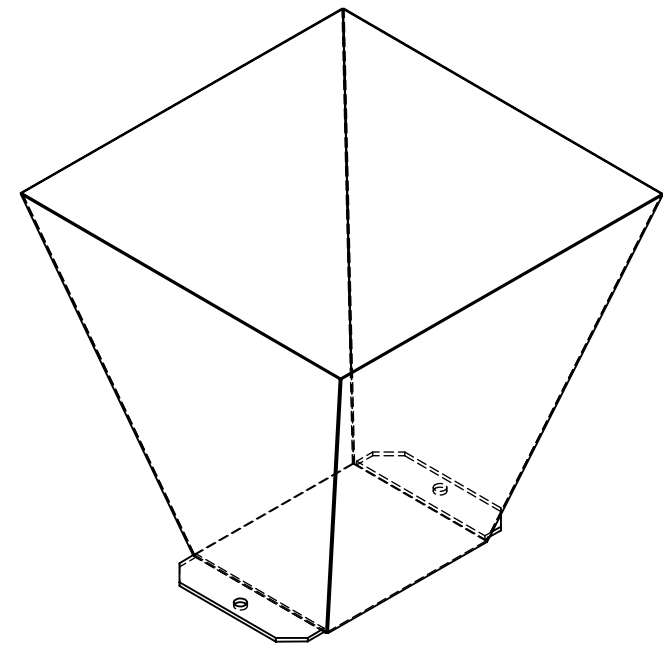
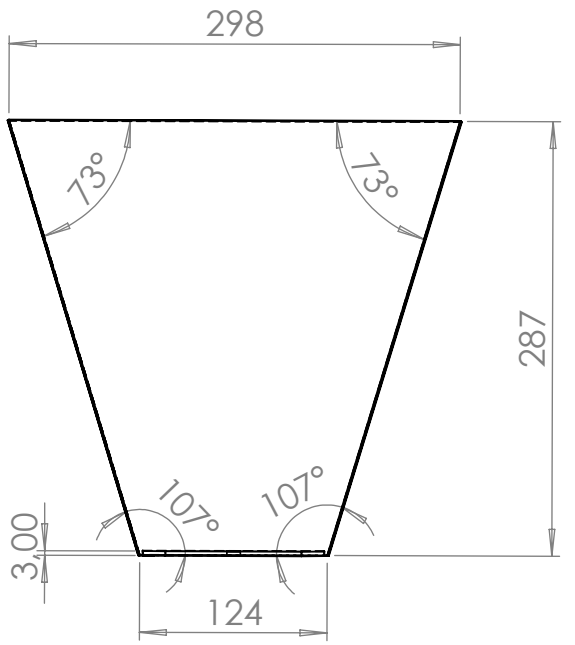
TÍTULO DEL DIBUJO:  
Máquina trituradora de PET

NOMBRE DEL DIBUJO:  
Base estructural

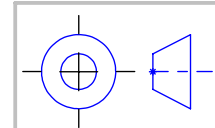
A4

ESCALA: 1:10 DIMENSIONES EN MM

6 5 4 3 2 1



R 4,50



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Tolva de alimentación	
MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frío		A4	
MASA: 2.2 Kg		ESCALA: 1:10	
		DIMENSIONES EN MM	

D  
C  
B  
A

D  
C  
B  
A

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

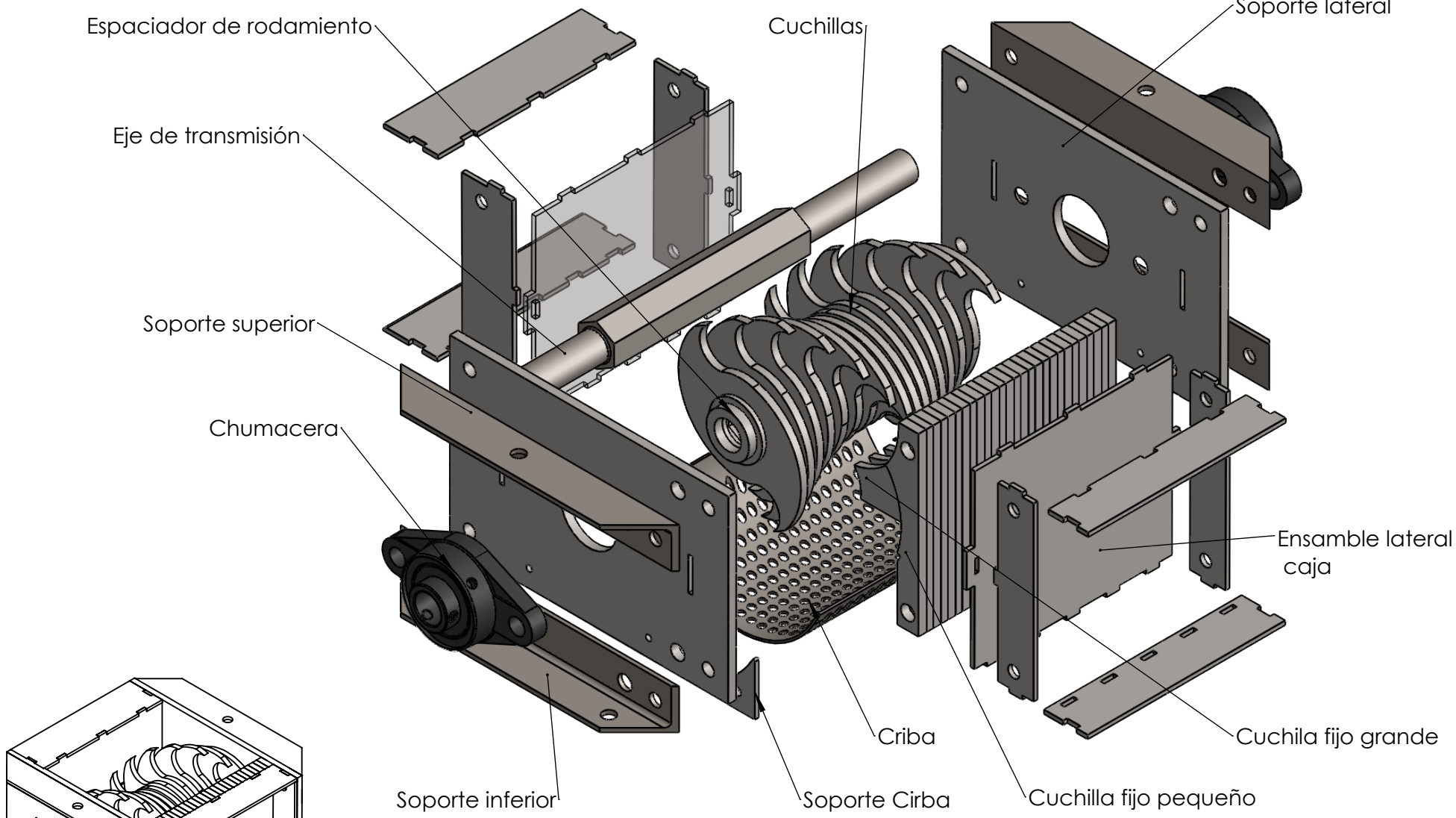
A

D

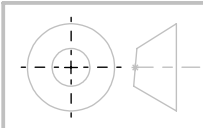
C

B

A



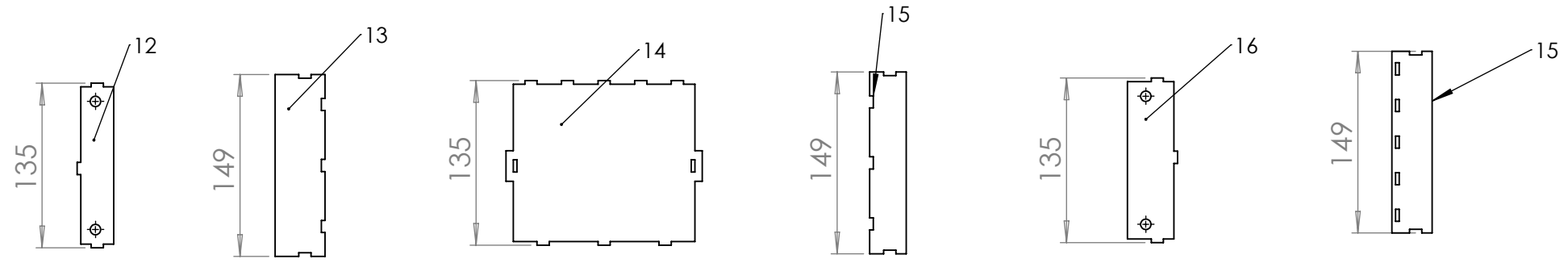
NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo FECHA: 25 / 04 / 2020		TÍTULO DEL DIBUJO: <b>Máquina trituradora de PET</b>	
MATERIAL: Acero Inoxidable AISI 304 MASA: 14.12 Kg		NOMBRE DEL DIBUJO: <b>Caja de Cuchillas</b>	
		ESCALA: 1:5	DIMENSIONES EN MM



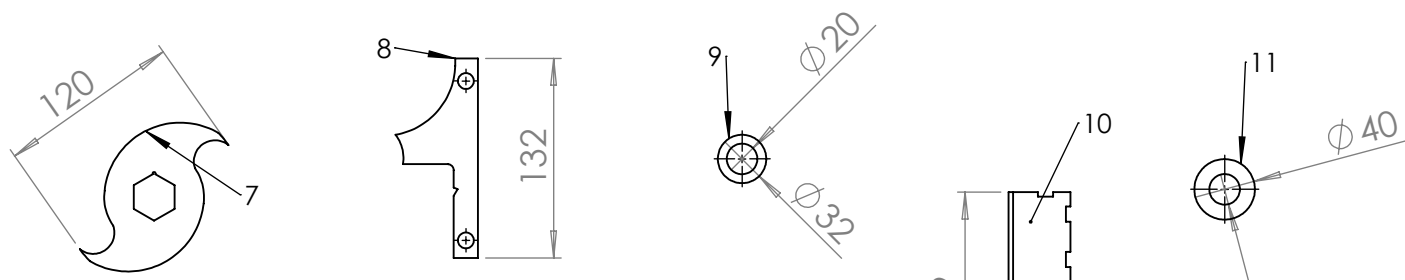
6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

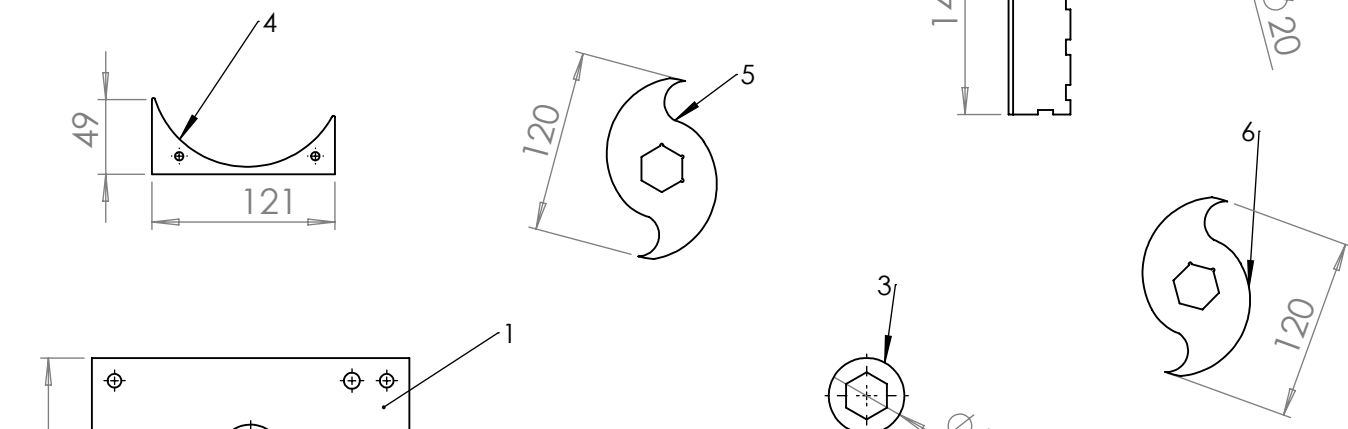
D



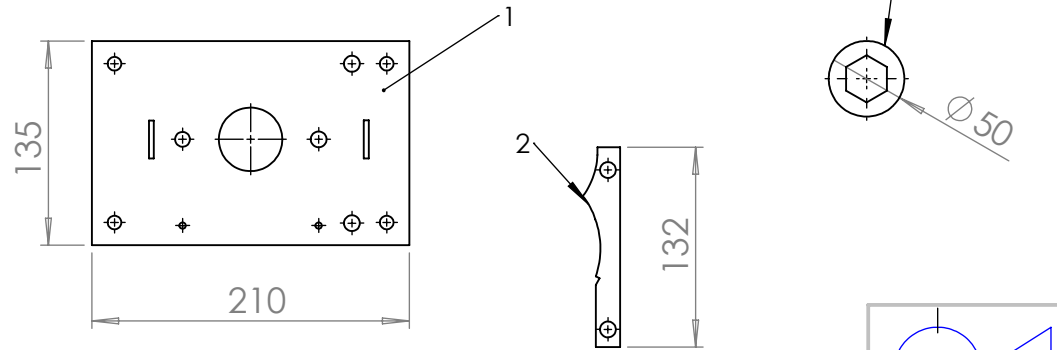
C



B



A



Item	Cantidad	Descripción
1	2	135x210x6
2	13	132x25x6
3	13	50x50x6
4	2	121x49x3
5	4	120x120x5
6	5	120x120x5
7	5	120x120x5
8	13	132x55x5
9	2	34x34x6
10	1	149x41x3
11	2	40x40x3
12	2	135x30x3
13	1	149x41x3
14	2	161x135x3
15	1	149x30x3
16	2	135x41x3
17	1	149x33x3

NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Piezas para corte en laser	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		ESCALA: 2:1	DIMENSIONES EN MM
			A4

6 5 4 3 2 1

D

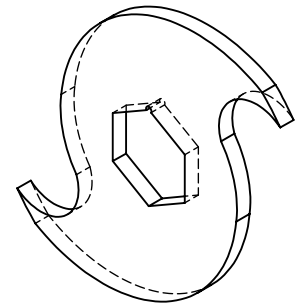
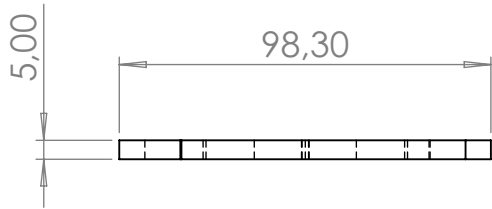
C

B

A

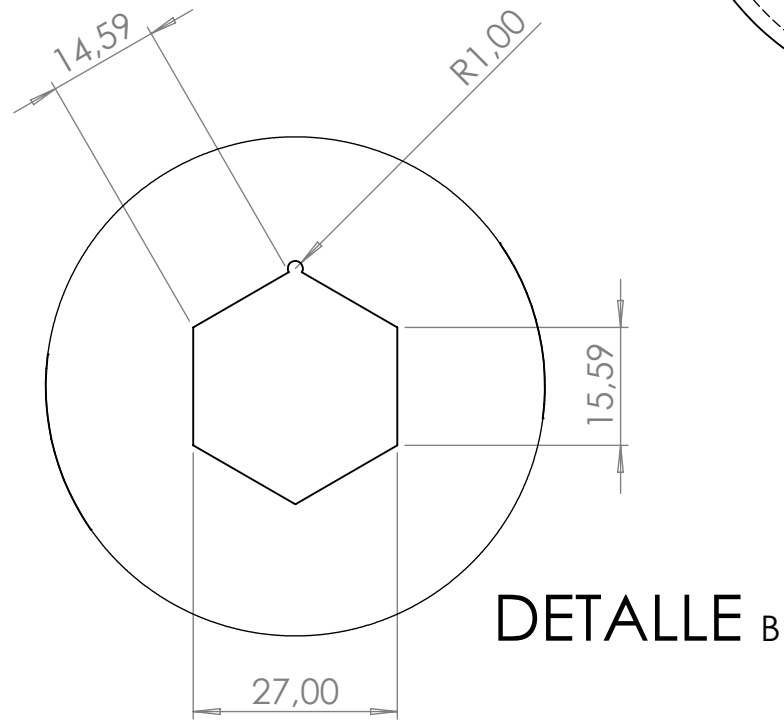
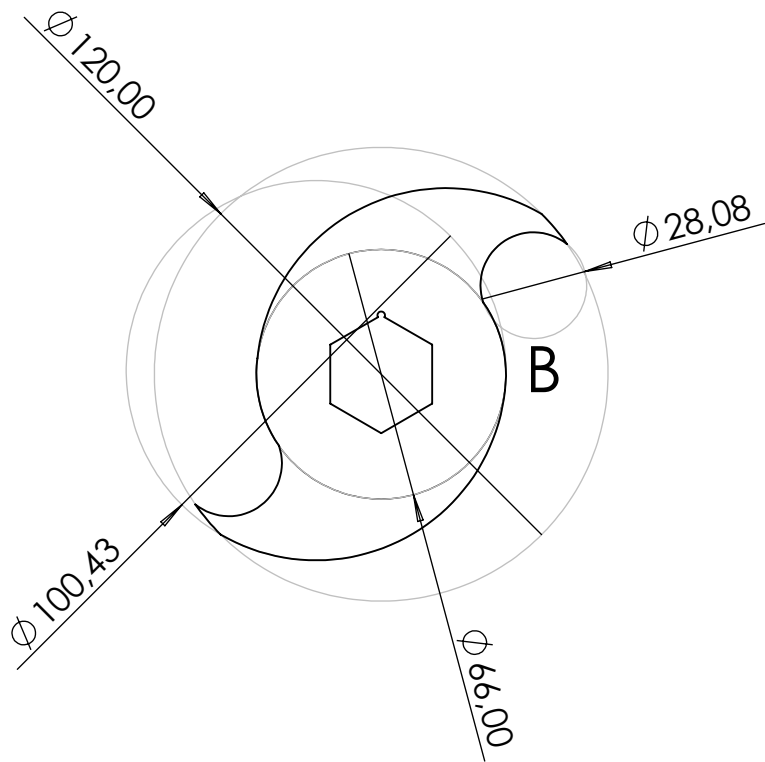
D

D



C

C

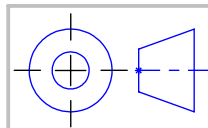


B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo	TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020	NOMBRE DEL DIBUJO: Hoja de cuchilla 1	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304	ESCALA: 1:1	A4
MASA: 187.42 gr	DIMENSIONES EN MM	

6

5

4

3

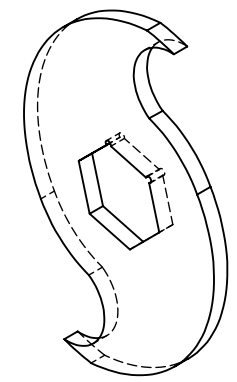
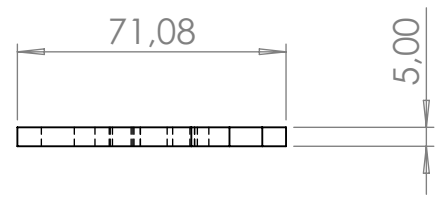
2

1

6 5 4 3 2 1

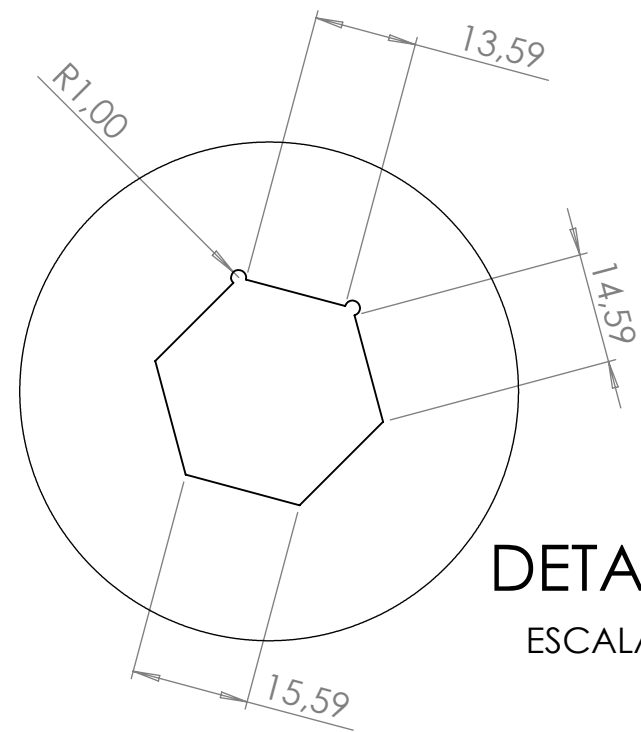
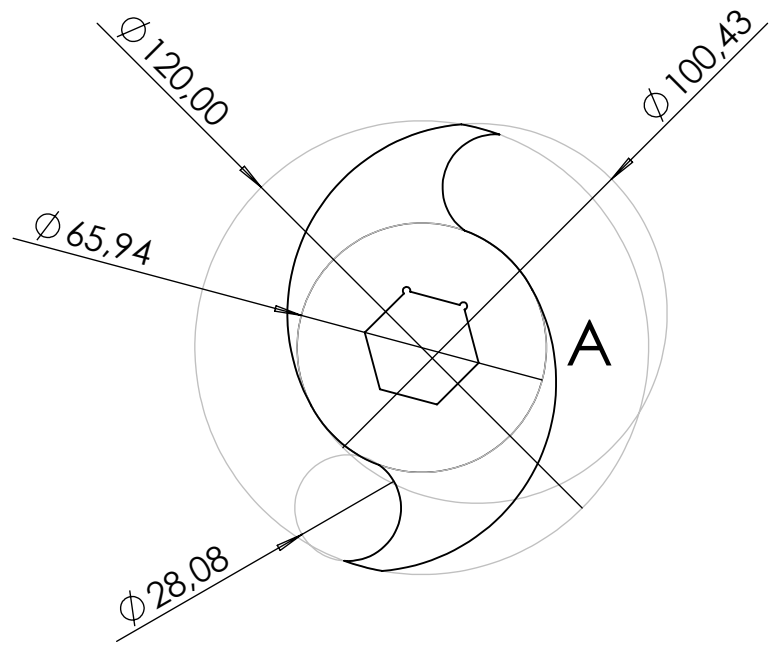
D

D



C

C



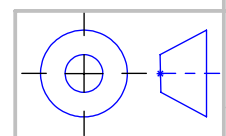
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

B

B

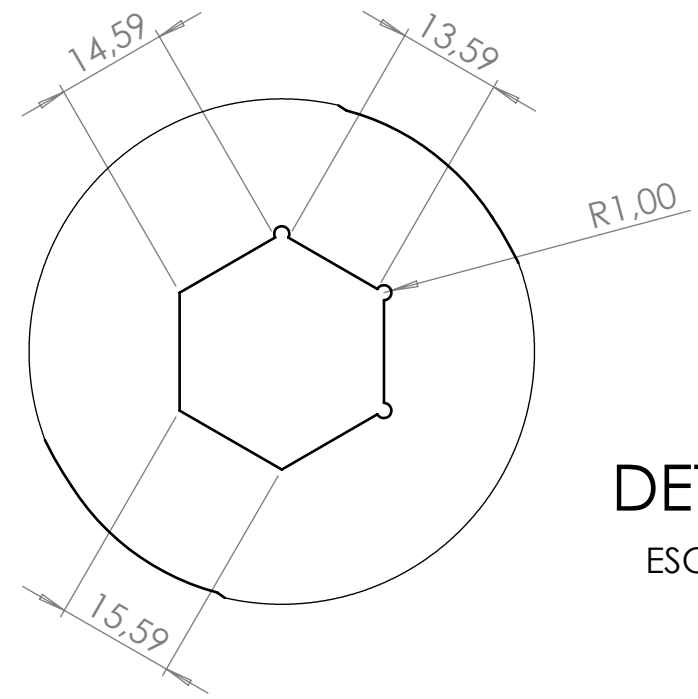
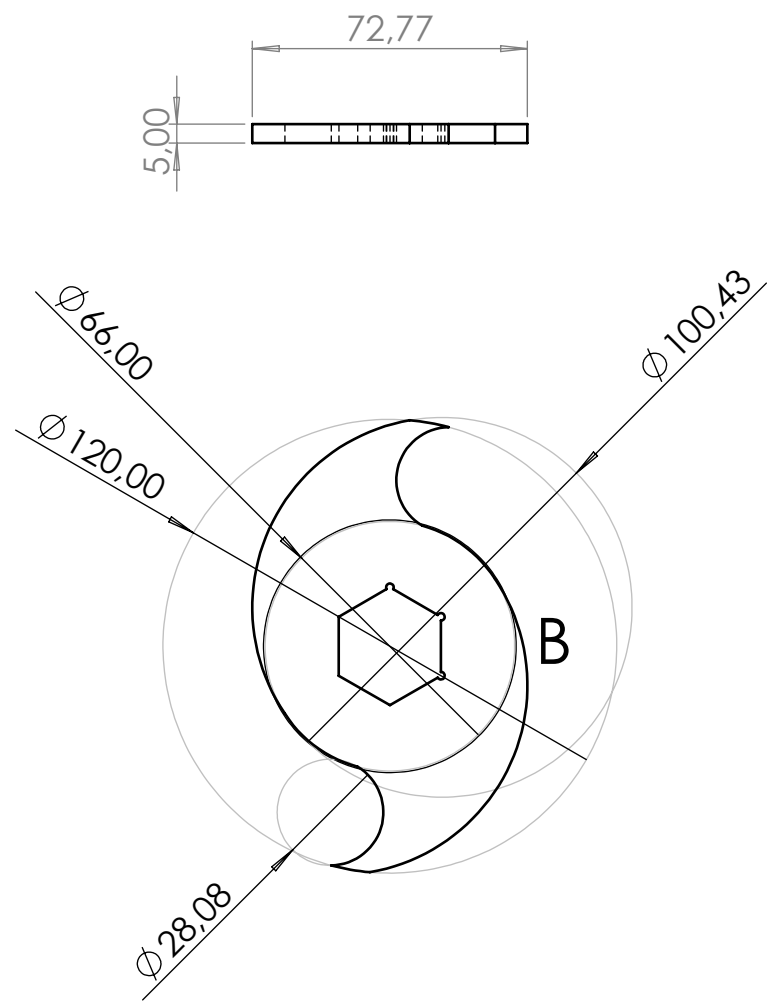
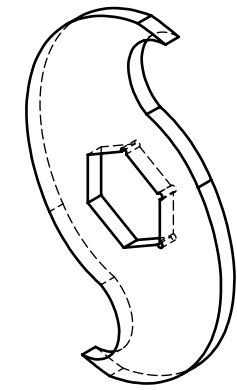
A

A

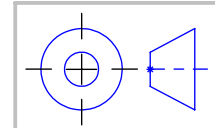


NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo	TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020	NOMBRE DEL DIBUJO: Hoja de cuchilla 2	
MATERIAL: Acero inoxidable AIS304	ESCALA: 1:2	A4
MASA: 187.34 gr	DIMENSIONES EN MM	

6 5 4 3 2 1



**DETALLE B**  
ESCALA 1 : 1



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Hoja de cuchilla 3	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		ESCALA: 1:2	A4
MASA: 187.26 gr.		DIMENSIONES EN MM	



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

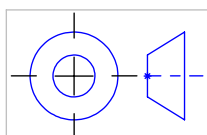
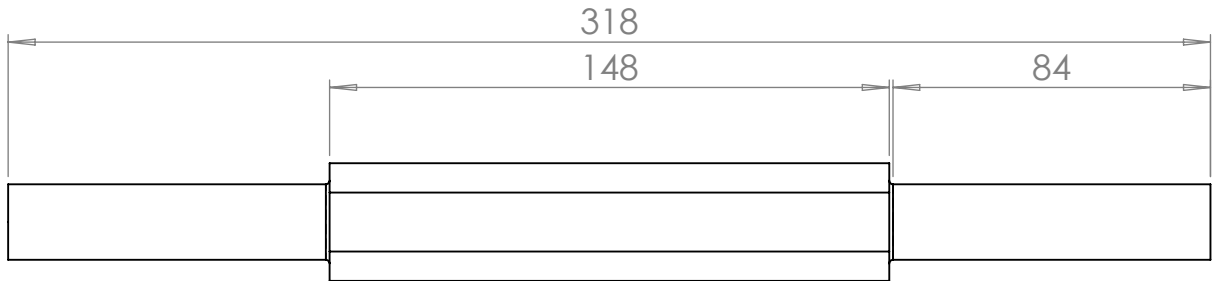
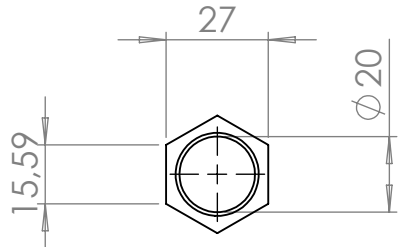
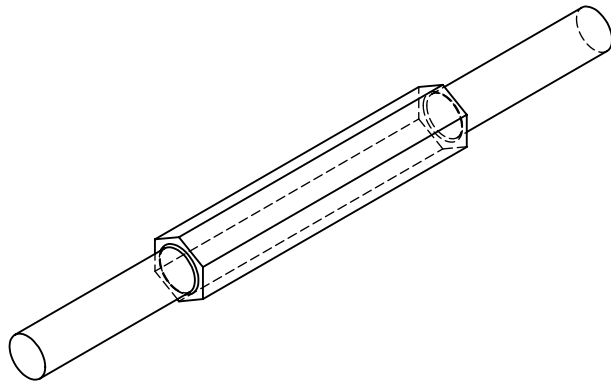
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frio  
 MASA: 1,16 Kg

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET  
 NOMBRE DEL DIBUJO: Barra hexagonal  
 ESCALA: 1:5  
 DIMENSIONES EN MM

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

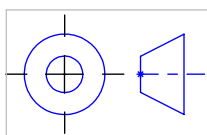
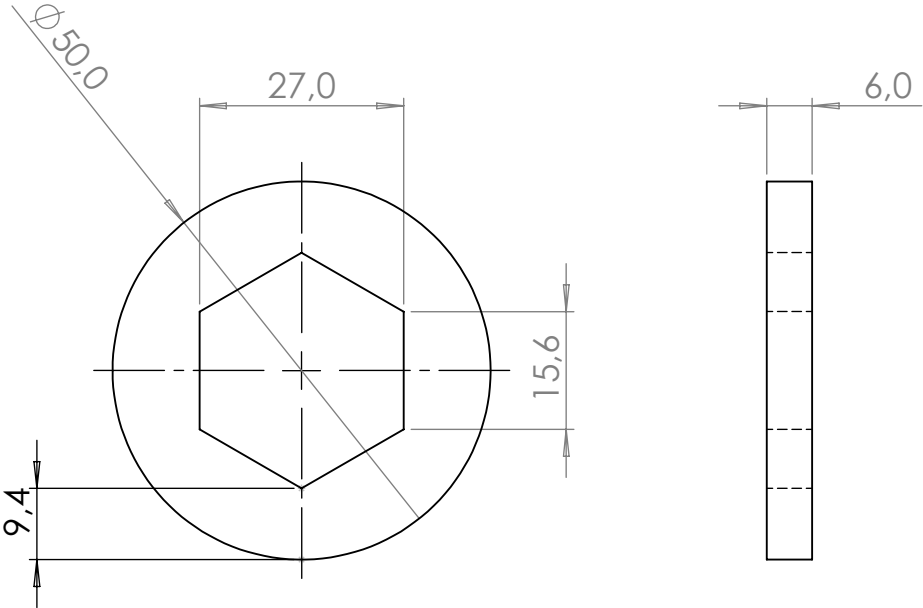
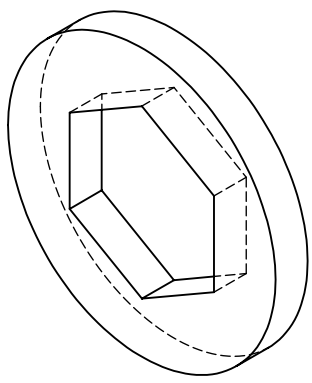
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Espaciador de cuchillas	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		A4	
MASA: 63.94 gr		ESCALA: 2:1	
		DIMENSIONES EN MM	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

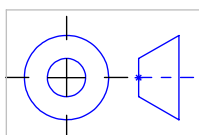
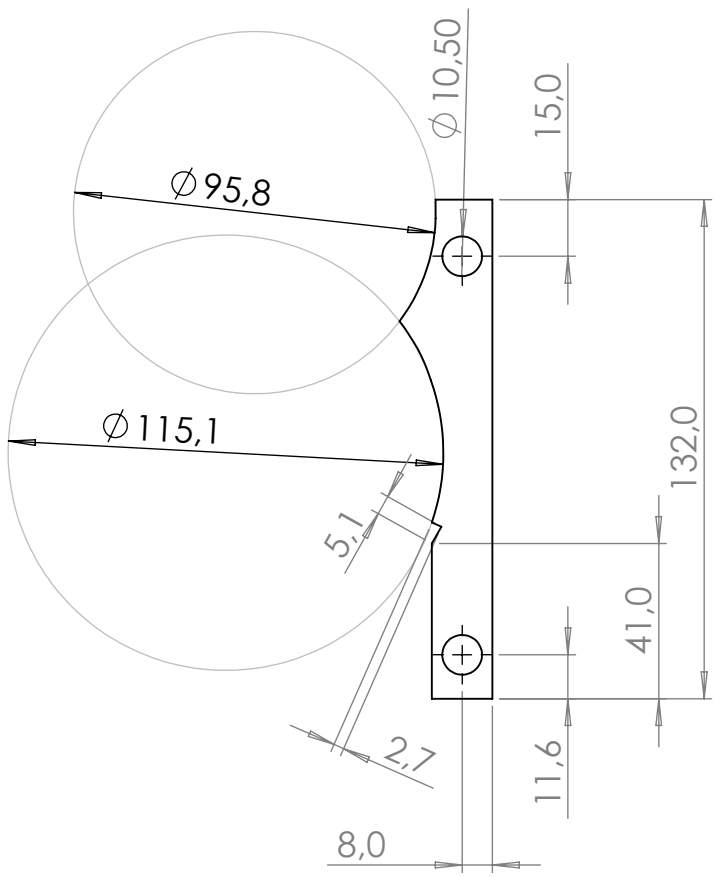
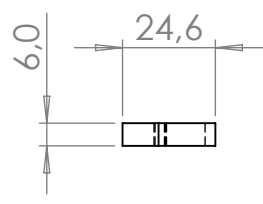
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Cuchilla fija pequeña	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		A4	
MASA: 94.93 gr		ESCALA: 1:1	
		DIMENSIONES EN MM	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

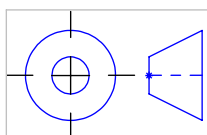
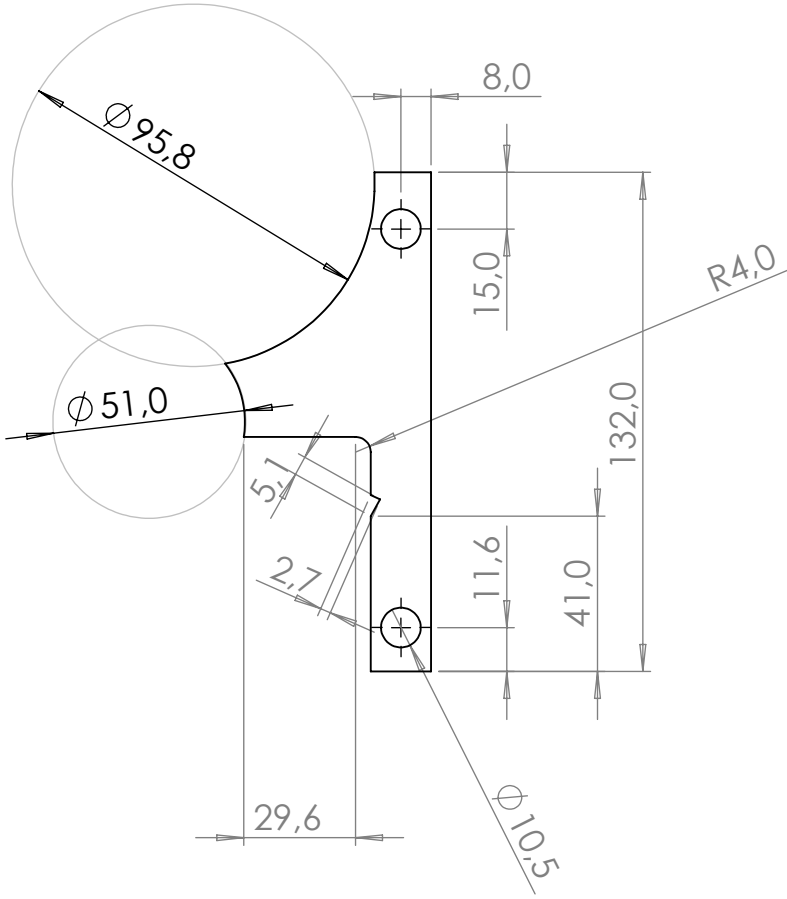
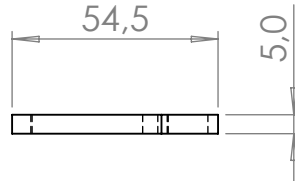
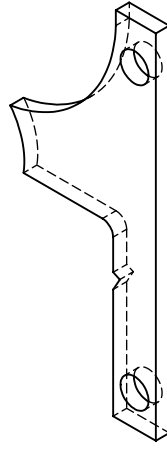
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo
FECHA: 25 / 04 / 2020
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304
MASA: 120.62 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET
NOMBRE DEL DIBUJO: Cuchilla fija grande
ESCALA: 1:1
DIMENSIONES EN MM

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

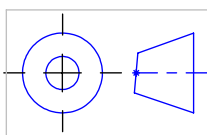
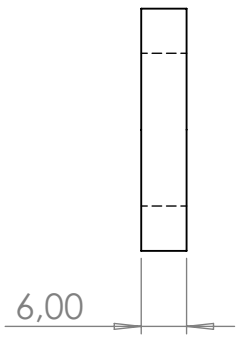
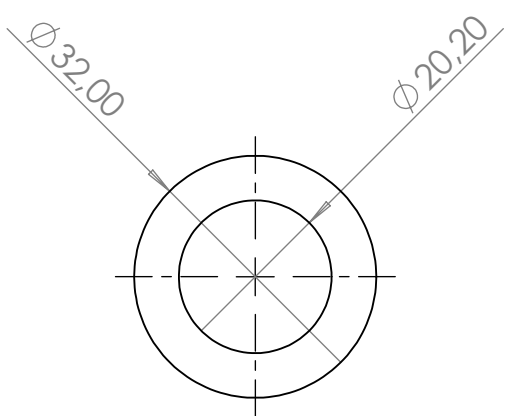
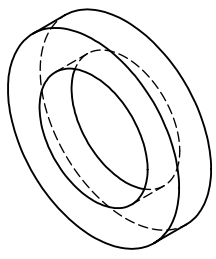
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo
FECHA: 25 / 04 / 2020
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304
MASA: 23.22 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
NOMBRE DEL DIBUJO: Espaciador de rodamiento	A4
ESCALA: 2:1	DIMENSIONES EN MM

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

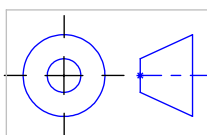
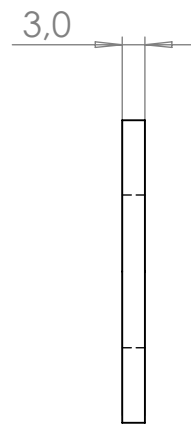
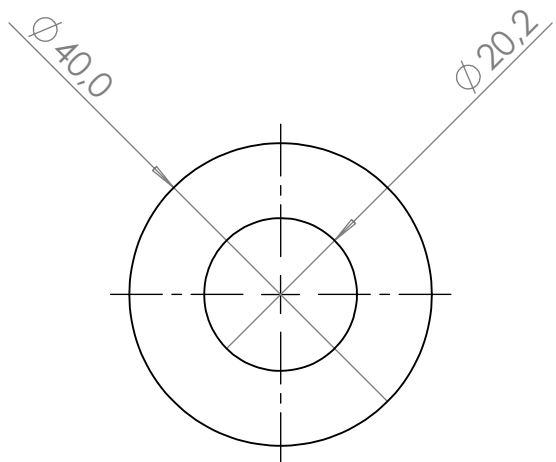
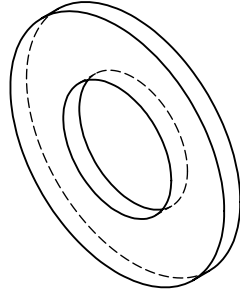
C

B

B

A

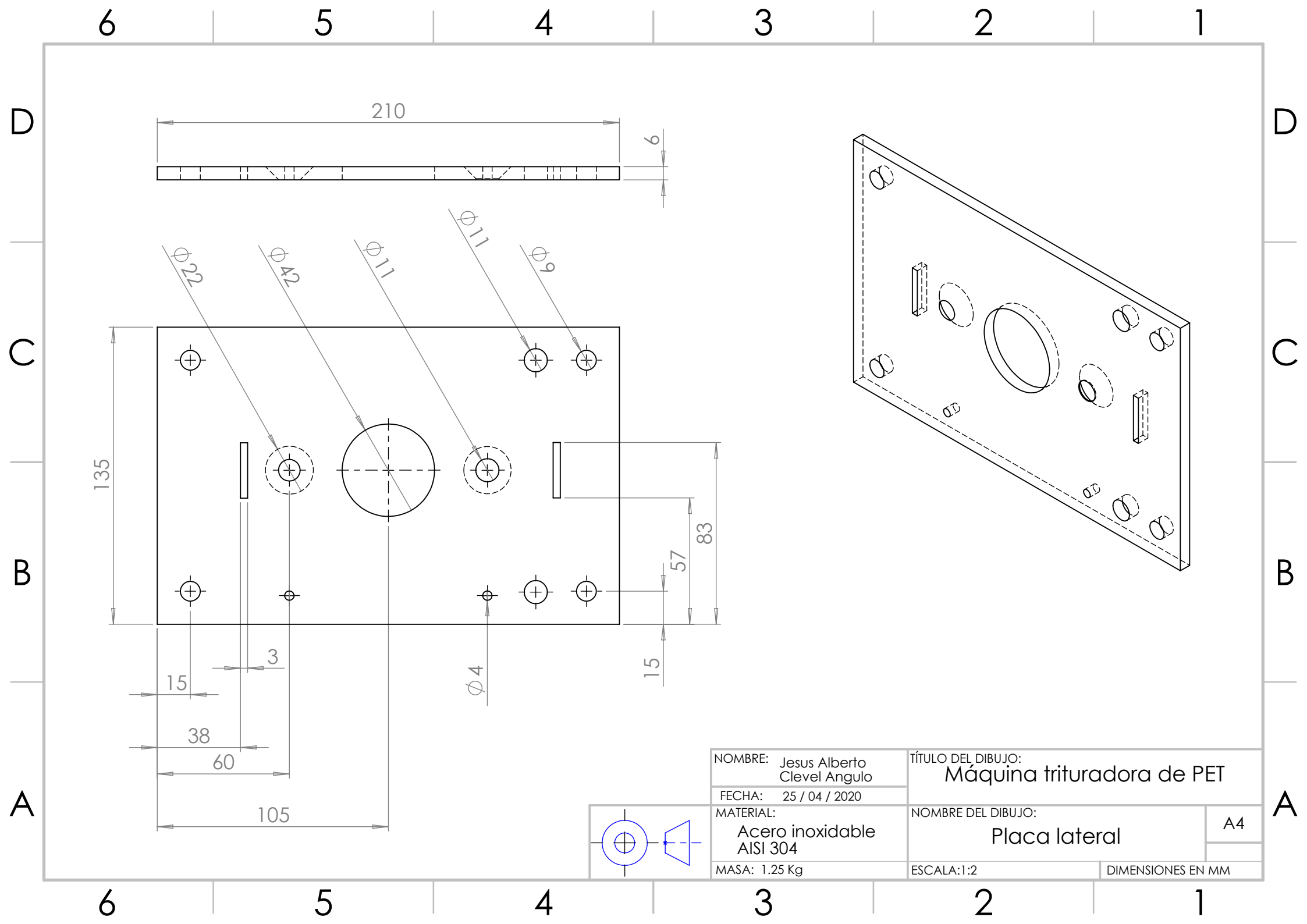
A



NOMBRE:	Jesus Alberto Clevel ANgulo
FECHA:	25 / 04 / 2020
MATERIAL:	Acero inoxidable AISI 304
MASA:	22.47 gr

TÍTULO DEL DIBUJO:	Máquina trituradora de PET	
NOMBRE DEL DIBUJO:	Espaciador de rodamiento	A4
ESCALA:	2:1	DIMENSIONES EN MM

4 3 2 1



6 5 4 3 2 1

D

D

C

C

B

B

A

A

210

6

Ø22

Ø42

Ø11

Ø11

Ø9

135

15

38

60

105

3

Ø4

15

57

83

NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo

FECHA: 25 / 04 / 2020

MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304

MASA: 1.25 Kg

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET

NOMBRE DEL DIBUJO: Placa lateral

ESCALA: 1:2

DIMENSIONES EN MM

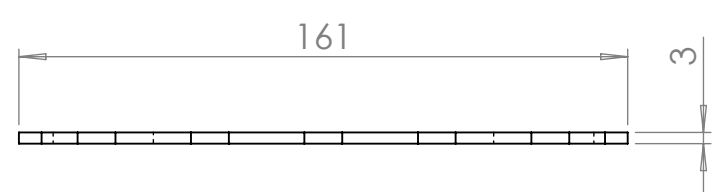
A4

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

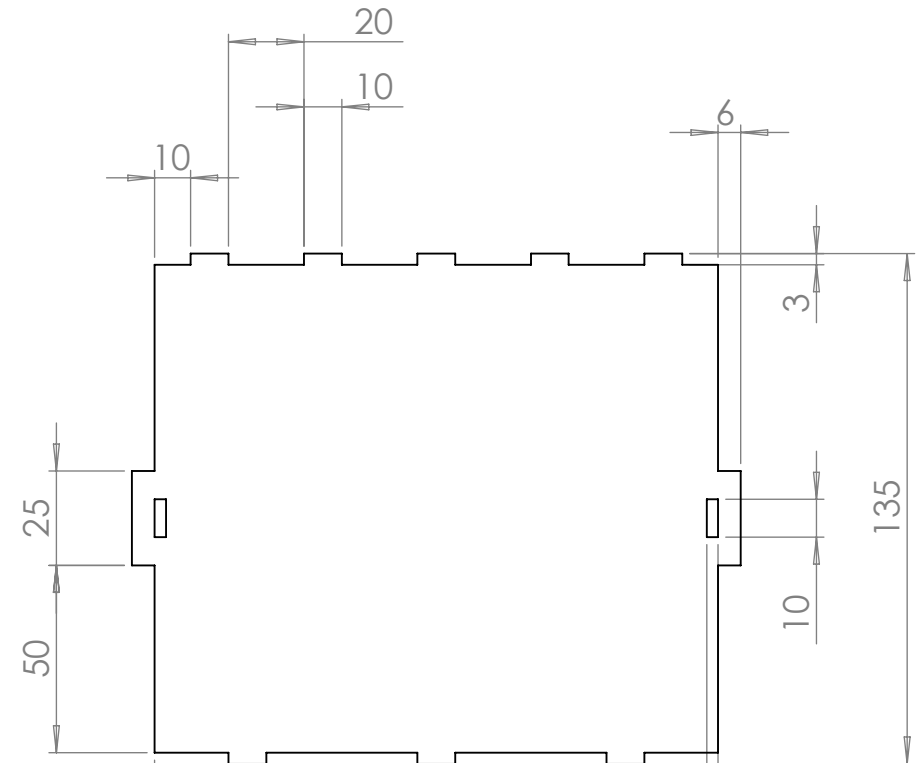
D

D



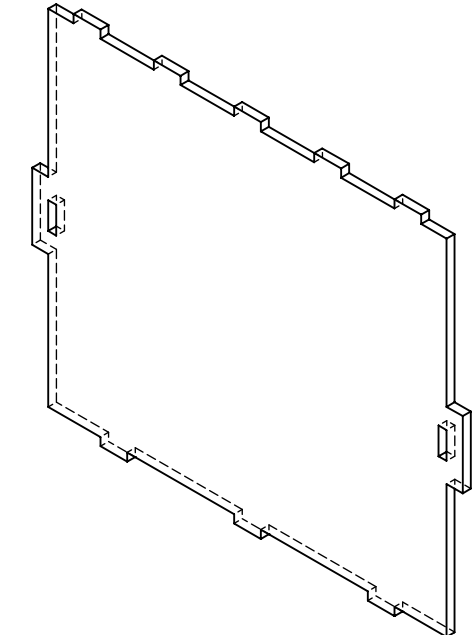
C

C



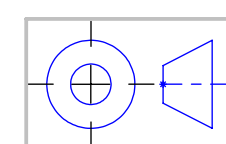
B

B



A

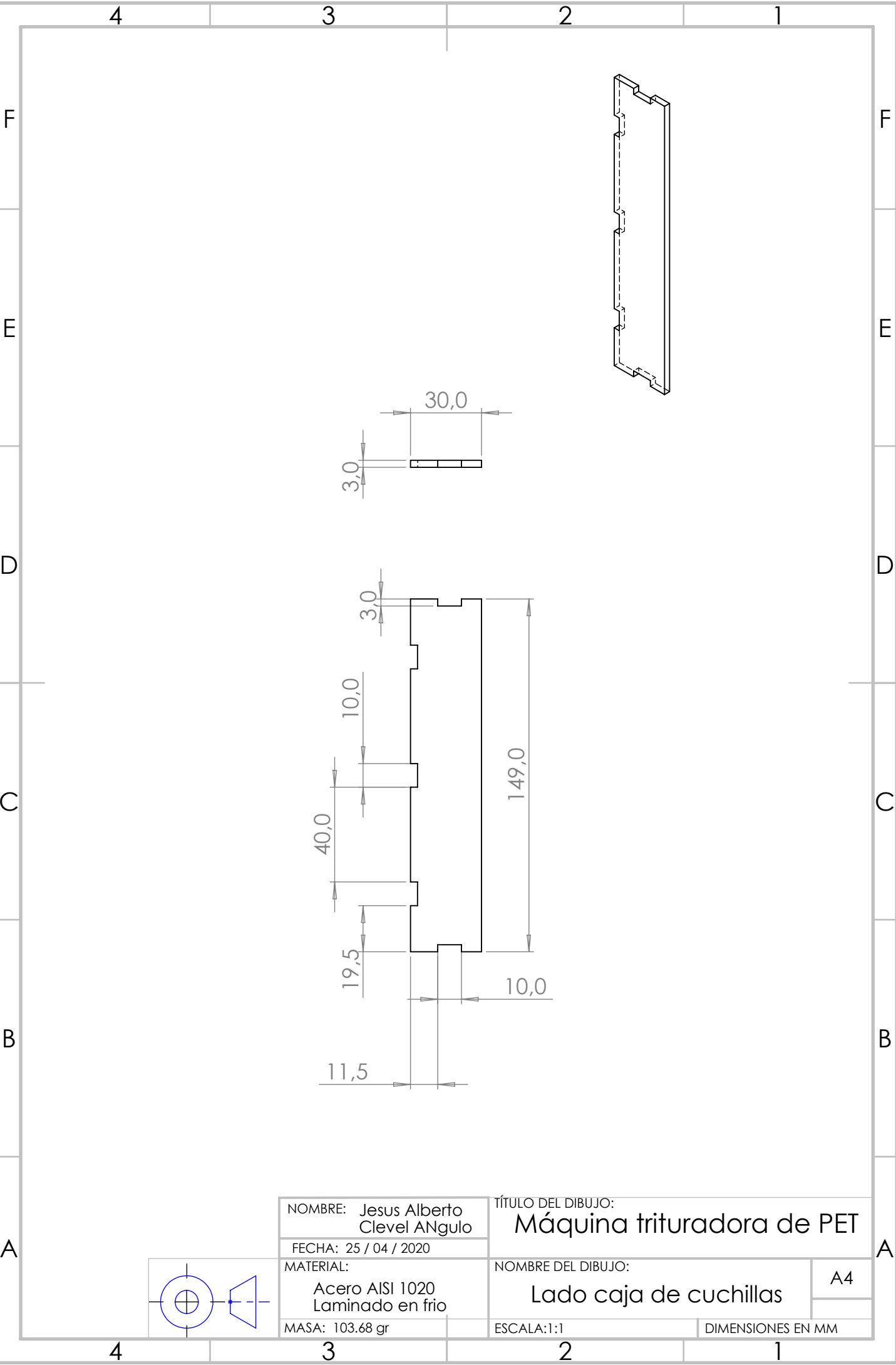
A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Placa lateral 1	
MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304		A4	
MASA: 472.82 gr		ESCALA: 1:2	
		DIMENSIONES EN MM	

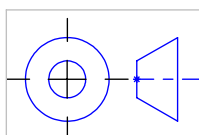
6 5 4 3 2 1





NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo
FECHA: 25 / 04 / 2020
MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frio
MASA: 103.68 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: <b>Máquina trituradora de PET</b>	
NOMBRE DEL DIBUJO: <b>Lado caja de cuchillas</b>	A4
ESCALA: 1:1	DIMENSIONES EN MM





4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

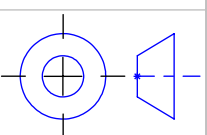
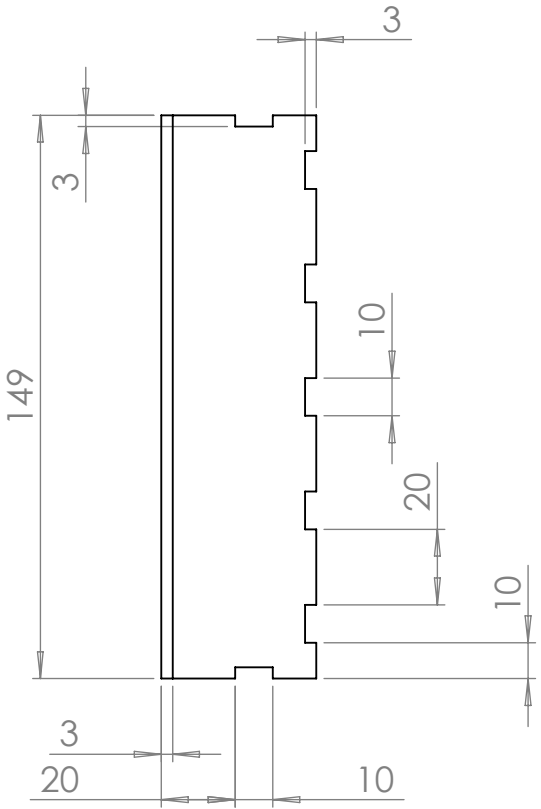
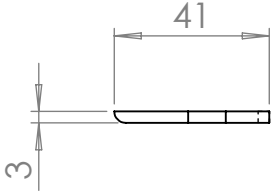
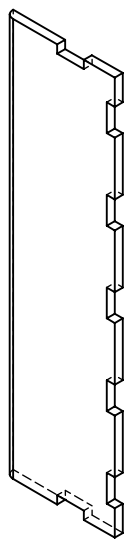
C

B

B

A

A

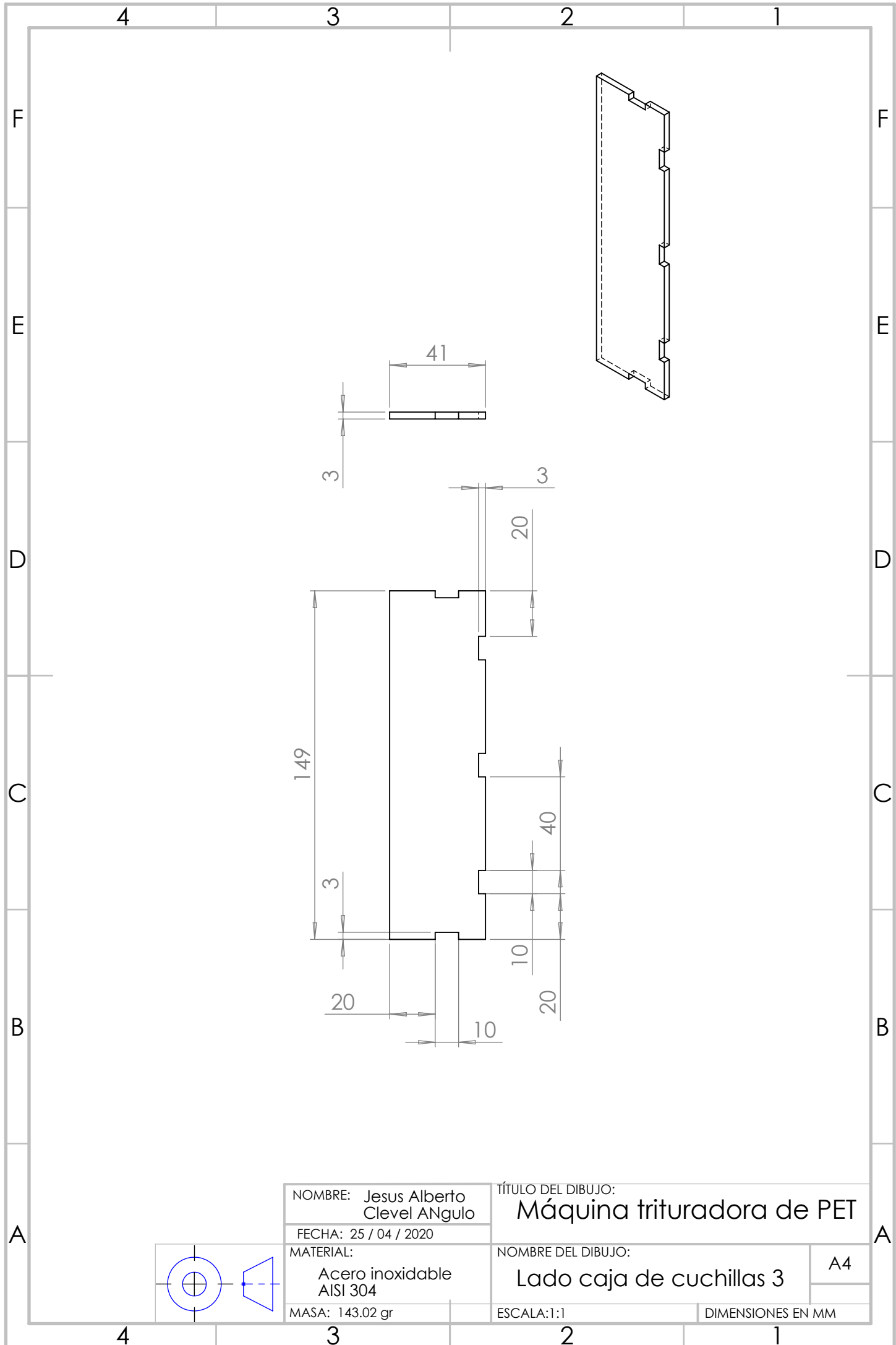


NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304  
 MASA: 139.27 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET  
 NOMBRE DEL DIBUJO: Lado caja de cuchillas 2  
 ESCALA: 1:1  
 DIMENSIONES EN MM

A4

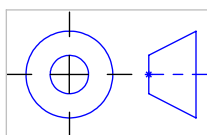
4 3 2 1



NOMBRE: Jesus Alberto  
 Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL:  
 Acero inoxidable  
 AISI 304  
 MASA: 143.02 gr

TÍTULO DEL DIBUJO:  
**Máquina trituradora de PET**  
 NOMBRE DEL DIBUJO:  
**Lado caja de cuchillas 3**  
 ESCALA: 1:1  
 DIMENSIONES EN MM

A4



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

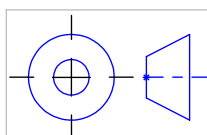
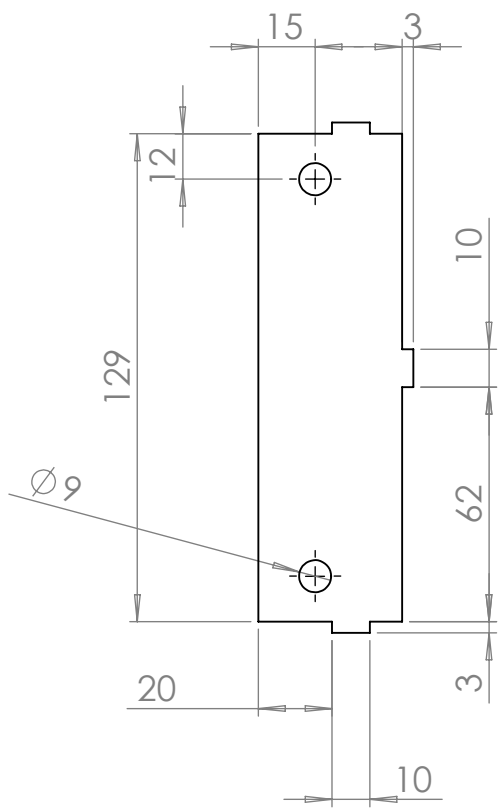
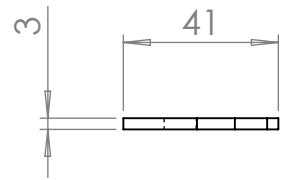
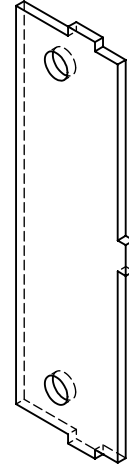
C

B

B

A

A

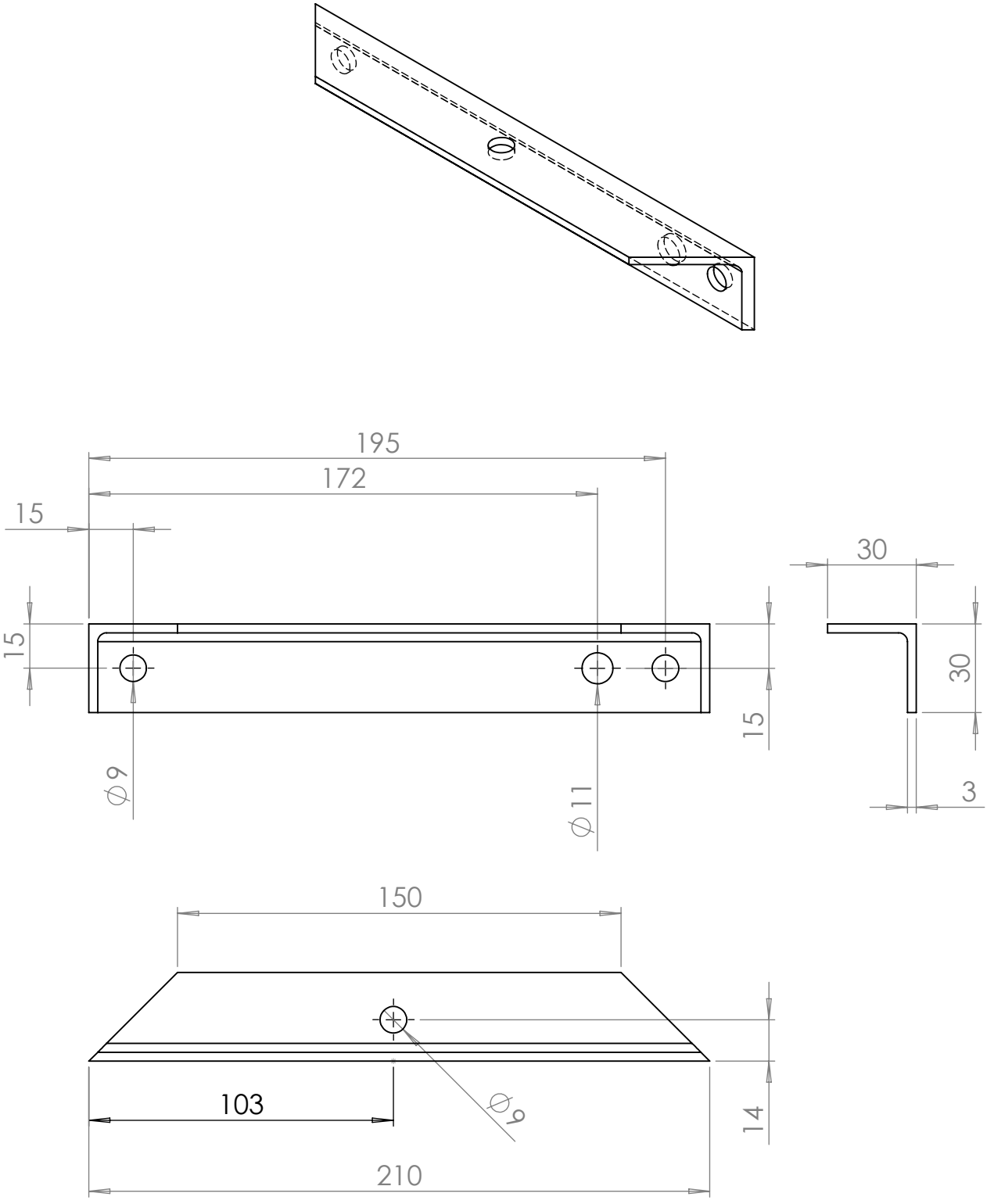


NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL: Acero inoxidable AISI 304  
 MASA: 117.08 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET  
 NOMBRE DEL DIBUJO: Lado caja de cuchillas 4  
 ESCALA: 1:1  
 DIMENSIONES EN MM

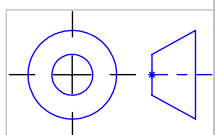
A4

4 3 2 1



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frio  
 MASA: 255.98 gr

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET  
 NOMBRE DEL DIBUJO: Soporte superior caja de cuchillas  
 ESCALA: 1:5  
 DIMENSIONES EN MM



A4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

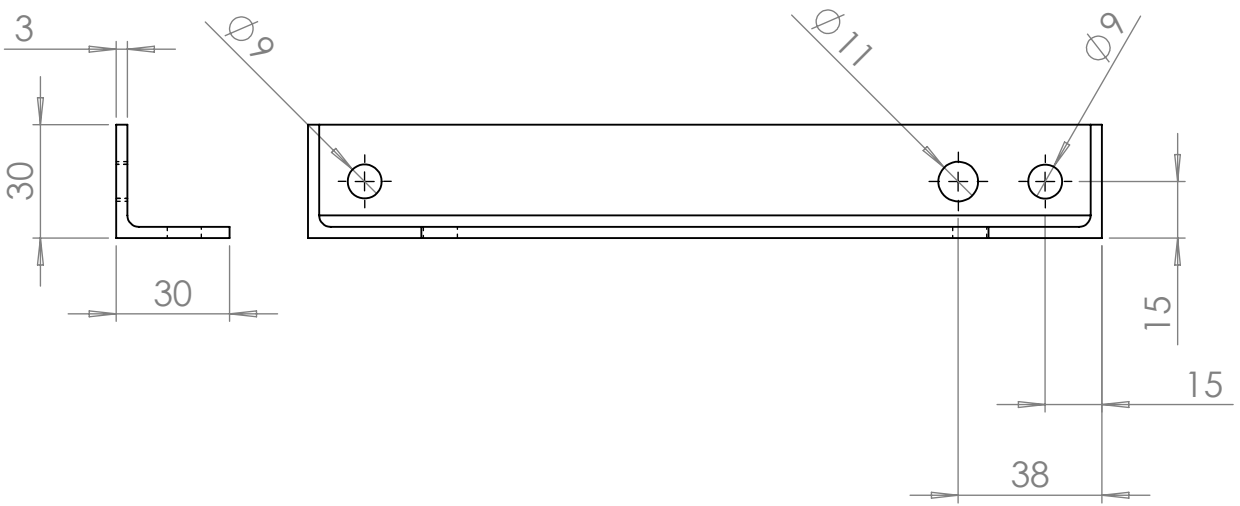
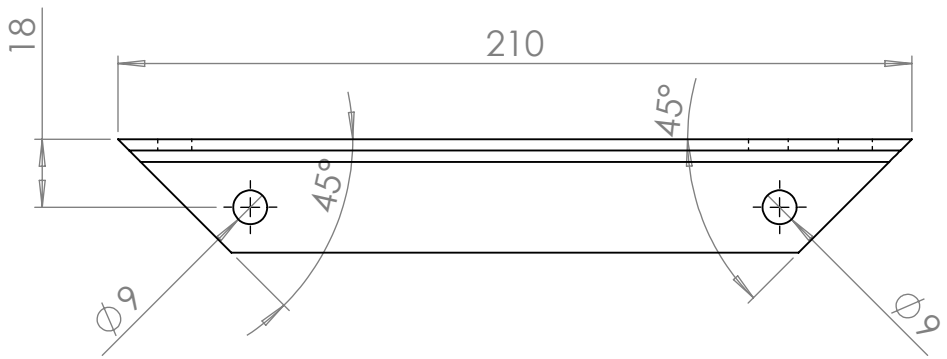
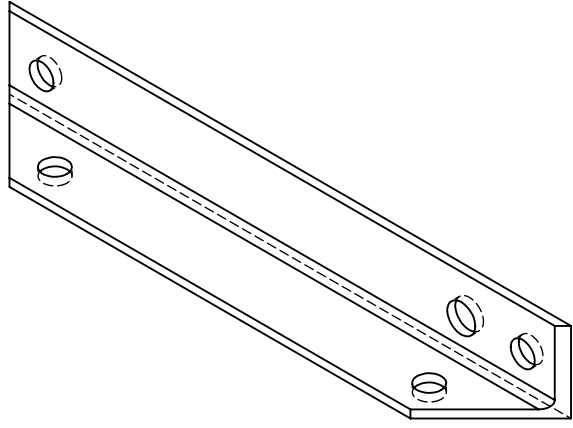
C

B

B

A

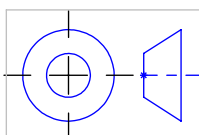
A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo  
 FECHA: 25 / 04 / 2020  
 MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frio  
 MASA: 1,16 Kg

TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET  
 NOMBRE DEL DIBUJO: Soporte Inferior caja de cuchillas  
 ESCALA: 1:5  
 DIMENSIONES EN MM

A4



4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

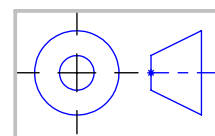
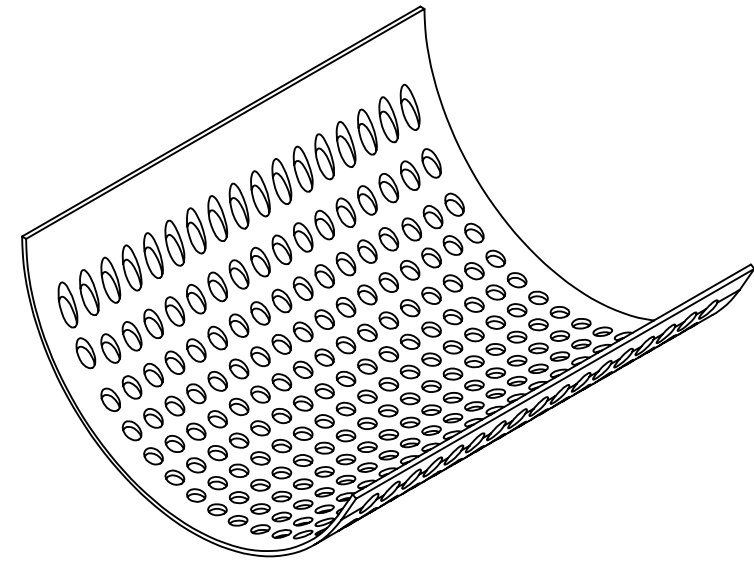
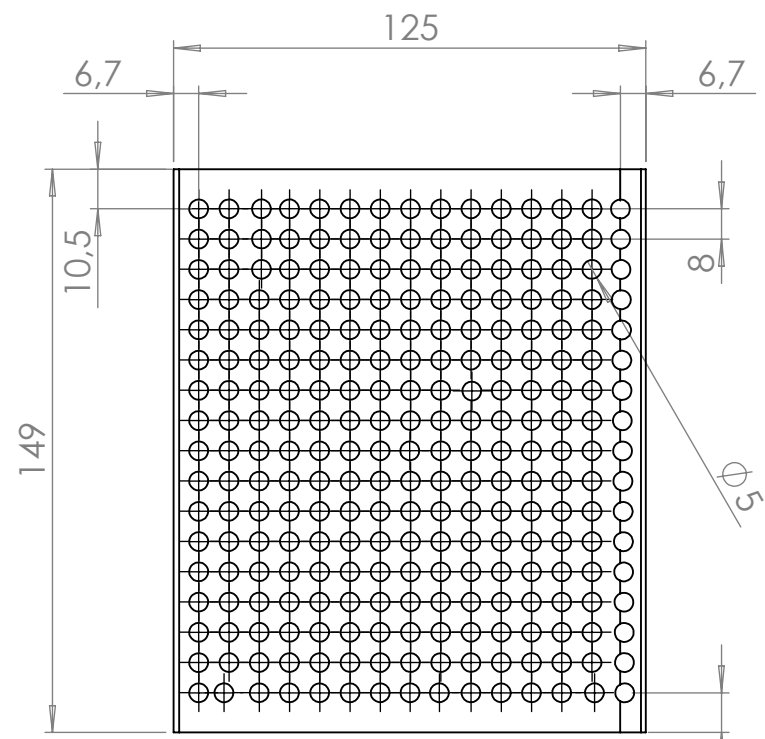
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Criba de trituradora	
MATERIAL: Acero AISI 304		A4	
MASA: 237.2 gr		ESCALA: 1:5	
		DIMENSIONES EN MM	

6 5 4 3 2 1



4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

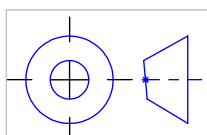
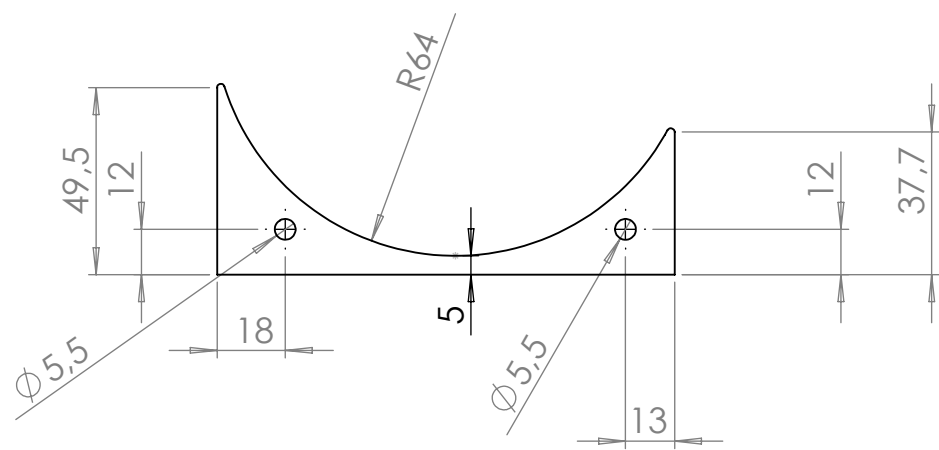
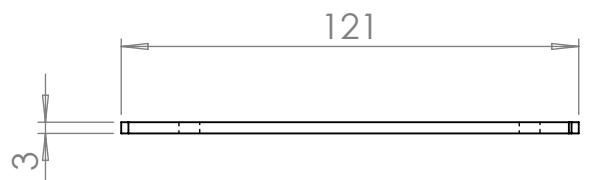
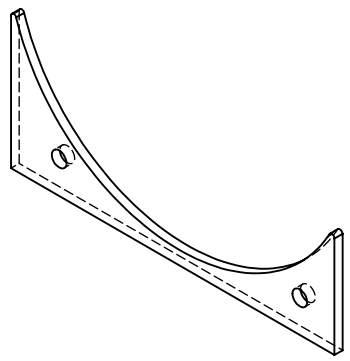
C

B

B

A

A



NOMBRE:	Jesus Alberto Clevel ANgulo
FECHA:	25 / 04 / 2020
MATERIAL:	Acero inoxidable AISI 304
MASA:	47.41 gr

TÍTULO DEL DIBUJO:	Máquina trituradora de PET
NOMBRE DEL DIBUJO:	Soporte criba
ESCALA:	1:2
DIMENSIONES EN MM	

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

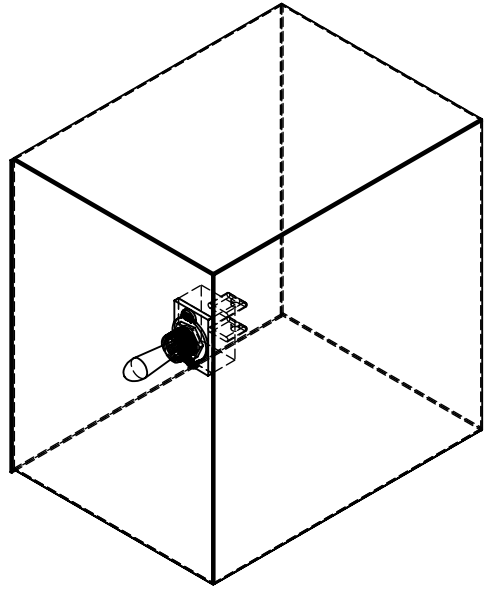
C

B

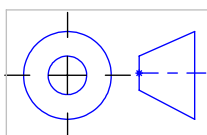
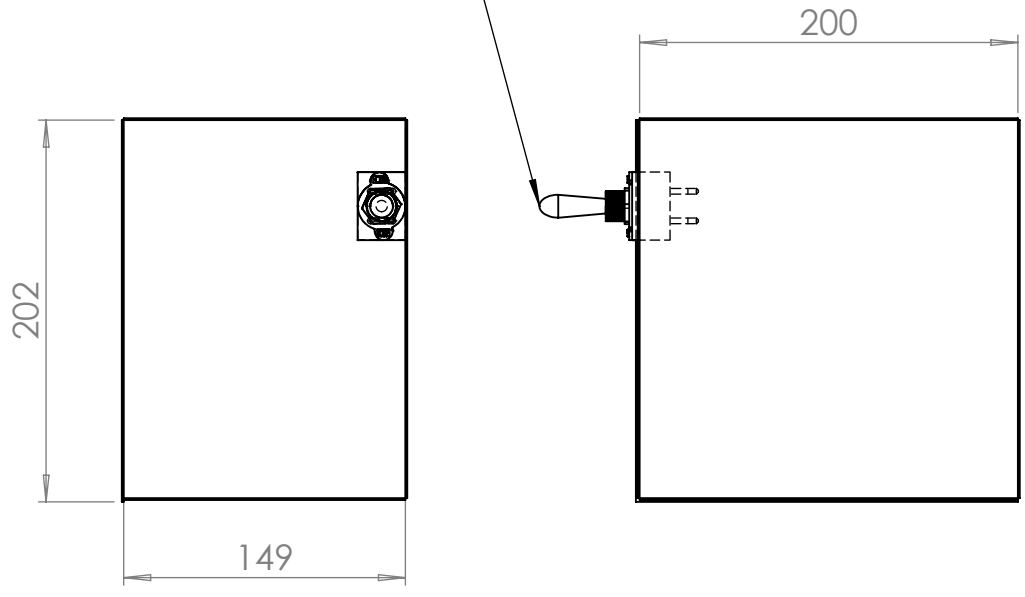
B

A

A



INTERRUPTOR ELÉCTRICO



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel ANgulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Máquina trituradora de PET	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Caja de electrónicos	
MATERIAL: Madera		ESCALA: 1:5	A4
MASA: 56.38 gr		DIMENSIONES EN MM	

4 3 2 1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

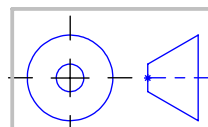
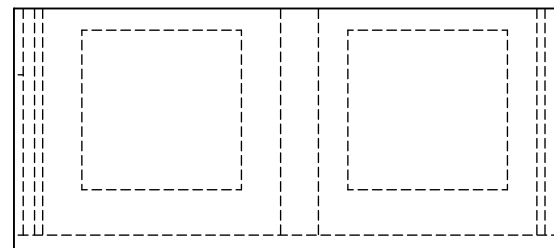
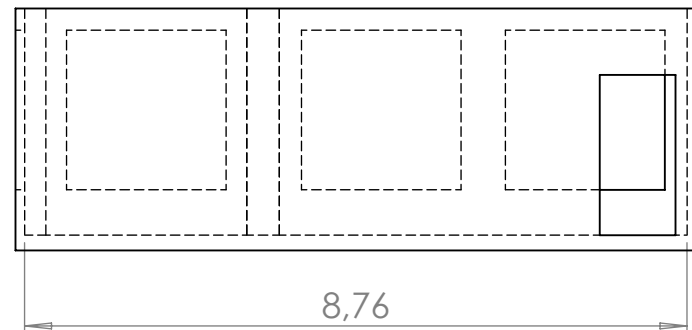
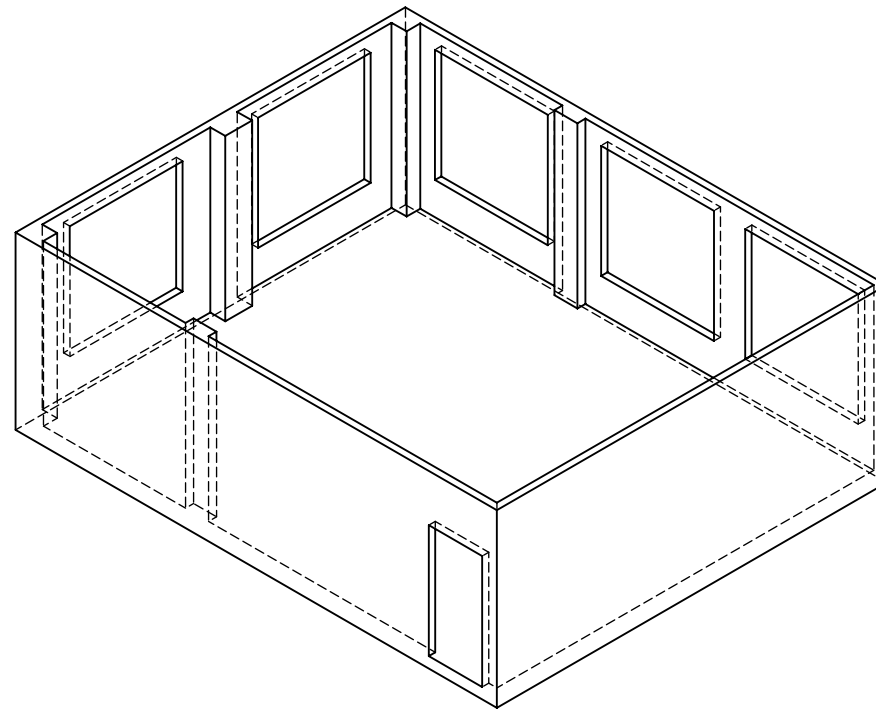
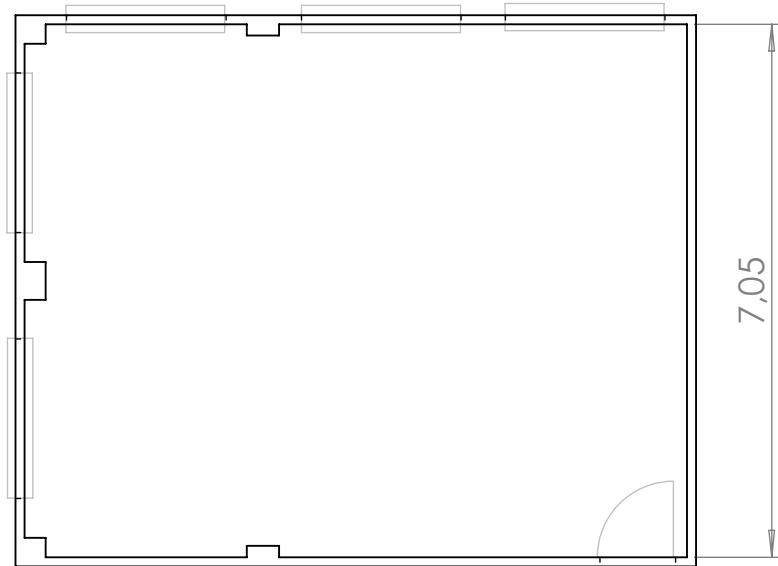
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Laboratorio ingeniería LAB3i	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Plano de LAB3i	
MATERIAL: Multi-material		A4	
ÁREA: 61.76 M2		ESCALA: 1:100	
		DIMENSIONES EN M	

6

5

4

3

2

1

6

5

4

3

2

1

D

D

C

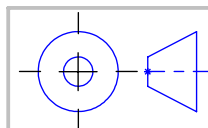
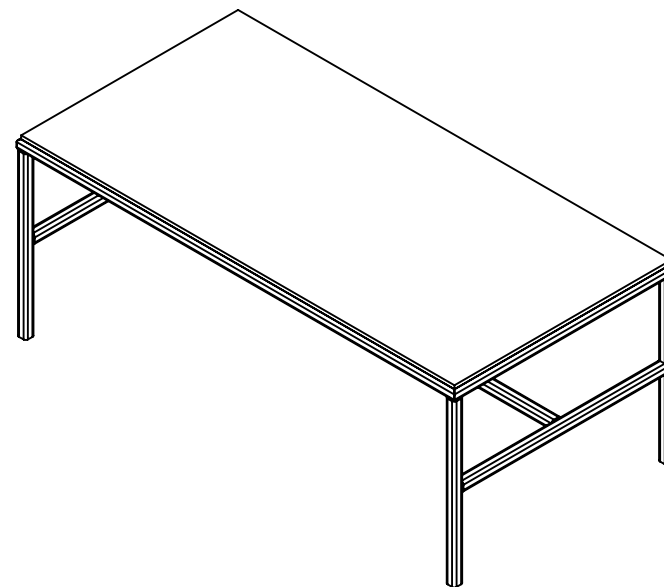
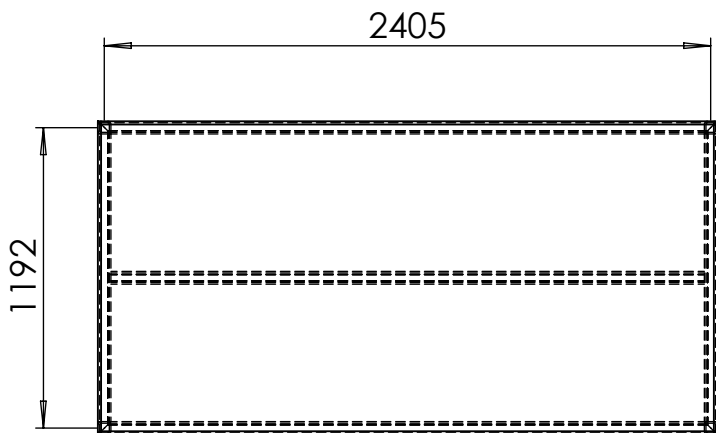
C

B

B

A

A



NOMBRE: Jesus Alberto Clevel Angulo		TÍTULO DEL DIBUJO: Elementos del LAB3i	
FECHA: 25 / 04 / 2020		NOMBRE DEL DIBUJO: Mesa de trabajo del LAB3i	
MATERIAL: Acero AISI 1020 Laminado en frío		A4	
ESCALA: 1:50		DIMENSIONES EN MM	

6

5

4

3

2

1