

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño y Construcción de una máquina de troceado para  
residuos lignocelulósicos

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Anthony Guillermo Guato Vélez

John Isaac Pinos Arriaga

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

### **John Isaac Pinos Arriaga**

A Dios, por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, Carlos Pinos y Teresa Arriaga, por ser el pilar más importante en mi vida, por todo el apoyo incondicional que me han brindado y por la confianza que tuvieron en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles. A mi futura esposa, Michelle Moreno, ya que sin su compañía mi vida no sería la misma, por apoyarme y aconsejarme en cada decisión.

### **Anthony Guillermo Guato Vélez**

A Dios por ser mi fortaleza, mi guía en este hermoso trayecto universitario. A mis padres Guillermo y Linner, por su esfuerzo y apoyo en todo tiempo, por ser el motor de mi vida, y por inculcar ejemplos que sirvieron para superarme constantemente. A mis hermanas Dayanna y Nicole por su ayuda, y a toda mi familia por sus oraciones y palabras de aliento.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **John Isaac Pinos Arriaga**

A Dios, por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida. A mis padres, quien por ellos soy lo que soy, por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado. A mi familia, mis hermanos, mi abuelito y mi tío, que supieron llenar mi vida de aptitud y fortaleza, siempre respaldándome para seguir adelante. A mis tutores, Dr Juan Peralta y Msc. Andrea Boero, por su ayuda brindada para culminar de la mejor manera esta etapa.

### **Anthony Guillermo Guato Vélez**

Agradezco a Dios porque me ha permitido culminar mis estudios, por sus infinitas bendiciones. A mis padres por ser ese apoyo incondicional, por sus consejos y por siempre haber creído en mí. A mis familiares por sus mensajes de aliento y su respaldo. A mis compañeros de universidad por haberme acompañado durante esta etapa. A mis tutores por la guía y ayuda para la realización del proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; John Isaac Pinos Arriaga y Anthony Guillermo Guato Vélez damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Anthony Guillermo Guato Vélez

  
John Isaac Pinos Arriaga

## **EVALUADORES**

**Msc. Andrea Jael Boero Vera**

PROFESOR DE LA MATERIA

**Dr. Juan Manuel Peralta Jaramillo**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño y construcción de una máquina troceadora de residuos lignocelulósicos a escala laboratorio, para el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS), con el fin de impulsar las actividades de investigación en el campo de residuos biomásicos y su valorización energética. Actualmente, el CDTS realiza el proceso de troceado de manera manual. El desarrollo del prototipo beneficiará a los investigadores para poder realizar el proceso en menor tiempo, facilitando el transporte de la biomasa y sobre todo el máximo aprovechamiento de ésta para fines de impulsar el desarrollo de tecnologías sostenibles.

El proyecto se desarrolló en base al proceso de diseño, además se hizo uso de la normativa UNE – EN ISO 17225-9, referente a las especificaciones de los biocombustibles triturados, y también se realizó los respectivos cálculos para la selección de ciertos elementos. Aparte es importante mencionar que, para la construcción del prototipo, se contó con ciertos elementos mecánicos y materiales que fueron provistos por el CDTS. El prototipo consiste en una caja de troceado como mecanismo principal que contiene dos ejes cuadrados de AISI 4340/705, 17 discos de cuchillas y 17 separadores de cuchillas de acero A36.

En cuanto a los resultados, se puede mencionar que se verificó mediante los cálculos realizados que los elementos provistos por el CDTS cumplieron con las especificaciones para la respectiva construcción de la máquina, también es importante recalcar la obtención de trozos de biomasa de 10 a 15 cm en el proceso de troceado, teniendo una reducción del volumen de la biomasa. En conclusión, el prototipo construido cumple funcionamiento solicitado y los requerimientos iniciales, además se adjunta el manual de funcionamiento y mantenimiento para su respectivo uso.

**Palabras Clave:** residuos lignocelulósicos, troceadora, valorización energética, biomasa.

## ***ABSTRACT***

In this project the design and construction of a lignocellulosic waste chopping machine is carried out, with the objective of the Center for Sustainable Technological Development (CDTS) to work with this type of waste for the energy recovery process, because the residual biomass is a potential energy source, The CDTS also performs the process manually, so the construction of the machine benefits to have an efficient process, in less time, facilitate the transport of biomass and above all the maximum use of biomass for the purpose of promoting the development of sustainable technologies.

The project was developed based on the design process, in addition to the use of the UNE - EN ISO 17225-9 standard, referring to the specifications of crushed biofuels, and the respective calculations were also made for the selection of certain elements. It is also important to mention that, for the construction of the prototype, certain mechanical elements and materials were provided by the CDTS. The prototype consists of a chopping box as the main mechanism containing two AISI 4340/705 square shafts, 17 blade discs and 17 blade separators made of A36 steel.

As for the results, it can be mentioned that it was verified through the calculations that the elements provided by CDTS complied with the specifications for the respective construction of the machine, it is also important to emphasize the obtaining of biomass pieces of 10 to 15 cm in the chopping process, having a reduction in the volume of biomass. In conclusion, the constructed prototype complies with the requested operation and the initial requirements, and the operation and maintenance manual is attached for its respective use.

**Keywords:** lignocellulosic waste, shredder, energy recovery, biomass.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE PLANOS .....	X
CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 Marco teórico .....	2
1.4.1 Materia prima .....	3
1.4.1.1 Biomasa.....	3
1.4.1.2 Tipo de Biomasa.....	3
.....	3
1.4.1.3 Característica energética de la biomasa.....	5
1.4.1.4 Aplicación de la bioenergía.....	6
1.4.2 Reducción mecánica de sólidos.....	7
1.4.2.1 Tamaño de proceso de reducción .....	8
1.4.3 Troceadora.....	8

1.4.3.1	Troceadora de rodillo .....	9
1.4.3.2	Troceadora con disco de cuchilla .....	9
1.4.3.3	Troceadora de mandíbula.....	10
CAPÍTULO 2	.....	12
2.	METODOLOGÍA .....	12
2.1	Diseño Conceptual .....	13
2.1.1	Requerimiento del diseño.....	13
2.1.2	Factores de influencia .....	13
2.1.3	Alternativa de solución .....	14
2.1.3.1	Alternativa # 1: Troceadora de rodillo liso.....	15
2.1.3.2	Alternativa # 2: Troceadora de mandíbula .....	16
2.1.3.3	Alternativa # 3: Troceadora de cuchillas .....	17
2.1.4	Criterio de Diseño.....	18
2.1.5	Matriz de decisión .....	19
2.1.6	Diseño de forma .....	19
2.1.7	Diseño detallado .....	20
2.1.7.1	Diseño de las cuchillas .....	20
2.1.7.2	Diseño de separador .....	22
2.1.7.3	Diseño de ejes.....	22
2.1.7.4	Selección de rodamiento .....	24
2.1.7.5	Diseño de motor .....	25
2.1.7.6	Selección de bandas y poleas .....	25
2.1.7.7	Diseño de los engranajes .....	26
2.1.8	Elaboración de planos mecánicos de la troceadora .....	28
2.1.9	Construcción de la troceadora de cuchilla.....	28
2.1.10	Prueba de funcionamiento .....	28

2.1.11	Análisis de costo de construcción .....	28
CAPÍTULO 3	.....	30
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	30
3.1	Resultados del Diseño de Cuchilla .....	30
3.2	Resultados de los Separadores.....	30
3.3	Resultado del Diseño de Eje.....	31
3.4	Resultado de selección de rodamiento.....	32
3.5	Resultados de la Selección del Motor.....	33
3.6	Resultados de Selección de Bandas y Poleas.....	33
3.7	Resultados de Diseño de Engranajes.....	34
3.8	Resultado de Planos Mecánicos de la troceadora.....	35
3.9	Construcción de la Troceadora de Cuchilla .....	36
3.10	Prueba de Funcionamiento.....	38
3.11	Análisis de Costos .....	39
CAPÍTULO 4	.....	45
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
4.1	Conclusiones .....	45
4.2	Recomendaciones .....	45
BIBLIOGRAFÍA	.....	47
APÉNDICES	.....	49

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencia de la Producción
CDTS	Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable

## SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
m	Metro
cm	Centímetro
Rpm	Revoluciones por minuto
N	Newton
v	Voltaje
s	Segundo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de biomásas. [3].....	3
Figura 1-2 Troceadora de rodillo. [7].....	9
Figura 1-3 Troceadora con disco de cuchilla. [7] .....	9
Figura 1-4 Troceadora de mandíbula. [8].....	10
Figura 1-5 Troceadora mandíbula tipo Blake. [9] .....	11
Figura 1-6 Troceadora mandíbula tipo Dodge. [9] .....	11
Figura 1-7 Troceadora mandíbula tipo Universal. [9] .....	11
Figura 2-1 Metodología de diseño. ....	12
Figura 2-2 Esquema de la troceadora de rodillo liso. [7].....	15
Figura 2-3 Esquema de la troceadora de mandíbula. [8] .....	16
Figura 2-4 Esquema de la troceadora de cuchillas. [7] .....	17
Figura 2-5 Diseño preliminar de la troceadora.....	20
Figura 2-6 Cuchilla seleccionada con las fuerzas que actúan sobre ella.....	22
Figura 2-7 Diseño del separador.....	22
Figura 2-8 Diseño del eje.....	24
Figura 2-9 Diseño del motor. ....	25
Figura 3-1 Diseño final de la cuchilla seleccionada. ....	30
Figura 3-2 Diseño final del separador. ....	31
Figura 3-3 Diseño final del eje. ....	32
Figura 3-4 Diseño de chumacera con el rodamiento seleccionado.....	33
Figura 3-5 Diseño del motor seleccionado.....	33
Figura 3-6 Diseño de la polea seleccionada. ....	34
Figura 3-7 Diseño del engranaje.....	35
Figura 3-8 Diseño de la troceadora de cuchilla en 3D. ....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Biocombustible sólidas. [2] .....	4
Tabla 1-2 Porcentaje de Humedad Biomosas sólidas. [5] .....	5
Tabla 1-3 Poder Calorífico (PCI). [5].....	6
Tabla 1-4 Etapa de Trituración. [6].....	8
Tabla 1-5 Etapa de Molienda [6].....	8
Tabla 2-1 Requerimientos del diseño. ....	13
Tabla 2-2 Ventajas y desventajas – Alternativa #1. [7] .....	15
Tabla 2-3 Ventajas y desventajas – Alternativa #2. [8] .....	16
Tabla 2-4 Ventajas y desventajas – Alternativa #3 [7] .....	17
Tabla 2-5 Escala de Ponderación .....	18
Tabla 2-6 Criterio de Diseño – Ponderada.....	18
Tabla 2-7 Matriz de decisión.....	19
Tabla 3-1 Especificación de la selección de rodamiento .....	32
Tabla 3-2 Parámetros de diseño de engrane.....	34
Tabla 3-3 Elementos de la caja de troceado.....	36
Tabla 3-4 Pruebas de funcionamiento con leña de Amarillo.....	38
Tabla 3-5 Prueba de funcionamiento con leña de Neem.....	38
Tabla 3-6 Costo de materiales.....	39
Tabla 3-7 Costos Consumibles.....	41
Tabla 3-8 Costos de acabado.....	41
Tabla 3-9 Costos de Elementos Normalizados.....	42
Tabla 3-10 Costos de Mano de Obra.....	43
Tabla 3-11 Costo total de Construcción.....	43

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Chuchilla y Separadore
PLANO 2	Estructura de la base
PLANO 3	Caja de troceado
PLANO 4	Tabla lateral de la caja de troceado
PLANO 5	Tapa superior de la caja de troceado
PLANO 6	Eje de la troceadora
PLANO 7	Placa fija
PLANO 8	Polea y engrane de la troceadora
PLANO 9	Tolva de alimentación
PLANO 10	Tolva de descarga
PLANO 11	Troceadora final 3D



# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Definición del Problema

Los residuos lignocelulósicos, son residuos de tipo agrícola forestal, principalmente de las plantas, los cuales constituyen una fuente importante de biomasa, ya que pueden ser aprovechados por su contenido energético. En el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS) se realizan diversas actividades relacionadas al aprovechamiento de recursos, entre éstas, la valoración de la biomasa residual. Para la ejecución de esta actividad se necesita realizar procesos de pretratamiento de la biomasa, con el fin de reducir el volumen aparente, para facilitar el transporte y el desarrollo de pruebas para su utilización en un proceso de valorización energética.

Actualmente, en el CDTS el pretratamiento de la biomasa se realiza de forma manual, lo que dificulta el desarrollo sus actividades. Cabe recalcar que el pretratamiento de este tipo de residuos se puede realizar por diferentes métodos, pero para fines de este proyecto de acuerdo con el proceso de troceado usado por el CDTS, se trabaja con fragmentación mecánica, que consiste básicamente en reducir el tamaño de la biomasa. Al realizarlo de forma manual, se va a ver afectado la calidad del troceado, de acuerdo con la fuerza aplicada por el operario, esto a su vez influye en la eficiencia del proceso y toma más tiempo de trabajo, todas estas problemáticas se presentan en el proceso realizado por el CDTS.

Por lo tanto, debido a esa necesidad el CDTS requiere el diseño y la construcción de una máquina de troceado para residuos lignocelulósicos.

### 1.2 Justificación del proyecto

El CDTS como centro de investigación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), se encarga de impulsar el desarrollo de tecnologías sostenibles, combinando de manera efectiva aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos, con el objetivo de realizar proyectos aplicados por el bien de la

comunidad. El CDTS, como parte de sus actividades asociadas al pretratamiento de residuos lignocelulósicos, necesita el desarrollo de un equipo a nivel del laboratorio para el troceado de la biomasa, previo al proceso de secado, para sacar provecho de este tipo de residuos que se presenta como una alternativa prometedora para el desarrollo sostenible.

El beneficio del diseño y la construcción de la máquina permitirá obtener el máximo aprovechamiento del tamaño de los residuos lignocelulósicos. Con el uso de una máquina, el proceso se optimiza y es más eficiente, para así facilitar el transporte y el desarrollo de pruebas para su utilización en un proceso de valorización energética, de mucha importante ya que ayuda al medio ambiente a realizar la conversión de este tipo de residuos en básicamente energía, aprovechado por el CDTS para cumplir su objetivo al trabajar con este tipo de tecnologías sustentables.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un prototipo de máquina de troceado para residuos lignocelulósicos con una capacidad de 10 kg/h para facilitar el transporte y el desarrollo de pruebas de valorización energética.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar una máquina de troceado de biomasa por medio de la aplicación de criterios de ingeniería.
- Seleccionar los elementos de distribución de potencia por medio del análisis de cargas en el prototipo.
- Elaborar un manual de seguridad y manejo de la máquina para su funcionamiento en el laboratorio.
- Realizar el análisis del precio unitario y el presupuesto referencial para la fabricación de la máquina de troceado.

### **1.4 Marco teórico**

### 1.4.1 Materia prima

La materia prima que se va a utilizar para la elaboración del proyecto son residuos lignocelulósicos, compuestos por polímeros de carbohidratos y polímeros aromáticos, representando una fuente orgánica económica y renovable del planeta.. [1]

#### 1.4.1.1 Biomasa

Las biomazas son materiales de origen animal o vegetal, los cuales no han atravesado un proceso de fosilización. Generalmente se trata de residuos provenientes de sectores industriales tales cómo; agrícolas, forestales, ganaderos y agroalimentario. Éstas al igual que un combustible, se utilizan para crear energía eléctrica y térmica. [2]

#### 1.4.1.2 Tipo de Biomasa

Existe varias clasificaciones, pero la más aceptable por su origen y estados.

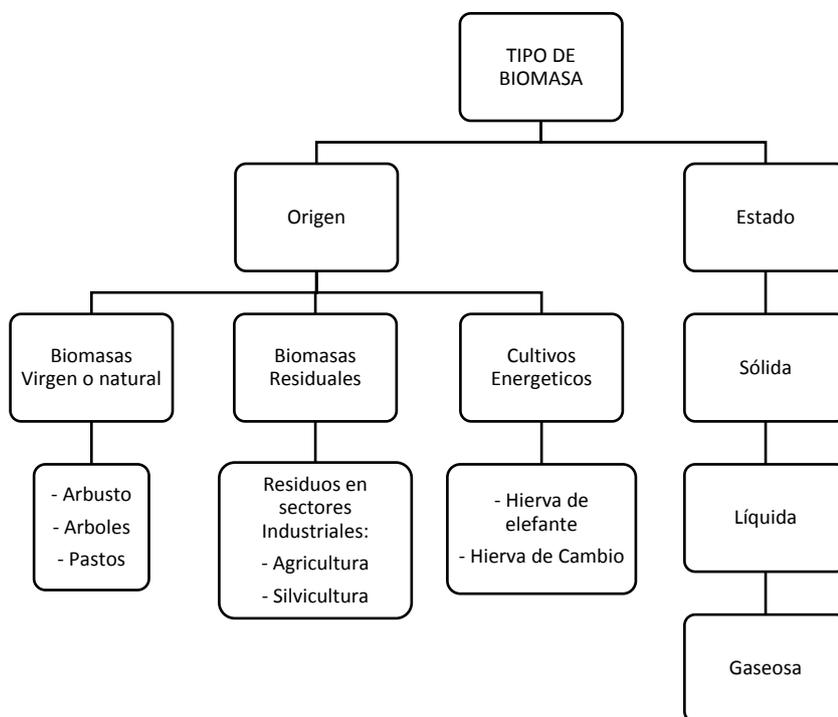


Figura 1-1 Tipos de biomazas. [3]

En la tabla 1-1 se muestra los tipos de biocombustibles sólidos más utilizados, su ventajas, desventajas y consideraciones.

**Tabla 1-1 Biocombustible sólidas. [2]**

<b>Biocombustible sólidas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Consideraciones</b>
Pellets	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poder calorífico muy alto.</li> <li>- Bajo en cenizas</li> <li>- Menor emisión de CO2</li> <li>- Gran durabilidad y buena comercialización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto costo en comparación con otras biomasas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta fiabilidad</li> <li>- Mantener almacenado en lugar aislado y seco.</li> </ul>
Astillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo más económico en comparación con el pellet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor espacio de almacenamiento.</li> <li>- Son menos densos por lo que el transporte debe ser a corta distancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composición variable en función de la madera.</li> <li>- Contenido de ceniza inferior al 1 %</li> <li>- Menor emisión de CO2</li> </ul>
Residuos agroindustriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta disponibilidad</li> <li>- Costo muy bajo al ser un subproducto de sectores industriales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de ceniza superior que el pellet.</li> <li>- Mayores labores de limpieza y mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composición variable en función del subproducto de los sectores industriales.</li> </ul>
Leñas y briquetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de la leña inferior de las briquetas.</li> <li>- Poder calorífico de la leña inferior de las briquetas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Briquetas producen menos cenizas que la leña.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso poco frecuente.</li> <li>- Grado de automatización medio.</li> </ul>

### 1.4.1.3 Característica energética de la biomasa

- **Composición química**

Los diferentes tipos de biomasa comprenden dos partes, por un lado, la parte orgánica que desaparece durante la combustión, y la parte inorgánica que influye en el proceso formando residuos sólidos. Mediante un análisis de elementos más importantes se puede conocer la composición química de la biomasa. [3]

- **Humedad relativa**

La humedad relativa es un parámetro que determina la relación de la masa de agua que contiene una muestra en función del peso. Puede ser determinada en base húmeda (H) o en base seca (h). [4]

$$h = \frac{Ph - Po}{Po} \quad (1.1)$$

$$H = \frac{Ph - Po}{Ph} \quad (1.2)$$

Donde:

Ph = Peso húmedo de la muestra

Po = Peso seco de la muestra

En la tabla 1-2 se presenta el porcentaje de humedad que contiene diferentes tipos de biocombustibles sólidos.

**Tabla 1-2 Porcentaje de Humedad Biomasa sólidas. [5]**

Biomasa	Humedad (%)
Astillas	40
Pellet	<15
Leña	<20
Briquetas	<20
Cáscara de almendra	8-15

- **Densidad aparente**

Esta propiedad física que posee en los diferentes tipos de biomasa sólida se define como el peso por unidad de volumen de la materia. Por lo tanto, si la densidad aparente de una biomasa sólida es muy baja se requiere un mayor volumen de almacenamiento y el tiempo de transporte es menor. [4]

- **Poder Calorífico**

El poder calorífico se define como la cantidad de energía liberada en forma de calor por unidad de masa, ya que esta energía que es liberada se produce cuando la biomasa se quema en su totalidad. Por lo tanto, el poder calorífico superior (PCS) es la energía liberada al final de una reacción de combustión, mientras que el calor calorífico inferior (PCI) es producido cuando el agua en la biomasa esta forma de vapor. [4]

En la Tabla 1-3 se presenta el poder calorífico inferior (PCI) de diferentes tipos de biocombustibles sólidas.

**Tabla 1-3 Poder Calorífico (PCI). [5]**

Biomasa	Poder calorífico (PCI)	
	kJ/kg	kWh/kg
Astillas	10000-16000	2.8-4.4
Pellet	17000-19000	4.7-5.3
Leña	14400-16200	4-4.5
Briquetas	17000-19000	4.7-5.3
Cáscara de almendra	16000-19000	4.4-5.3

#### **1.4.1.4 Aplicación de la bioenergía**

La transformación de la biomasa en bioenergía por medio de distintas tecnologías de transformación de estas da lugar a las diversas aplicaciones posibles, entre las cuales sobresalen: la energía térmica, eléctrica, biocombustibles y gases combustibles. [3]

- **Producción de energía térmica**

Es producida generalmente desde una biomasa sólida (natural y residual), sin embargo, también se puede quemar el gas digestión anaeróbica de un residuo líquido o el gas de síntesis dado por la gasificación de un sólido. Los sistemas de combustión

directa son aplicados para dar calor o calentar agua, su uso va desde estufas usadas en domicilios hasta sistemas de producción de agua caliente. [3]

- Producción de electricidad

Producida en su mayoría a partir de cultivos energéticos leñosos y en minoría de restos de cosecha y poda (es decir biomasa residual), sin embargo, también es posible utilizar el bio-gas proveniente de la fermentación de algunos residuos. Dado que la biomasa consta de un poder calorífico bajo, alto contenido de volátiles y gran cantidad de humedad requiere de sistemas de mayor complejidad. [3]

- Producción de biocombustibles

En esta producción se diversifica entre los biocarburantes para vehículos con motor a diésel y vehículos con motor de encendido provocado. Los primeros sustituyen el diésel con combustible obtenido de cultivos o especies vegetales oleaginosas, mientras que los segundos vienen de cultivos o especies vegetales ricas en azúcares y sustituyen las gasolinas o los aditivos de las gasolinas sin plomo. [3]

- Producción de gases combustibles

Actualmente es la aplicación menos utilizada, se refiere a la descomposición de la biomasa con el fin de generar gases, en donde el combustible es básicamente metano, aunque también suele contener nitrógeno, vapor de agua y compuestos orgánicos. Esta aplicación es óptima para las biomasas ricas en humedad, quedando casi descartada para el resto de las aplicaciones. [3]

#### **1.4.2 Reducción mecánica de sólidos**

También llamado como trituración, es el proceso de reducción mecánica de sólidos mediante una fuerza aplicada, ya sea en impacto, compresión, corte y flotación. Las máquinas que realizan este proceso son:

- Troceadora o trituradora
- Quebrantadora
- Desintegradora

### 1.4.2.1 *Tamaño de proceso de reducción*

Mediante el proceso de reducción mecánica de sólidos se obtiene diferente tamaño de la materia prima, por lo cual se divide en etapa de trituración y molienda.

- **Etapa de trituración**

También llamado como desintegración grosera, existen tres etapas trituración. En la Tabla 1-4 se presenta las etapas de trituración con su respectivo tamaño de reducción de salida de la máquina. [6]

**Tabla 1-4 Etapa de Trituración. [6]**

Etapa de trituración	Tamaño de reducción de salida
Primera Etapa – Trituración gruesa	15 [cm]
Segunda Etapa – Trituración mediana	Entre 3 [cm] y 15 [cm]
Tercera Etapa – trituración Fina	Entre 0.5 [cm] y 3 [cm]

- **Etapa de molienda**

También llamado como desintegración fina, existen dos etapas de molienda. En la Tabla 1-5 se presenta las etapas de molienda con su respectivo tamaño de reducción de salida de la máquina. [6]

**Tabla 1-5 Etapa de Molienda [6]**

Etapa de molienda	Tamaño de reducción de salida
Etapa primaria – molienda grosera	Entre 0.1 [mm] y 0.3 [mm]
Etapa secundaria – molienda fina	< 0.1 [mm]

### 1.4.3 **Troceadora**

También conocida como trituradora, es una máquina que realiza el proceso de reducción mecánica de sólidos produciendo trozos de material menor a su tamaño inicial, mediante la utilización de cuchillas que aplican fuerza sobre material sólido. [6]

#### 1.4.3.1 *Troceadora de rodillo*

La máquina está compuesta de dos o más rodillos horizontales, que están paralelos girando en sentido opuesto a la misma velocidad de rotación, separado por una cierta distancia, formando una cámara de trituración por lo cual caen los restos en la parte inferior. El tamaño de reducción de salida del material depende del espacio que hay entre los rodillos. [6]

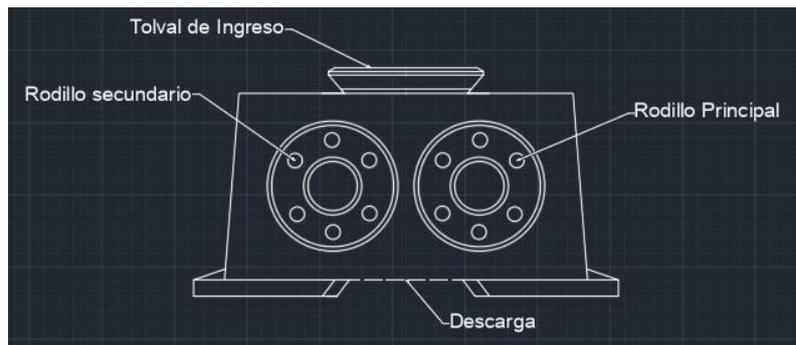


Figura 1-2 Troceadora de rodillo. [7]

#### 1.4.3.2 *Troceadora con disco de cuchilla*

La máquina está compuesta de dos ejes paralelos con cuchillas y separadores que giran en sentidos opuestos a la misma velocidad de rotación. Los discos de cuchillas trabajan por comprensión, impacto y corte, mientras que la troceadora de rodillo trabaja solo por comprensión. [6]

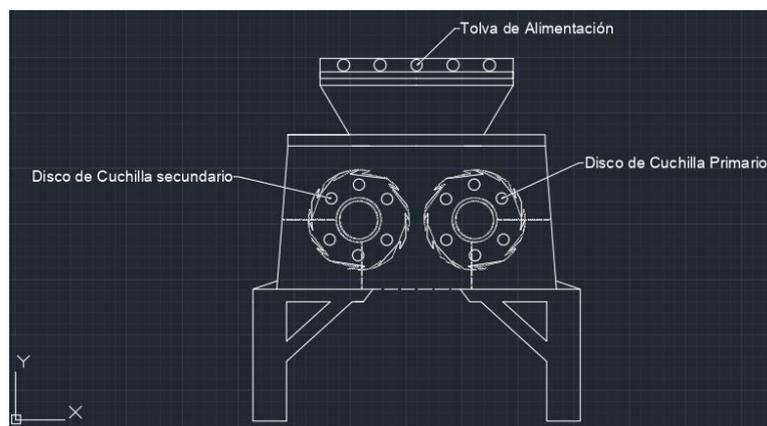


Figura 1-3 Troceadora con disco de cuchilla. [7]

### 1.4.3.3 Troceadora de mandíbula

La máquina está compuesta de dos placas de fierros, una placa se encuentra fija mientras que la otra tiene un movimiento periódicamente hacia adelante y atrás de la placa fija, obteniendo una trituración de primer nivel, tamaño grueso o medio. [8]

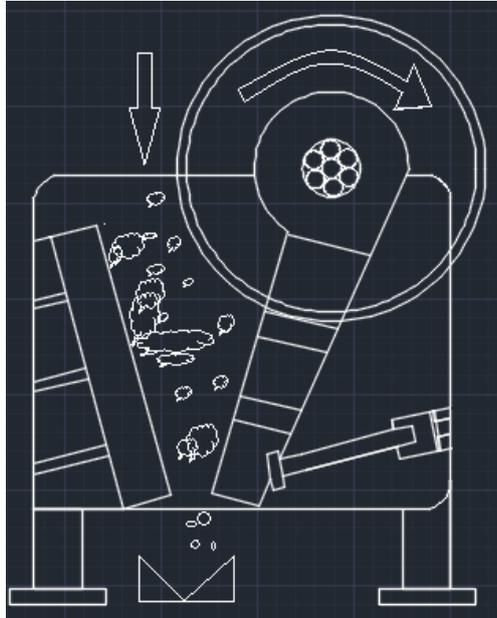


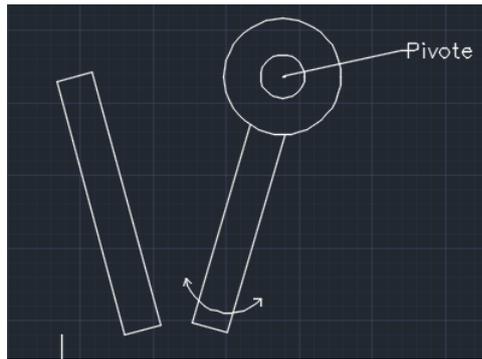
Figura 1-4 Troceadora de mandíbula. [8]

- **Tipo de Troceadora de mandíbula**

Se presenta los tipos de troceadora de mandíbula en función de la ubicación de su punto de fijación.

#### **Tipo Blake**

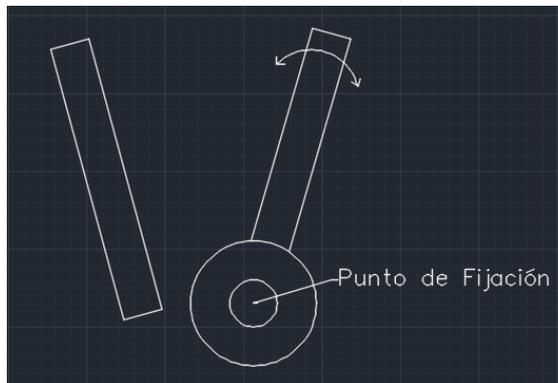
Su punto de fijación de encuentra en la parte alta, en el área de alimentación. [9]



**Figura 1-5 Troceadora mandíbula tipo Blake. [9]**

### **Tipo Dodge**

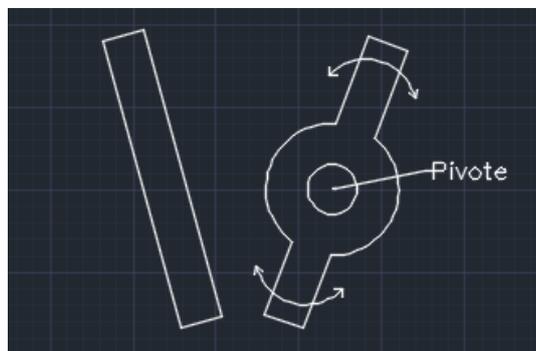
Su punto de fijación se encuentra en la parte baja, en el área descarga



**Figura 1-6 Troceadora mandíbula tipo Dodge. [9]**

### **Tipo universal**

Su punto de fijación se encuentra en el medio de la placa de la troceadora. [9]

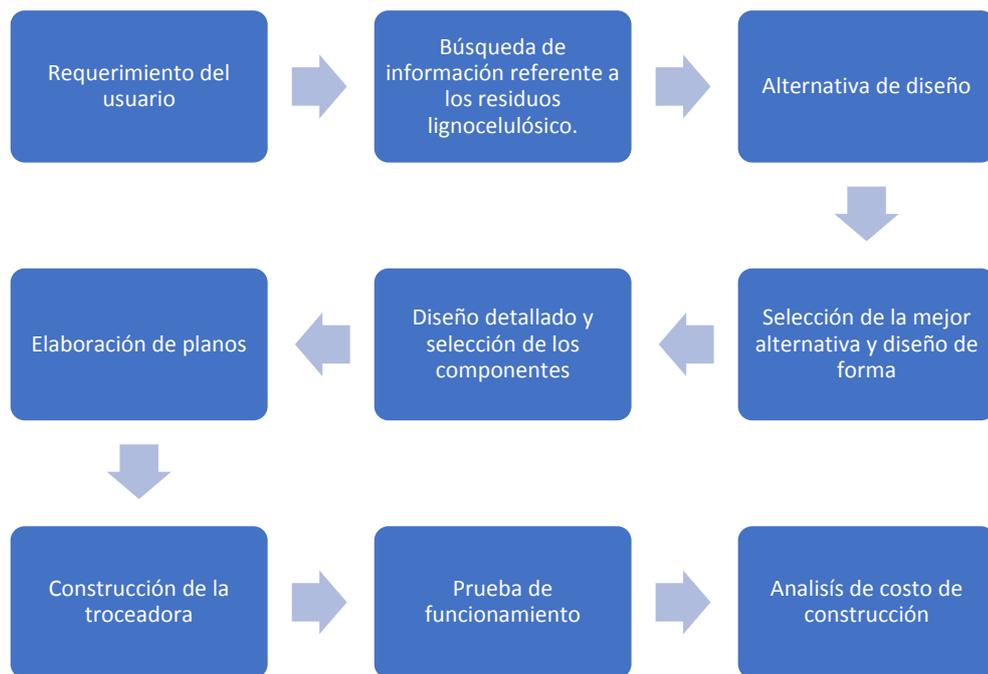


**Figura 1-7 Troceadora mandíbula tipo Universal. [9]**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

A continuación, en la Figura 2-1 presenta de forma simplificada la metodología desarrollada en el proyecto.



**Figura 2-1 Metodología de diseño.**

Con base a los requerimientos del diseño se realizó la búsqueda de información referente al diseño y construcción de la máquina de troceado. Se consideró como posible alternativa de solución, la utilización de un sistema manual donde el operario tiene que usar la fuerza mediante el movimiento de una manivela para trocear la leña, mientras que la otra opción es un sistema automático que se encarga de movimiento de la máquina para la realización de la actividad mencionada. A su vez el diseño y la construcción de la troceadora, el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable nos proveyó piezas mecánicas. Teniendo en cuenta esta situación, se procedió con la realización de la matriz de decisión para seleccionar la mejor alternativa de diseño, en especial, siguiendo los parámetros y límites de diseño establecidos. Por otro lado, se realizó los análisis respectivos en cuanto a la selección de cada componente de la máquina (poleas, chumaceras, ejes, bandas) siguiendo criterios ingenieriles, con sus

respectivos cálculos. En los siguientes puntos se detalla a profundidad la metodología que se usó y se seleccionó para efectos de este proyecto.

## 2.1 Diseño Conceptual

### 2.1.1 Requerimiento del diseño

Para el diseño y construcción de la troceadora de residuos lignocelulósicos se debe tener en cuenta las normativas, nacionales e internacionales, con respecto a los biocombustibles producidos por biomásas.

La normativa UNE – EN ISO 17225-9 Biocombustible sólidos, especificaciones y clases de combustibles, establece la clase de calidad y las especificaciones de los biocombustibles triturados, obtenidos en los residuos que producen los diversos sectores industriales, como la agricultura y la silvicultura.

Por lo tanto, se presenta los requerimientos del diseño:

**Tabla 2-1 Requerimientos del diseño.**

Requerimientos	Especificaciones
Materia Prima	Biomásas sólidas, todos los residuos lignocelulósicos.
Operación	Que el proceso sea automático, que solo se requiera el operario depositando el residuo lignocelulósico en la máquina sin ningún inconveniente y su accionamiento.
Materiales	En el CDTS existen partes mecánicas, como 14 chuchillas, 1 motor eléctrico de 5 Hp y 14 separadores para la construcción de la troceadora, a su vez se cuenta con planchas de acero para la estructura.
Transportación	Que sea fácil de trasladar a un lado a otro.
Mantenimiento	Fácil mantenimiento y disponibilidad de repuestos.
Costo	Costo de construcción, mantenimientos y reparación.
Seguridad	Que la máquina tenga todas sus protecciones en cada elemento mecánico así para evitar cualquier accidente.
Capacidad por hora	El CDTS requiere que la máquina con una capacidad aproximadamente 10 kg/h para facilitar el transporte y el desarrollo de pruebas en un proceso de valorización energética.

### 2.1.2 Factores de influencia

Los factores de influencia considerados para el desarrollo del proyecto son:

- Disponibilidad de partes

Se consultó la disponibilidad de las partes en el Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable, entre esos tenemos 14 disco dentados de cuchillas y 14 separadores, 2 ejes de acero AISI 4340 y 1 motor eléctricos siemens 5 Hp

- Costo de Construcción

El costo de construcción se espera lograr que sea menor a las máquinas que se encuentran en el mercado.

- Espacio que ocupa

El espacio que ocupa la máquina es un factor muy importante ya que no debe sobrepasar más de 1.5 metros x 1.5 metros.

- Mantenimiento

Plan de mantenimiento accesible y repuestos disponibles.

- Fácil de operar

El personal del CDTS serán los encargados de operar la máquina, por lo tanto, el diseño y la construcción de la troceadora no debe ser tan complicado, así para evitar contratar personal capacitado para operar dicha máquina.

- Carga y descarga

Facilidad de carga de los residuos lignocelulósico sin generar problema, así como después del troceado.

### **2.1.3 Alternativa de solución**

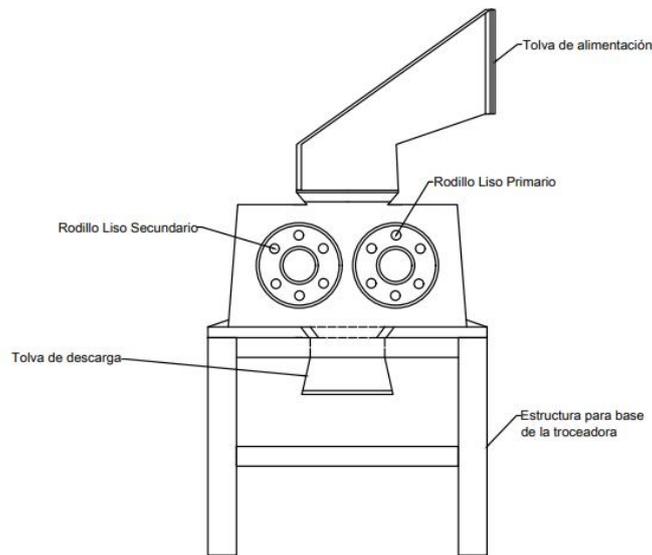
Para las alternativas de solución, para el diseño y construcción de la troceadora, se tomó en cuenta la funcionalidad del sistema por lo cual se presentó las siguientes alternativas:

- Alternativa #1: Troceadora de rodillo liso
- Alternativa #2: Troceadora de mandíbula
- Alternativa #3: Troceadora de cuchillas

### 2.1.3.1 Alternativa # 1: Troceadora de rodillo liso

La troceadora de rodillo liso consiste en dos rodillos paralelos de igual diámetro, que están separados por una cierta distancia girando en sentidos opuestos en su propio eje. Ambos rodillos están sometido a un esfuerzo radial de compresión formando una cámara de trituración en forma de V, realizando el proceso de troceado hasta que pueda pasar la materia prima en el espacio que tiene ambos cilindros.

En la Figura 2-2 se muestra el diseño de la alternativa # 1, troceadora de rodillo liso con tolva de alimentación y descarga del producto troceado.



**Figura 2-2 Esquema de la troceadora de rodillo liso. [7]**

En la Tabla 2-2 se muestra las ventajas y desventajas de la troceadora de rodillo liso.

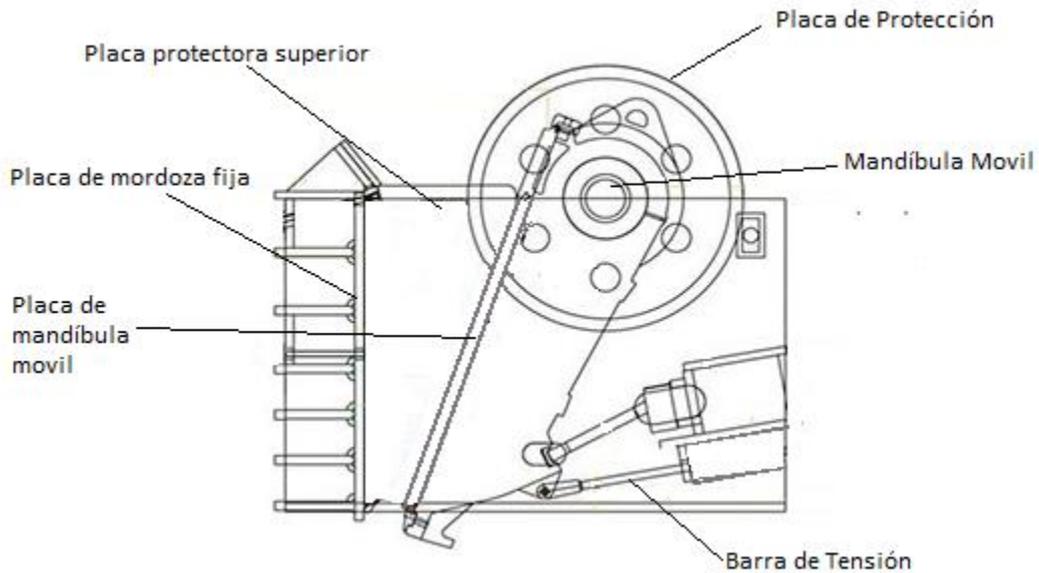
**Tabla 2-2 Ventajas y desventajas – Alternativa #1. [7]**

Troceadora de Rodillo Liso	
Ventajas	Desventajas
Mayor volumen de ingreso de materia prima	Durante el proceso del troceado entre los rodillos y la materia prima hay fricción, por lo tanto, provoca desgaste y reduce la vida útil en los rodillos.
Repuestos disponible en el mercado local.	
Costo asequible	
Distancia de los rodillos es regulable	
Facilidad de operación	

### 2.1.3.2 Alternativa # 2: Troceadora de mandíbula

Se presentó una troceadora de mandíbula que contiene dos placas de hierro, una placa se encuentra fija mientras que la otra tiene un movimiento de vaivén de acercamiento y alejamiento hacia la placa fija, obteniendo una trituration de primer nivel, tamaño grueso o medio. [8]

En la Figura 2-3 se muestra el diseño de la alternativa # 2 troceadora de mandíbula.



**Figura 2-3 Esquema de la troceadora de mandíbula. [8]**

En la tabla 2-3 se muestra las ventajas y desventajas de la troceadora de mandíbula.

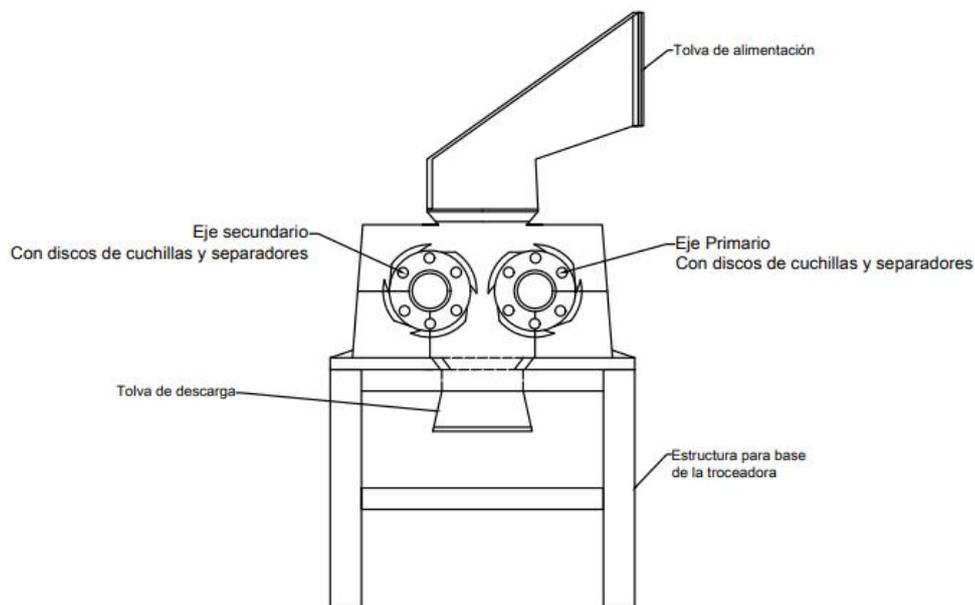
**Tabla 2-3 Ventajas y desventajas – Alternativa #2. [8]**

Troceadora de mandíbula	
Ventajas	Desventajas
Menor volumen de ingreso de materia prima.	Se requiere una trituration secundaria
Mantenimiento asequible	Genera alto ruido
Para material con una dureza alta	
Facilidad de operación	Elevado costo de construcción

### 2.1.3.3 Alternativa # 3: Troceadora de cuchillas

La troceadora de cuchilla está compuesta de dos ejes paralelos con varios discos de cuchillas y separadores que giran en sentidos opuestos a la misma velocidad de rotación. Los discos de cuchillas trabajan por comprensión, impacto y corte, mientras que la troceadora de rodillo trabaja solo por comprensión. [7]

En la Figura 2-4 se muestra el diseño de la alternativa # 3 troceadora de cuchillas con su tolva de alimentación y descarga del producto troceado.



**Figura 2-4 Esquema de la troceadora de cuchillas. [7]**

En la tabla 2-4 se muestra las ventajas y desventajas de la troceadora de cuchillas.

**Tabla 2-4 Ventajas y desventajas – Alternativa #3 [7]**

Troceadora de Cuchillas	
Ventajas	Desventajas
Mayor volumen de ingreso de materia prima.	Durante el proceso del troceado entre los rodillos y la materia prima por la fuerza de fricción, corte e impacto, esto provoca desgaste y reduce la vida útil en los rodillos.
Mantenimiento asequible	
Precio asequible con respecto a la troceadora de mandíbula	
Repuestos disponible en el mercado local.	
Facilidad de operación	

### 2.1.4 Criterio de Diseño

Para la realización del diseño y construcción de la troceadora, se eligió los factores de influencia más importante que se mencionaron anteriormente. Los factores más importantes son:

- Disponibilidad de partes
- Espacio que ocupa
- Mantenimiento
- Fácil de operar
- Costo de construcción

Finalmente, determinado los factores de influencia más importantes, se realizó un estudio por medio de una comparación pareada obteniendo un valor cualitativo que permitió saber el nivel de importancia o el peso que tiene cada factor. Para la realización de la comparación pareada se define la escala de calificar cada factor que se muestra en la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5 Escala de Ponderación**

Escala de Ponderación	
10	Muy Importante
5	Medio Importante
1	Mucho menos importante

**Tabla 2-6 Criterio de Diseño – Ponderada.**

Criterio de Diseño	Disponibilidad de materiales	Espacio que ocupa	Mantenimiento	Fácil de operar	Costo de construcción	Total	Peso
Disponibilidad de materiales	8	4	8	7	8	27	0.234
Espacio que ocupa	4	8	7	7	3	25	0.216
Mantenimiento	5	4	8	8	7	24	0.208
Fácil de operar	4	4	5	8	7	20	0.173

Costo de construcción	4	8	3.5	4		19.5	0.169
<b>Total</b>						115.5	

Conforme a lo realizado en la Tabla 2-6, se determinó la ponderación de cada factor, por lo tanto, el factor decisivo con mayor ponderación fue la disponibilidad de materiales mientras que el menor es el costo de construcción.

### 2.1.5 Matriz de decisión

Luego de obtener las ponderaciones de cada factor decisivo, se realiza la matriz de decisión para obtener la mejor alternativa de solución para el diseño y construcción de la troceadora de residuos lignocelulósico.

**Tabla 2-7 Matriz de decisión**

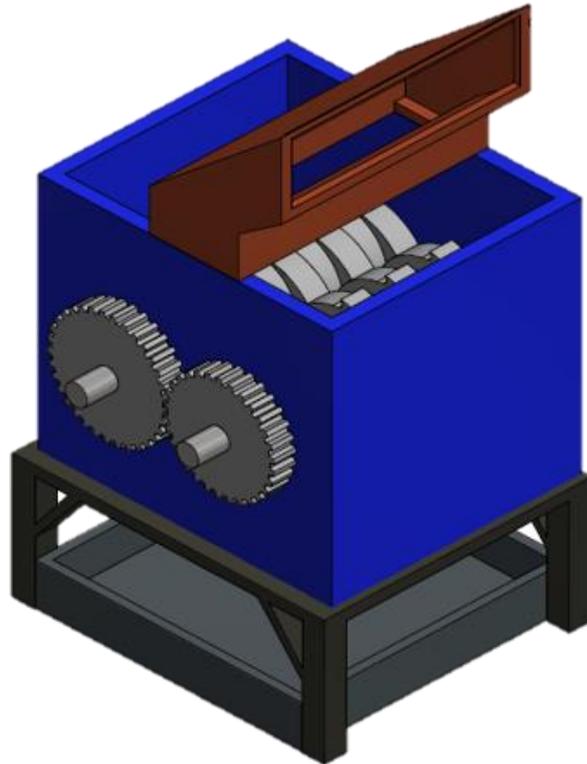
Criterios de ponderación	Peso	Calificación máxima	Alternativas de Troceadora					
			#1 Rodillo Liso		#2 Mandíbula		#3 Cuchillas	
			Ponderación	Peso Total	Ponderación	Peso Total	Ponderación	Peso Total
Disponibilidad de materiales	0.234	10	5	1.17	3	0.702	10	2.34
Espacio que ocupa	0.216	10	8	1.728	5	1.08	8	1.728
Mantenimiento	0.208	10	8	1.664	4	0.832	8	1.664
Fácil de operar	0.173	10	8	1.384	8	1.384	8	1.384
Costo de construcción	0.169	10	7	1.183	2	0.338	9	1.521
<b>Total</b>	<b>1.000</b>	<b>50</b>	<b>7.129</b>		<b>4.336</b>		<b>8.637</b>	

Conforme a lo realizado en la Tabla 2-7, se obtuvo como resultado que la mejor alternativa es la troceadora de cuchilla.

### 2.1.6 Diseño de forma

El diseño de forma de la troceadora se muestra en la Figura 2-5, cabe aclarar que el diseño mostrado es un preliminar del diseño final. El diseño se compone de una base donde va asentada la caja, esta caja es desmontable con una tapa frontal con el objetivo de que si se necesita hacer cambio de herramienta sea factible. El sistema para trocear

la biomasa se compone de dos ejes donde van alojadas varias cuchillas con sus respectivos separadores, a su vez se conectan con engranes que forman parte del sistema de transmisión con el respectivo motor. Además, se cuenta con una tolva donde ingresa la biomasa, esto permite mayor seguridad al momento de realizar el trabajo y los restos troceados caen en una bandeja que sirve como depósito.



**Figura 2-5** Diseño preliminar de la troceadora.

### **2.1.7** Diseño detallado

Se procedió a realizar el diseño de la cuchilla, diseño de los ejes, diseño y selección de rodamientos, entre otros, que se detallan a continuación.

#### **2.1.7.1** *Diseño de las cuchillas*

Para el diseño de las cuchillas de la troceadora se siguió el modelo de corte ortogonal, modelo conocido por permitir calcular parámetros de corte en un proceso de mecanizado, de una forma cercana a la realidad. Cuando se va a realizar el corte de material es importante tener en cuenta el ancho de la viruta  $t_0$  antes de ser formada, pero cuando esto se da, se forma  $t_c$  que representa el ancho real de la viruta, por lo que se puede relacionar los dos tipos de espesores con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{t_o}{t_c} \quad (3.1)$$

A su vez es necesario mencionar que, con la relación del grueso de viruta, y considerando los ángulos que inciden en el modelo ortogonal, se puede calcular el ángulo de plano de corte en función del ángulo de inclinación de la cuchilla con respecto al material, con la ecuación que se muestra a continuación:

$$\tan\varphi = \frac{r \cos\alpha}{1 - r \sin\alpha} \quad (3.2)$$

En la viruta aparecen fuerzas que influyen en la cuchilla y es importante tener en cuenta, ya que influyen en cálculos para determinar fuerzas en la cuchilla, que se aborda con las siguientes fórmulas:

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (3.3)$$

$$A_s = \frac{t_o w}{\sin\varphi} \quad (3.4)$$

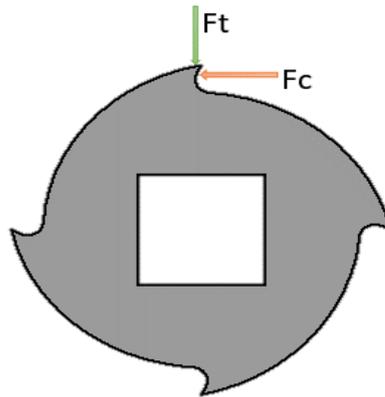
La ecuación de Merchant nos ayuda a realizar una relación entre todos los ángulos presentes en el proceso de corte:

$$\varphi = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (3.5)$$

En la cuchilla se hacen presentes fuerzas como se muestra en la Figura 2-6. Por un lado, se tiene la fuerza de corte  $F_c$  y una fuerza perpendicular de empuje  $F_t$ , antes hay que definir ecuaciones para poder calcular las fuerzas presentes en cada diente de la cuchilla:

$$F_c = \frac{F_s \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} \quad (3.6)$$

$$F_t = \frac{F_s \sin(\beta - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} \quad (3.7)$$

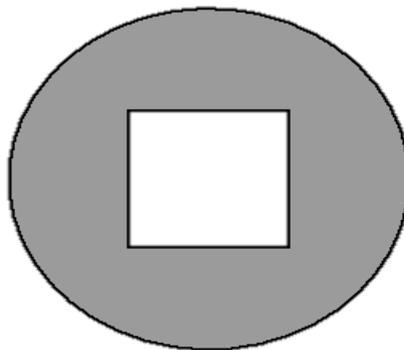


**Figura 2-6 Cuchilla seleccionada con las fuerzas que actúan sobre ella.**

Por medio de las ecuaciones mostradas se procedió a realizar la selección de la cuchilla, teniendo en cuenta, el material de fabricación y así se obtuvo los valores correspondientes a las fuerzas que actúan en este proceso de troceado.

#### **2.1.7.2 Diseño de separador**

En la máquina se vio la necesidad de que las cuchillas no estén juntas en el arreglo a lo largo del eje, por lo que entre cuchillas va un separador, que es del mismo material de la cuchilla, y a su vez del mismo espesor. En la Figura 2-7 se detalla la forma del separador:



**Figura 2-7 Diseño del separador.**

#### **2.1.7.3 Diseño de ejes**

En los ejes que se utilizan en la máquina actúan cargas que producen flexión y torsión, por lo que es necesario, el análisis respectivo para que las mencionadas cargas no produzcan fallas en el eje. Para esto se consideró los siguientes pasos:

- Diagrama de cuerpo libre

- Determinación de magnitudes de las fuerzas y reacciones que actúan en el eje
- Diagrama de momento flector y fuerza cortante
- Diseño del eje

Para seleccionar el eje se necesitó conocer todas las fuerzas presentes en la troceadora, también determinar el material para obtener los valores de resistencia mecánica, además los concentradores de esfuerzo  $K_t$  y  $K_{ts}$ , así se usó las siguientes ecuaciones:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (3.8)$$

Donde:

$k_a$  = factor de modificación de la condición superficial

$k_b$  = factor de modificación del tamaño

$k_c$  = factor de modificación de la carga

$k_d$  = factor de modificación de la temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de modificación de efectos varios

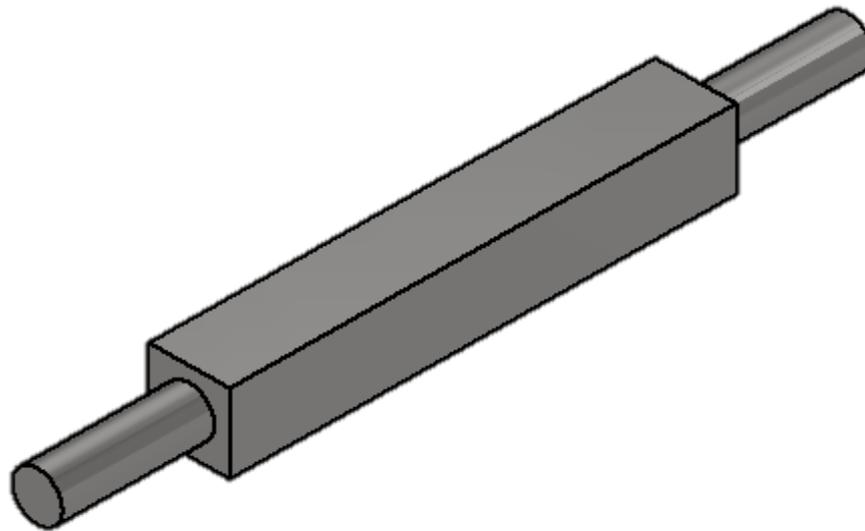
$S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (3.9)$$

De acuerdo con los criterios de falla, uno de los más conservativos es el criterio de Goodman, lo que ayudó a calcular el diámetro requerido para el tipo de carga que existen en la troceadora:

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f * M_a)^2 + 3(K_{fs} * T_a)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f * M_m)^2 + 3(K_{fs} * T_m)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.10)$$

Hay que resaltar que también que se pudo calcular el factor de seguridad del eje por cada criterio de falla, a continuación. Se observa en la Figura 2-8 el diseño del eje de la máquina.



**Figura 2-8 Diseño del eje.**

#### **2.1.7.4 Selección de rodamiento**

En esta sección la cantidad de rodamientos seleccionados serán 4. Para la selección de rodamiento se realizó por medio del catálogo de SKF, por lo tanto, la vida nominal según la normativa ISO281, se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (3.11)$$

Donde:

C = Capacidad de carga dinámica

P = Carga equivalente del rodamiento

Rodamiento de bola  $p = 3$

Rodamiento de rodillo  $p = 10/3$

Además, en caso de aplicación del rodamiento, si la velocidad es constante es mejor obtener la vida útil expresada en horas de funcionamiento, se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10} \quad (3.12)$$

Donde:

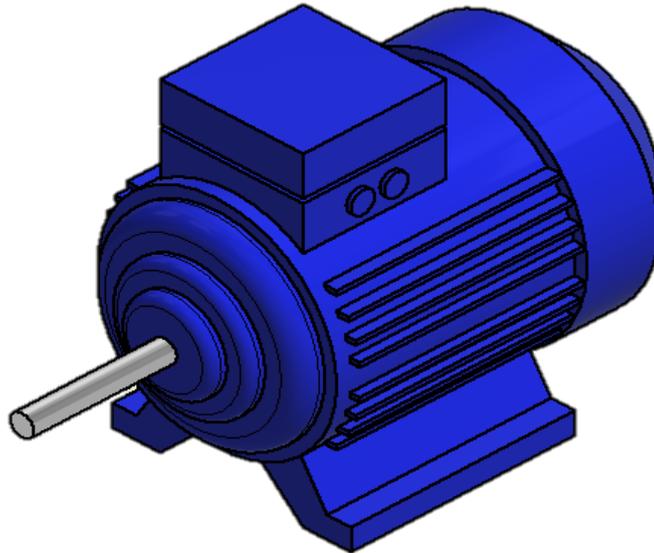
n = velocidad del rodamiento rpm

L10 = vida nominal básica – millones de revoluciones

L10h = vida útil – horas de funcionamiento

#### 2.1.7.5 *Diseño de motor*

Para la selección del motor de la troceadora, se consideró parámetros la potencia y la velocidad de rotación. Con estos datos se pudo calcular el torque requerido del motor para la máquina, y considerar si el motor provisto por el CDTs cumple con las especificaciones de diseño. En la figura 2-9 se muestra el motor para la troceadora:



**Figura 2-9 Diseño del motor.**

Torque generado por el motor, se lo determina con la siguiente ecuación:

$$P = T * \omega \quad (3.13)$$

Donde:

P = Potencia nominal del motor

T = Torque generado por el motor

$\omega$  = velocidad angular del motor

#### 2.1.7.6 *Selección de bandas y poleas*

Para la selección de bandas y poleas se utilizó el catálogo de polea en V de INTERMEC, así mismo para obtener una correcta selección se debe tener los datos específicos del motor eléctrico de la troceadora. Con estos datos se puede determinar las dimensiones de las poleas y la cantidad de bandas necesarias que requiere la troceadora. A continuación, los pasos para una correcta selección son:

- Diámetro mínimo de la polea

Para determinar el diámetro mínimo de la polea recomendado para el motor eléctrico se utiliza la tabla que se encuentra en el APÉNDICE A, el cual requiere la potencia nominal y velocidad del motor.

- Potencia de diseño en HP:

$$Potencia_{diseño} = Potencia_{motor} \times FS \quad (3.14)$$

Donde:

FS= Factor de servicio

Potencia del motor en Hp

- Para determinar el diámetro de la polea conducida:

$$i = \frac{RPM \text{ del motor}}{RPM \text{ del equipo}} \quad (3.15)$$

Donde:

i= Relación de velocidad

- Número de canal en la polea:

$$n_{canales} = \frac{P_{diseño}}{P_{canal}} \quad (3.16)$$

Donde:

n= Número de canal en la polea

Pdiseño= Potencia del diseño del motor

Pcanal= Potencia por canal

- Distancia entre centro de polea

$$C = 1.5(D + d) \quad (3.17)$$

D = diámetro de la polea motriz

d = diámetro de la polea conducida

#### **2.1.7.7 Diseño de los engranajes**

Para esta sección se utilizará dos ruedas dentadas para transmitir potencia entre ejes paralelos. El funcionamiento entre los engranajes es que el piñón gira en un sentido al estar en contacto con rueda dentada esta gire en sentido contrario, el cual es lo que necesitamos para el proceso de troceado. El diseño de los engranajes se realizó los

cálculos con los datos obtenidos de los engranes entregado por el CTDS, como el diámetro exterior y el número de dientes, a partir de eso se procedió a determinar los demás datos, con las siguientes ecuaciones:

- Diámetro exterior del engrane

$$D_e = M(Z + 2) \quad (3.18)$$

Donde:

De = Diámetro exterior del engranaje

M = Módulo

Z = Número de diente

- Altura del diente

$$H = 2.25 * M \quad (3.19)$$

Donde:

H = Altura del diente

M = Módulo

- Paso circular

$$P_c = \pi * M \quad (3.20)$$

Donde:

Pc = Paso circular

M = Módulo

- Diámetro interior del engranaje

$$D_i = D_e - 2H \quad (3.21)$$

Donde:

Di = Diámetro interior del engranaje

De = Diámetro exterior del engranaje

H = Altura del diente

- Diámetro primitivo

$$D_p = M * Z \quad (3.22)$$

Donde:

M = Módulo

Z = Número de diente

- Distancia entre centro de los engranajes

$$c = \frac{D_P + d_P}{2} \quad (3.23)$$

Donde:

c = Distancia entre centro

D<sub>p</sub> = Diametro primitivo del piñón

d<sub>p</sub> = Diámetro primitivo de la rueda dentada.

### **2.1.8 Elaboración de planos mecánicos de la troceadora**

Para la elaboración de los planos mecánicos de la troceadora de cuchilla, se empleó el software AUTODESK INVENTOR utilizando licencia estudiantil, realizando el diseño de cada elemento mecánico, luego se hizo el respectivo ensamble de cada elemento para obtener la máquina en 3D.

### **2.1.9 Construcción de la troceadora de cuchilla**

Para esta sección se procedió con la construcción de las piezas mecánicas y el montaje de cada uno de los elementos, se utilizó una gran cantidad de equipos, instrumentos de medición y herramientas, descrito en el proceso de construcción de la troceadora en el siguiente capítulo. Así mismo se describe detalladamente el proceso de montaje de cada una de las partes y elementos de la troceadora.

### **2.1.10 Prueba de funcionamiento**

Para esta sección se realizaron las pruebas de funcionamiento, se utilizaron dos tipos de ramas de diferentes diámetros y longitud. En el proceso consiste en evaluar el funcionamiento de la máquina, considerando la calidad del troceado, el tiempo del proceso, y las dimensiones finales de cada rama, con el fin de obtener la aceptación del producto final.

### **2.1.11 Análisis de costo de construcción**

Se desarrolló el análisis de costo de materiales, utensilios, elementos normalizado y mano de obra para su construcción. A su vez, es necesario mencionar que se diseñó la máquina de troceado con materiales y elementos que se encuentran en el mercado local, esto nos facilitó la logística de fabricación y se redujo el costo de importación. Para el

desarrollo de las tablas de costos se realizó la cotización en los proveedores de materiales y elementos normalizados, obteniendo sus respectivos valores. Además, para obtener los costos de fabricación y montaje se consultó en un taller dentro de la ciudad de Guayaquil todo lo correspondiente con soldadura y corte con oxicorte, procesos de mecanizado en torno, fresadora y taladrado para su respectiva construcción.

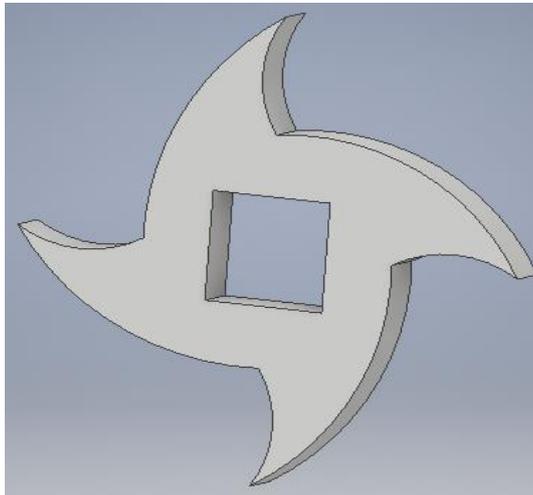
# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultados del Diseño de Cuchilla

La cuchilla seleccionada se diseñó con los siguientes parámetros:

- Diámetro 19 cm
- Ancho de la cuchilla 1.8 cm
- Diente de altura de cortes de 4.78 cm
- Angulo de profundidad de corte  $27^\circ$
- Agujero de acople forma cuadrado,  $L = 4.5$  cm

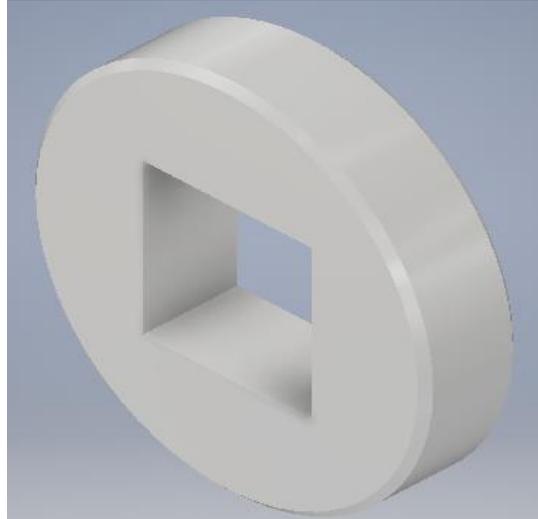


**Figura 3-1** Diseño final de la cuchilla seleccionada.

### 3.2 Resultados de los Separadores

Los separadores seleccionados son de gran importancia, en cuanto su función y al proceso de troceado, tiene los siguientes parámetros:

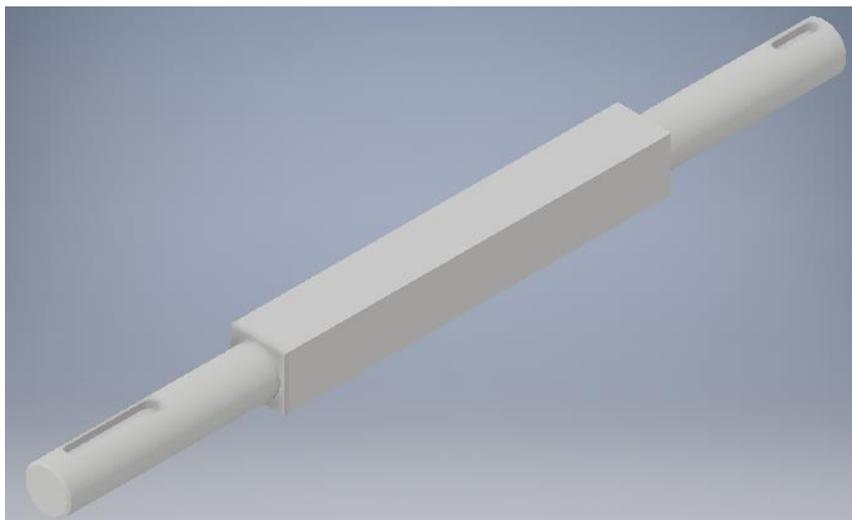
- Diámetro 10.5 cm
- Espesor 2.5 cm
- Agujero de acople forma cuadrado,  $L = 4.5$  cm



**Figura 3-2 Diseño final del separador.**

### **3.3 Resultado del Diseño de Eje**

Para esta sección el diseño del eje de la troceadora hemos utilizado un eje cuadrado, para obtener un buen acople de cuchilla y separadores con el eje. En la selección y diseño del eje se siguió el proceso respectivo, detallado en el apéndice A con los cálculos necesarios. En el proceso, cabe mencionar que son dos ejes de acero AISI 4340, la diferencia se dio en la presencia en un eje de la polea, en cambio en el otro eje, no está acoplada la polea, por lo que, si existió cambios en los valores de las reacciones, por lo tanto, también hubo cambios en los diagramas de momentos, que son los de interés para el cálculo del diámetro del eje. Teniendo en cuenta, esta variante, se decidió que los dos ejes tengan las mismas dimensiones, de acuerdo con los cálculos, se obtuvo un diámetro mínimo de 20.5 mm (Figura 3.3). Este diámetro cumple con el eje provisto por el CDTS, debido a que cuadrado central del eje es cercano al doble del diámetro calculado, por lo que la máquina puede trabajar con este eje, también mencionar que el factor de seguridad para nuestro diseño es 2.



**Figura 3-3 Diseño final del eje.**

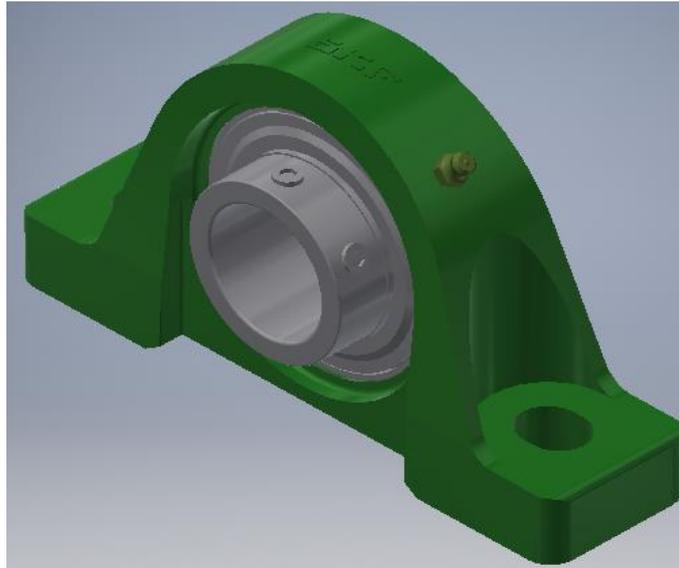
### 3.4 Resultado de selección de rodamiento

Para obtener un buen resultado de selección se hizo el uso del catálogo SKF. A continuación, en la Tabla 3-1 se presenta las especificaciones de la selección de rodamiento.

**Tabla 3-1 Especificación de la selección de rodamiento**

Eje de troceado	Sección	Dimensiones	Modelo de rodamiento	Carga Equivalente	Carga dinámica
<b>Motriz</b>	B	38 mm	UCP 208-24	6289.93 N	32.5 KN
<b>Motriz</b>	D	38 mm		5247.6 N	
<b>Conducido</b>	B	38 mm		843.70 N	
<b>Conducido</b>	D	38 mm		170.48 N	

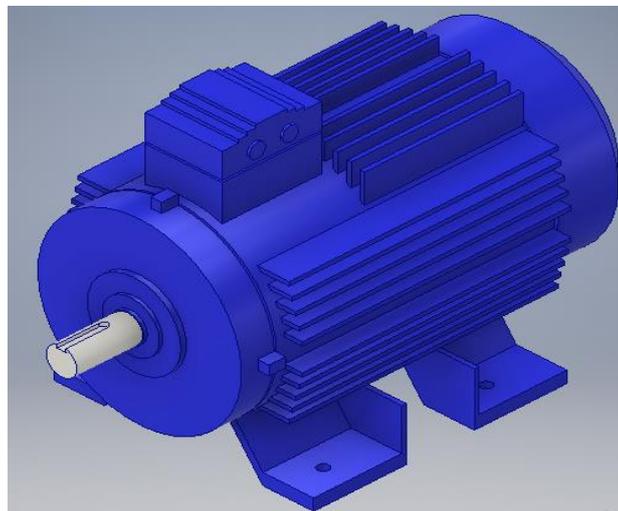
Los dos ejes de trituración tienen igual diámetro por lo que se seleccionó el mismo modelo de rodamiento, los dos ejes son los que soportan una gran carga debido a la cantidad de cuchillas, separadores y la fuerza sobre las cuchillas. El diámetro del eje es de 38 mm, el cual el rodamiento seleccionado mediante el Manual de SKF es UCP208-24. Los cálculos detallados de la selección de rodamiento se presentan en Apéndice A y en el Apéndice B se encuentra una ficha técnica del rodamiento seleccionado.



**Figura 3-4** Diseño de chumacera con el rodamiento seleccionado.

### **3.5 Resultados de la Selección del Motor**

Para esta sección el motor entregado por el CDTs es un motor eléctrico Siemens trifásico de 5 HP con una velocidad 1740 RPM, que trabaja con una red eléctrica de 60 Hz con voltaje de 220 V a 440 V. El torque generado por el motor es de 20.47 Nm.

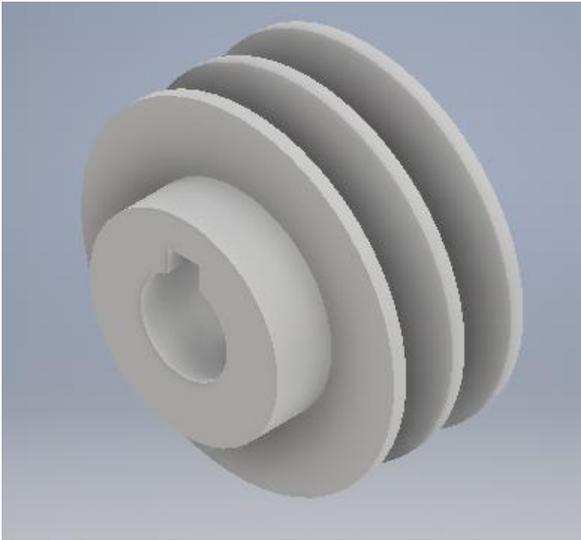


**Figura 3-5** Diseño del motor seleccionado.

### **3.6 Resultados de Selección de Bandas y Poleas**

Para la selección de las poleas se utilizó el catálogo INTERMEC, de acuerdo con las especificaciones del motor, el diámetro mínimo de la polea es 75 mm, y se seleccionó poleas de 4 pulgadas que cumplen con la especificación del diámetro. Por otro lado,

utilizando la potencia de diseño y la velocidad del motor, se obtuvo el tipo de banda, que es de tipo A y con base a esto, se calculó el número de canales de la polea, 2 canales. Como resultado se seleccionó la polea con la nomenclatura P-2A110, de acuerdo con esta información y el cálculo realizado de la longitud de banda, se seleccionó la banda adecuada para el sistema.



**Figura 3-6 Diseño de la polea seleccionada.**

Los cálculos detallados de la selección de poleas y bandas se presentan en Apéndice A.

**3.7 Resultados de Diseño de Engranajes**

En el diseño de engranajes, se realizaron los cálculos en base a los engranes provistos por el CDTS que tiene como características principales el diámetro exterior de 167 mm y el número de dientes es 40. A su vez, la relación es de 1, por lo tanto, los dos engranajes que se colocaron en cada eje son de las mismas dimensiones. De acuerdo con los datos conocidos se calcularon los parámetros que cumplen con las especificaciones del diseño de la máquina para su funcionamiento.

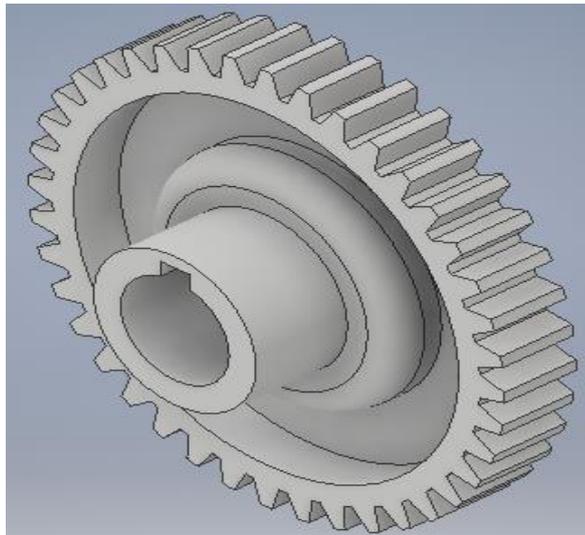
En la Tabla 3-2 se presenta los parámetros del diseño de engrane.

**Tabla 3-2 Parámetros de diseño de engrane.**

Parámetro de los Engranajes	
Diámetro exterior ( $D_{ext}$ )	167 [mm]
Diámetro Primitivo ( $D_p$ )	160 [mm]
Diámetro Interior ( $D_{int}$ )	149 [mm]
Numero de diente (N)	40 [mm]

Modulo (M)	4
Paso circular $P_c$	12.57 [mm]
Altura del diente (H)	9 [mm]

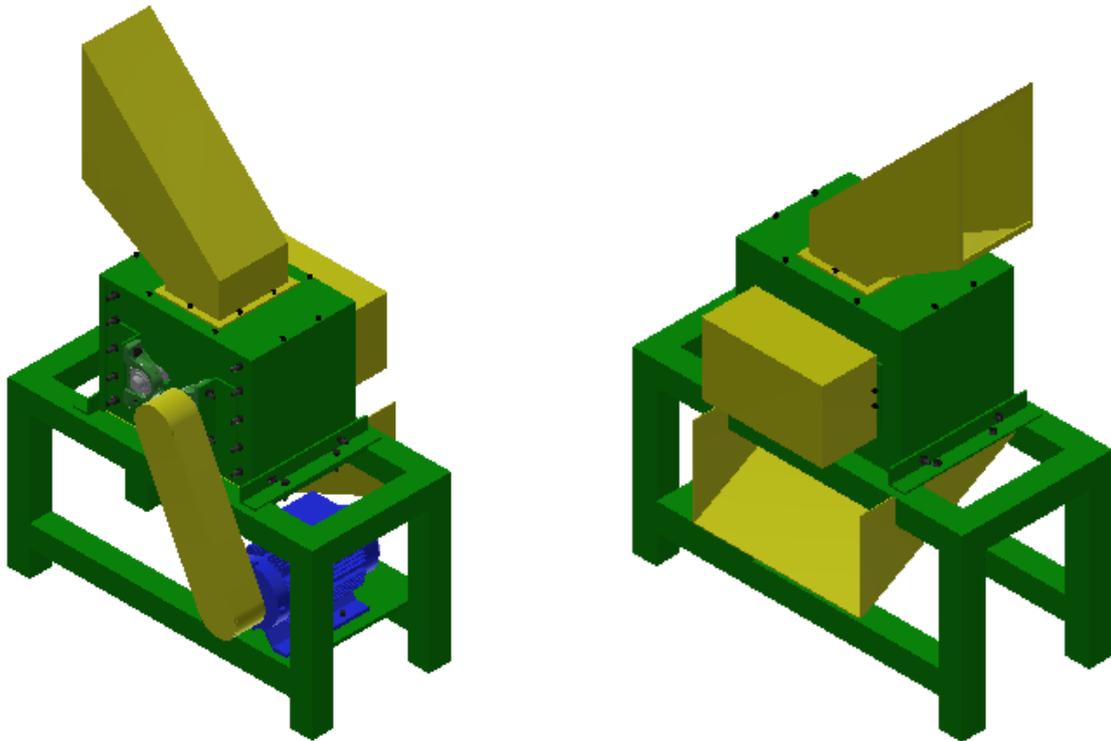
Los cálculos detallados de los engranajes se presentan en Apéndice A.



**Figura 3-7 Diseño del engranaje.**

### **3.8 Resultado de Planos Mecánicos de la troceadora**

En Apéndice E se encuentra los planos de cada pieza mecánica y los modelados en 3D de la troceadora de cuchilla con sus respectivas medidas. A continuación, se presenta el modelado en 3D de la máquina ensamblada.



**Figura 3-8 Diseño de la troceadora de cuchilla en 3D.**

### **3.9 Construcción de la Troceadora de Cuchilla**

En Apéndice C se detalla la construcción de la máquina, teniendo en consideración que ciertos materiales y partes mecánicas fueron provistos por el CDTs. A continuación, en la Tabla 3-3 se presenta los elementos fabricados que forma parte de la troceadora de cuchilla.

**Tabla 3-3 Elementos de la caja de troceado**

Elementos de la caja de troceado	
Separadores de cuchilla – Acero A32	

<p>Placa de cuchilla – Acero A32</p>	 A photograph showing a metal plate being machined on a lathe. The plate is held in a chuck and is being turned against a cutting tool. The workpiece has a complex, multi-lobed shape.
<p>Cuchillas</p>	 A photograph showing several metal blades with square holes, arranged on a workbench. The blades have a complex, curved shape and are likely used for cutting or grinding.
<p>Engranajes – Z=40 M=4</p>	 A photograph showing a large metal gear with 40 teeth and a module of 4. The gear is mounted on a shaft and is being inspected.
<p>Eje Cuadrado – AISI 4340</p>	 A photograph showing a square shaft with a spiral groove, likely used for a screw conveyor. The shaft is made of AISI 4340 steel.

### 3.10 Prueba de Funcionamiento

Finalizado el diseño y construcción de la máquina troceadora, se realizó las pruebas funcionamiento. La evaluación se basó en la comparación de las dimensiones deseada por el CTDS, antes y después del proceso de corte de los tipos de leña.

A continuación, se presenta los parámetros de dos tipos de leña, antes y después del proceso.

**Tabla 3-4 Pruebas de funcionamiento con leña de Amarillo.**

	Leña de Amarillo	
	Inicial	Final
Longitud [cm]	[20 - 25] [cm]	[8 - 12] [cm]
Grosor aproximado[cm]	[5 - 7] [cm]	[1 - 2] [cm]
Tiempo de corte	4-8 segundos	
		

**Tabla 3-5 Prueba de funcionamiento con leña de Neem.**

	Leña de Neem	
	Inicial	Final
Longitud [cm]	[35 - 40] [cm]	[7 - 10] [cm]
Grosor [cm]	[5 - 7] [cm]	[1 - 2] [cm]
Tiempo de corte	4-8 segundos	



### 3.11 Análisis de Costos

En esta sección se presentan los costos de materiales y elementos normalizados para la fabricación de la troceadora de cuchilla, incluyendo el costo de mano de obra para diferentes procesos y montaje, valor consultado en un taller mecánico que se encuentra en la ciudad de Guayaquil.

Cabe recalcar que el precio correspondiente a los aceros utilizados para la construcción varía en los mercados locales, por ende, el costo puede variar, además la plancha de acero más comercializada es de 1.22 x 2.44 metros cuya área es de 2.976 m<sup>2</sup>.

A continuación, se presenta en las Tablas 3.6 los costos de materiales.

**Tabla 3-6 Costo de materiales.**

<b>Cantidad por m o m<sup>2</sup></b>	<b>Parte de la máquina</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Costo Unitario [USD/m o m<sup>2</sup>]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
6 metros	Base estructural	Perfil cuadrado 3" X 3 mm ASTM A36	\$10 por metro	\$60

0.3 m <sup>2</sup>	Base del motor y caja de trituración	Plancha de acero, e=1/2" ASTM A36	\$144.85 por m <sup>2</sup>	\$43.5
0.712 m <sup>2</sup>	Caja de troceado	Plancha de acero e=18 mm ASTM A36	\$237.35 por m <sup>2</sup>	\$194.7
1.18 metros		Perfil L 75mm X 75mm X 8mm	\$13.45 por metro	\$15.87
1.52 metros		Perfil L 38 mm x 38 mm x 6 mm	\$5 por metro	\$7.60
0.1908 m <sup>2</sup>		Plancha de acero e=1/4" ASTM A36	\$83.75 por m <sup>2</sup>	\$15.98
0.096 m <sup>2</sup>		Plancha de acero e=1/2" ASTM A36	\$144.85 por m <sup>2</sup>	\$13.90
0.242 m <sup>2</sup>	Separadores	Plancha de acero e = 24 mm ASTM A36	\$304.20 por m <sup>2</sup>	\$73.62
0.8 m <sup>2</sup>	Disco de Cuchillas	Plancha de acero e=18 mm ASTM A36	\$237.35 por m <sup>2</sup>	\$189.88
1.20 metros	Eje de la troceadora	Material cuadrado AISI 4340/705 L=45 mm	\$56.00 por metros	\$67.20
2.9768 m <sup>2</sup>	Tolva de alimentación y descarga	Plancha de acero e = 2 mm ASTM A36	\$22.05 por m <sup>2</sup>	\$65.65
6 metros		Perfil L 20 mm x 20 mm x 2 mm	\$1.75 por metro	\$10.50
<b>Total (Incluye IVA)</b>				<b>\$758.4</b>

**Tabla 3-7 Costos Consumibles.**

<b>Cantidad</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
5	Disco zirconio de 4 ½”, Grano 80	\$1.20	\$6.00
5	Disco zirconio de 4 ½”, Grano 80	\$1.10	\$5.50
5	Disco de corte de 4 ½”, 1.2 mm	\$1.25	\$6.25
1	Funda de soldadura AGA, 5 kg - E6011 – 1/8”	\$27.50	\$27.50
1	Funda de soldadura AGA, 5 kg – E7018 – 1/8”	\$35.55	\$35.55
1	Brocha de 2”	\$1.50	\$1.5
<b>Total</b>			<b>\$82.3</b>

**Tabla 3-8 Costos de acabado.**

<b>Cantidad [L]</b>	<b>Especificaciones</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
4	Pintura esmalte Anticorrosivo color amarillo	\$4.00	\$16.00
2	Pintura esmalte Anticorrosivo color verde claro	\$4.00	\$8.00
0.25	Pintura esmalte Anticorrosivo color anaranjado	\$5.00	\$1.25
<b>Total</b>			<b>\$25.25</b>

Por lo tanto, el valor total de los materiales, consumibles y materiales para el acabado es \$865.95 dólares.

**Tabla 3-9 Costos de Elementos Normalizados.**

<b>Cantidad</b>	<b>Elementos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
1	Motor Eléctrico marca Siemens, trifásico.	Tipo 1LA7 112-4YA60, 5 HP – 1740 rpm	\$550	\$550
2	Poleas 4" x 2	Tipo V, Hierro fundido, maciza.	\$30	\$60
2	Engranaje	Dimensiones: D <sub>ext</sub> =167 mm, módulo = 4, número de diente= 40	\$120	\$240
4	Chumacera	UCP 208-24	\$	\$34
2	Banda A52	Tipo A	\$9.99	\$19.98
20	Pernos	Perno de acero 5/16" x 3/4"	\$0.25	\$5.00
20	Arandela	Arandela plana para pernos de 5/16"	\$0.05	\$1.00
12	Tuerca	Tuerca 5/16"	\$0.10	\$1.20
8	Pernos	Perno de acero 7/16" x 1 1/2"	\$0.35	\$2.80
16	Arandela	Arandela plana para perno 7/16"	\$0.10	\$1.60
8	Tuerca	Tuerca de seguridad Nylon 7/16"	\$0.25	\$2.00
4	Perno	Perno de acero 3/8" x 1 1/2"	\$0.40	\$1.60
8	Arandela	Arandela plana para perno 3/8"	\$0.10	\$0.80
4	Arandela	Arandela de presión para perno 3/8"	\$0.10	\$0.40
4	Tuerca	Tuerca de seguridad Nylon 3/8"	\$0.25	\$1.00
22	Pernos	Pernos de acero 1/2" x 2"	\$0.65	14.3
22	Arandela	Arandela plana para perno 1/2"	\$0.15	\$3.30
22	Tuerca	Tuerca de seguridad Nylon 1/2"	\$0.45	\$7.7
4	Prisionero Allen	Prisionero M8 X 3/4"	\$0.25	\$1.2
4	Prisionero Allen	Prisionero 7/16" x 1/2"	\$0.20	\$0.8

8	Prisionero Allen	Prisionero M12 x 1/2"	\$0.45	\$3.6
<b>Total</b>				<b>\$952.28</b>

**Tabla 3-10 Costos de Mano de Obra.**

<b>Tipo de trabajo</b>	<b>Costo total [USD]</b>
Torneado	\$500.00
Fresado	\$330.00
Taladrado	\$174.00
Corte con pantógrafo	\$980.00
Corte con autógenas	\$30.00
Soldadura	\$370.00
Pintura y acabado	\$60.00
Ensamblado	\$250.00
<b>Total</b>	<b>\$2694.00</b>

En el Apéndice C se detalla el tipo de trabajo realizado para cada proceso de mecanizado y en el Apéndice D se muestra las proformas de las cotizaciones que se realizaron para la construcción del prototipo. Además, el costo se tomó a criterio del jefe del taller mecánico donde se fabricó la troceadora de cuchilla, cabe recalcar que el precio puede variar en otros talleres. El resultado total de la mano de obra es \$2694 dólares.

**Tabla 3-11 Costo total de Construcción.**

<b>Descripción</b>	<b>Costo total [USD]</b>
Costo de materiales metálicos	\$758.40
Costo de elementos normalizados	\$952.28
Costo consumible	\$82.30
Costo de materiales para el acabado	\$25.25
Costo de mano de obra	\$2694.00

<b>Subtotal</b>	\$4512.23
Gasto de transporte y alimentación (5% del subtotal)	\$225.60
<b>Total</b>	\$4737.84

El costo total de construcción de la troceadora de cuchilla es de \$4737.84 dólares, por lo tanto, realizando una comparación con precios existentes en el mercado internacional, nuestro proyecto tiene un costo accesible. Cabe recalcar que en el mercado existen troceadoras de cuchilla con capacidad de suministro igual o mayor, con un diseño compacto y duradero pero sus grandes desventajas frente a nuestro producto son sus elevados costos.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo principal de desarrollar un prototipo de máquina de troceado para residuos lignocelulósicos con una capacidad de 10 kg/h para facilitar el transporte y el desarrollo de pruebas de valorización energética.
- El sistema de transmisión de potencia va a permitir a generar el torque suficiente a los ejes que conforman la troceadora, por lo que los elementos seleccionados, de acuerdo con los cálculos realizados y los elementos validados para el funcionamiento de la máquina, lo que produce un troceado de mejor calidad con respecto al proceso manual y la máquina sea fácil de operar para el usuario y se pueda realizar el trabajo.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento en la máquina con dos tipos de leña, una muestra de árbol Amarillo, y la otra muestra de árbol de Neem, en las cuales se obtuvo trozos de grosor de 1 a 2 cm, y en longitud de 7 a 10 cm, en un tiempo promedio de 4 a 8 segundos, por lo que se puede concluir la mejora en la eficiencia del proceso de troceado con respecto al troceado manual, a su vez se aprobó el correcto funcionamiento de la máquina por el personal del CDTTS.
- Con base al diseño óptimo, se construyó cada pieza mecánica y estructura, además se adquirió todos los elementos normalizados en los mercados locales. El costo total de la construcción de la troceadora de cuchilla es \$4737.84 dólares, por lo tanto, realizando una comparación con precios existentes en el mercado internacional, nuestro proyecto tiene un costo accesible.

### 4.2 Recomendaciones

- Antes de manipular la máquina y ponerla en funcionamiento, revisar el manual y usar los equipos de protección personal para trabajar sin peligro y sobre todo salvaguardando la integridad física del operario, también revisar que no existan objetos que dificulten el normal funcionamiento del equipo.

- Tener en cuenta el mantenimiento de la máquina troceadora, llevar un registro donde se detalle, si se hace algún tipo de mantenimiento a cada elemento, o si se realiza cambio de elemento, siempre teniendo claro las rutinas de mantenimiento explicadas en el plan de mantenimiento.
- Al momento de ingresar la leña en la tolva, hacerlo de una manera correcta para que ésta no se quede sin ser troceada, y a su vez se recomienda que la leña que no sobrepase a una longitud de 45 cm, esto para evitar que se quede atrapado en la tolva de alimentación.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Grupo de investigación AGR-203, «Red OTRI Andalucía,» 2022. [En línea]. Available: <http://www.redotriandalucia.es/patentes/pretratamiento-de-biomasa-lignocelulosica-para-la-/>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [2] T. I. d. s. reservados, «TAMA AERNOVA,» [En línea]. Available: <https://www.tamaaernova.com/es/blog/detail/biomass-environmentally-friendly-but-potential-health-hazard.html>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [3] A. I. d. L. H. -. C. d. P. Taranco, «iuFORdata,» 2012. [En línea]. Available: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>. [Último acceso: 17 06 2022].
- [4] J. y. R.-G. W. Arroyo-Vinueza, «Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor,» *Ingenius N.16*, nº 1390-650X, 2016.
- [5] «Tecnosolab - Energía Solar y Sistema de Riego,» [En línea]. Available: <https://tecnosolab.com/tecnosol/biomasa>. [Último acceso: 20 06 2022].
- [6] N. Ramirez, «ProIndustriales,» [En línea]. Available: <http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html>. [Último acceso: 25 06 2022].
- [7] C. A. L. PAIZ, «PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE SAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA USAC,» 2 09 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/96232738-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-mecanica.html>. [Último acceso: 26 06 2022].
- [8] AIMIX GROUP, «AIMIX,» [En línea]. Available: <https://aimixtrituradora.com/trituradora-de-mandibula/>. [Último acceso: 25 06 2022].
- [9] «Metalurgista de 911Metallurgiist,» 1 07 2018. [En línea]. Available: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/trituradora-de-mandibula/>. [Último acceso: 25 06 2022].

[1 A. Aguirre, «Striatum,» Grupo Editorial, 2013. [En línea]. Available:  
0] <https://gstrium.com/2013/02/13/tipos-de-biomasa-2/>. [Último acceso: 20 06 2022].

[1 R. Estévez, «Eco Inteligencia,» 22 05 2012. [En línea]. Available:  
1] <https://www.ecointeligencia.com/2012/05/biodiesel-y-nuestro-medio-ambiente/>.

[Último acceso: 20 06 2022].

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Cálculo de cuchillas

Se detalla los respectivos cálculos de cuchillas provistos por el CDTS, teniendo una inclinación  $\alpha=27^\circ$  con respecto a la materia prima, mientras que los anchos de viruta son de 10 mm y 15 mm respectivamente, de acuerdo con la ecuación 3 se calcula la relación:

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{10 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = 0.67$$

Teniendo la relación de viruta, entonces se pudo obtener el ángulo de plano de corte con la ecuación 4:

$$\tan \varphi = \frac{\cos 27^\circ}{1 - (0.67)\text{sen } 27^\circ} = 1.28$$

$$\varphi = \tan^{-1} 1.28 = 52^\circ$$

Ahora con los ángulos obtenidos se calculó el último ángulo implicado en el proceso de corte:

$$\beta = 2 \left( 45^\circ + \frac{\alpha}{2} - \varphi \right) = 2 \left( 45^\circ + \frac{27^\circ}{2} - 52^\circ \right) = 13^\circ$$

A su vez para obtener las fuerzas que actúan en las cuchillas es importante el cálculo que se realizó del área del plano de corte y el esfuerzo cortante:

$$As = \frac{t_o w}{\text{sen } \varphi} = \frac{10(18)}{\text{sen } 52^\circ} = 228.42 \text{ mm}^2$$

$$\tau = 0.7(350 \text{ MPa}) = 245 \text{ MPa}$$

$$Fs = As * \tau = 228.42 * 245 = 55.96 \text{ kN}$$

Con todos los datos calculados se procedió a obtener la fuerza de corte y la fuerza de empuje presentes en la cuchilla por cada diente:

$$Fc = \frac{Fs \cos(\beta - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} = \frac{55.96 \cos(13 - 27)}{\cos(52 + 13 - 27)} = 68.90 \text{ kN}$$

$$Ft = \frac{Fs \text{sen}(\beta - \alpha)}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} = \frac{55.96 \text{sen}(13 - 27)}{\cos(52 + 13 - 27)} = 17.20 \text{ kN}$$

### Diseño del eje de la troceadora

Para el cálculo de concentración de esfuerzo por el cambio de sección no se puede utilizar un diámetro equivalente ya que en el texto guía Diseño Ingeniería Mecánica de Shigley presenta concentración de esfuerzo para secciones circulares o vigas no rotatoria. Por lo tanto, se trabajó con el eje entregado por el CDTS, así mismo se tomaron los datos del eje como la longitud del cuadrado para determinar el área y así para empezar con el cálculo de concentración de esfuerzo, el cual se modela el eje cuadrado como si fuera una sección circular.

$$A_{\text{Circular}} = A_{\text{Cuadratica}}$$

$$\pi r^2 = L^2$$

$$r = L \sqrt{\frac{1}{\pi}} = 45 \frac{1}{\sqrt{\pi}}$$

$$r = 25 \text{ mm}$$

Se procede a determinar el torque y la fuerza del eje, asumiendo que la velocidad angular con la que se mueven los engranes es igual a la velocidad nominal del motor.

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{3728.5 \text{ w}}{1740 \text{ rpm}} = \frac{3728.5}{182.21}$$

$$T = 20.46 \text{ Nm}$$

Por lo tanto, asumiendo que las cuchillas tienen un diámetro de 19 cm, se determina la fuerza de que siente las cuchillas:

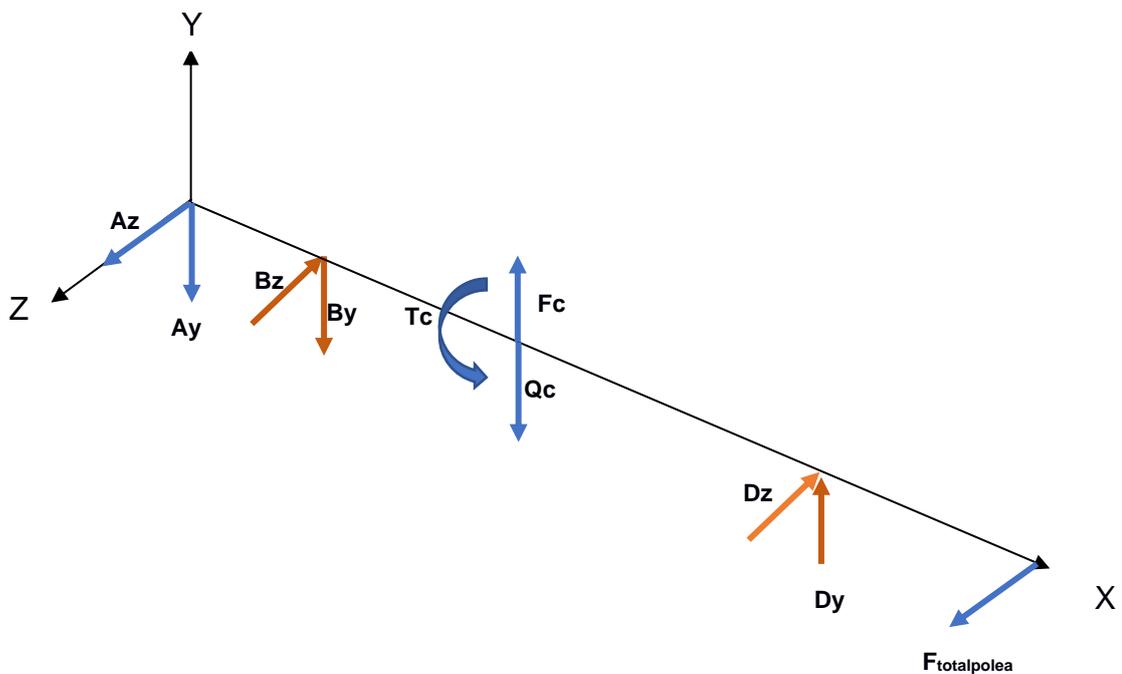
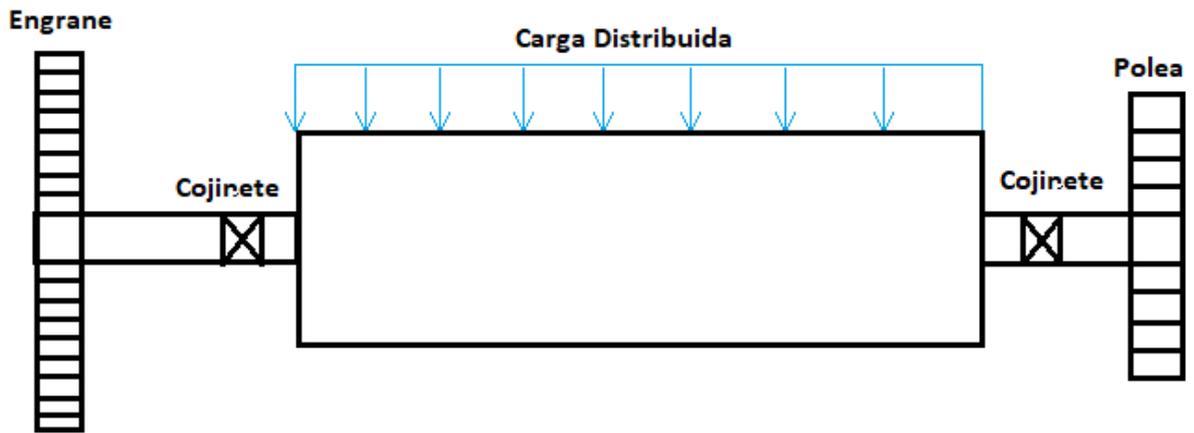
$$T = F * r$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{20.47 \text{ Nm}}{0.095 \text{ m}}$$

$$F_c = 215.47 \text{ N}$$

### Análisis estático del eje con la polea

Se presenta el diseño de forma del eje con la polea conducida que se utilizara en la troceadora.



Donde:

$A_z, A_y$  = Fuerzas del engrane

$B_z, B_y$  = Reacciones del cojinete 1

$F_c$  = Fuerza de empuje producida por el motor

$Q_c$  = Carga distribuida por la cuchilla y separador

$D_z, D_y$  = Reacciones del cojinete 2

$F$  = Fuerza de la polea

Para determinar todas las fuerzas que actúan en la sección del troceado primero se debe calcular el volumen total de los separadores, cuchillas y del eje. Cabe recalcar que el volumen de la cuchilla, separadores y eje se obtuvo mediante el software INVENTOR

- Volumen total de la cuchilla

En un eje contiene 7 cuchillas.

$$V_{Cuchilla-total} = 186031 \text{ mm}^3 \times 7 = 1302219.45 \text{ mm}^3$$

- Volumen total de separadores

En un eje contiene 7 separadores.

$$V_{separadores total} = 105850.5 \text{ mm}^3 \times 7 = 1160953.5 \text{ mm}^3$$

- Volumen total del eje

$$V_{eje} = 994789.52 \text{ mm}^3$$

$$V_{total Cuchilla-separadores} = V_{Cuchilla-total} + V_{separadores total}$$

$$V_{total Cuchilla-separadores} = 2463172.95 \text{ mm}^3 = 0.0024632 \text{ m}^3$$

$$V_{eje} = 0.000995 \text{ m}^3$$

Se procede hallar la carga por peso de cada componente. Para la cuchilla y separadores la densidad del material es 7700 kg/m<sup>3</sup> y para el eje su densidad es 7850 kg/m<sup>3</sup>.

$$Q_{cuchilla y separador} = \rho * V_{total Cuchilla-separadores} * 9.81$$

$$Q_{cuchilla y separador} = 7700 * 0.0024632 * 9.81 = 186.06 \text{ N}$$

$$Q_{Eje} = \rho * V_{eje} * 9.81$$

$$Q_{Eje} = 7850 * 0.000995 * 9.81 = 76.62 \text{ N}$$

Entonces la carga total es:

$$Q_{Total} = 262.68 \text{ N}$$

Para determinar la fuerza transmitida de la polea conducida gira a 1740 rpm con un diámetro de 110mm.

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{3728.5 \text{ w}}{1740 \text{ rpm}} = \frac{3728.5}{182.21}$$

$$T = 20.47 \text{ Nm}$$

Entonces la fuerza transmitida de la poles es:

$$T = F * r$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{20.47 \text{ Nm}}{0.055 \text{ m}}$$

$$F_p = 372.18 \text{ N}$$

Se determina la fuerza de flexión en poleas trapezoidales.

$$F_{flexion} = 1.5 * F_p$$

$$F_{flexion} = 1.5 * 372.18 = 558.27 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza total de la polea es:

$$F_{total} = F_{flexion} + W_{polea}$$

$$F_{total} = 558.27 + 1.57 * 9.81 = 573.67 \text{ N}$$

Para determinar la carga transmitida en los engranes rectos con la siguiente ecuación:

$$W^t = \frac{60000 * H}{\pi * d * n} = \frac{60000 * 3730w}{\pi * 168 \text{ mm} * 1740rpm}$$

$$W^t = 243.69 \text{ N}$$

Por teorema de la ley del seno se procede hallar la fuerza radial del engrane, cabe recalcar que la carga distribuida es igual a la fuerza tangencial.

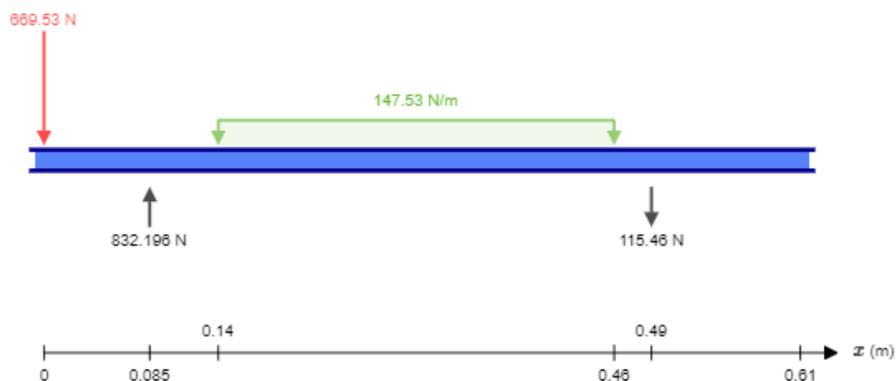
$$\frac{F_r}{\sin 70} = \frac{F_t}{\sin 20}$$

$$F_r = 669.53 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza resultante del engrane es:

$$F_T = \sqrt{669.53^2 + 243.69^2} = 712.5 \text{ N}$$

Diagrama de cuerpo libre del eje con polea en base eje x vs y.



SkyCiv

Diagrama de esfuerzo cortante eje Y.

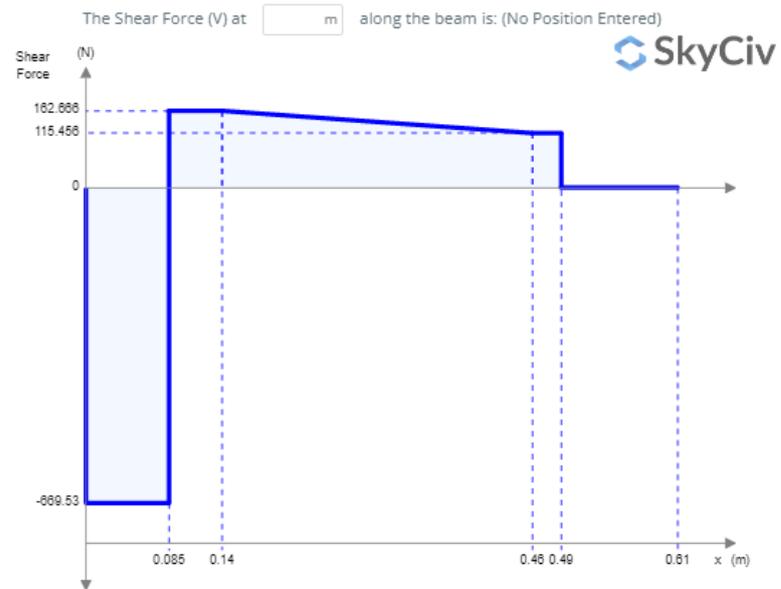


Diagrama de momento eje Y.

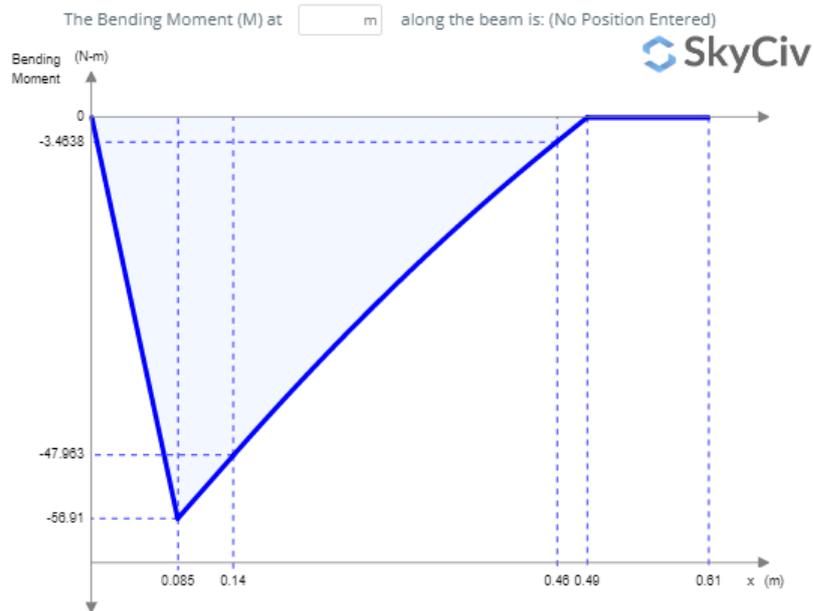


Diagrama de cuerpo libre del eje con polea en base eje x vs z.

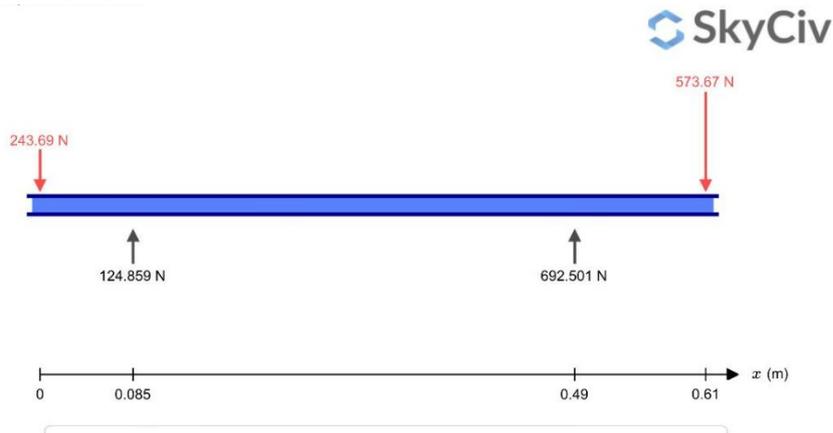
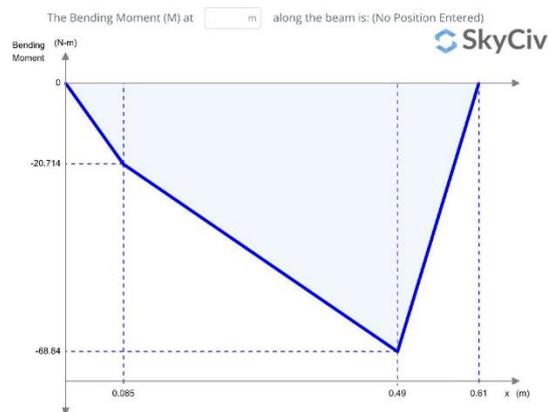


Diagrama de esfuerzo cortante eje Z.



Diagrama de momento eje Z.



### Diseño de eje

A continuación, se procede a calcular el valor limite a la resistencia de fatiga considerando un acero AISI 4340.

$$S_y = 900 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 1200 \text{ MPa}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

Donde:

$k_a$  = factor de modificación de la condición superficial

$k_b$  = factor de modificación del tamaño

$k_c$  = factor de modificación de la carga

$k_d$  = factor de modificación de la temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de modificación de efectos varios

$S_e'$  = límite de resistencia a la fatiga

Donde  $K_a$  se lo determina con la siguiente ecuación:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

$$k_a = 4.51(1200)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.689$$

Donde  $K_b$ :

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$K_b = 1.24d^{-0.107}$$

$$K_b = 1.24(50)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.82$$

Para  $K_c$ ,  $k_d$  y  $k_f$ .

$$K_{c,d,f} = 1$$

Para  $K_e$  se utiliza una confiabilidad 99.9.

$$K_e = 0.753$$

Para determinar  $S_e'$  con la siguiente ecuación:

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0.5(1200)$$

$$S_e' = 600 \text{ MPa}$$

Finalmente, se determina el valor de resistencia a la fatiga:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S_e = (0.689)(0.825)(1)(1)(0.753)(1)(600)$$

$$S_e = 256.81 \text{ MPa}$$

De acuerdo con los criterios de falla, uno de los más conservativos es el criterio de Goodman, lo que ayudó a calcular el diámetro requerido para el tipo de carga que existen en la troceadora:

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(Kf * Ma)^2 + 3(Kfs * Ta)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} [4(Kf * Mm)^2 + 3(Kfs * Tm)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

En este caso,  $Mm=Ta=0$ , por lo que la ecuación se reduce a:

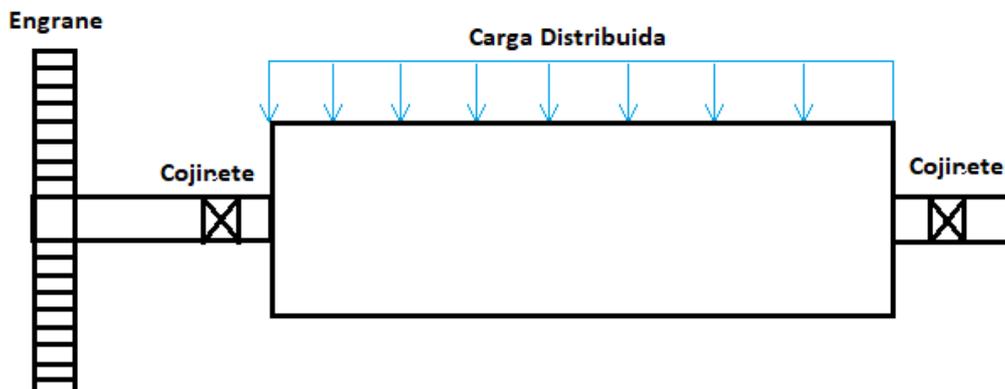
$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{2(Kf * Ma)}{S_e} + \frac{1}{S_{ut}} [3(Kfs * Tm)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Además, acotar la estimación de los valores de  $Kf$  y  $Kfs$  son 1.7 y 1.5 respectivamente.

$$d = \left( \frac{16(2)}{\pi} \left\{ \frac{2(1.7 * 60.56)}{256.81} + \frac{1}{1200} [3(1.5 * 20.47)^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 20.5 \text{ mm}$$

### Análisis estático del eje sin polea



Para el análisis estático del segundo eje, el engrane del primer eje transmite la misma potencia al segundo eje por lo que se asume que tiene la misma fuerza tangencial y radial, además la fuerza transmitida de los engranajes es igual por tener la misma geométrica y lo único que cambia es su dirección. La carga del eje es  $Q_c = 257.12 \text{ N}$ .

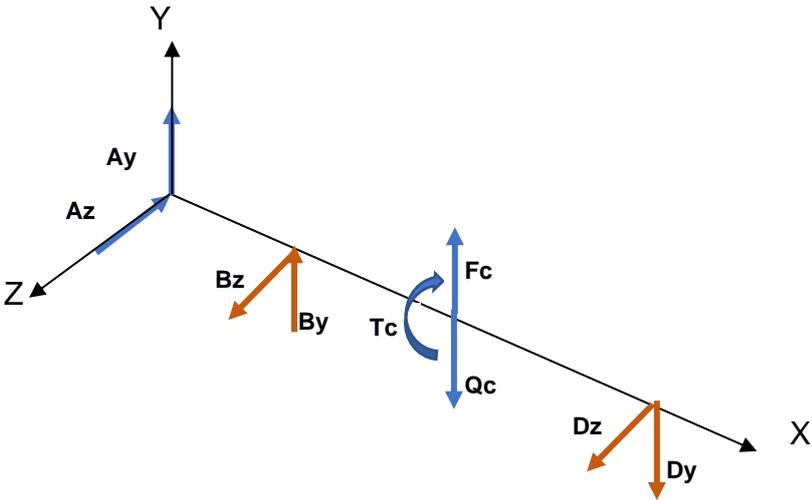


Diagrama de cuerpo libre del eje sin polea en base eje x vs y.

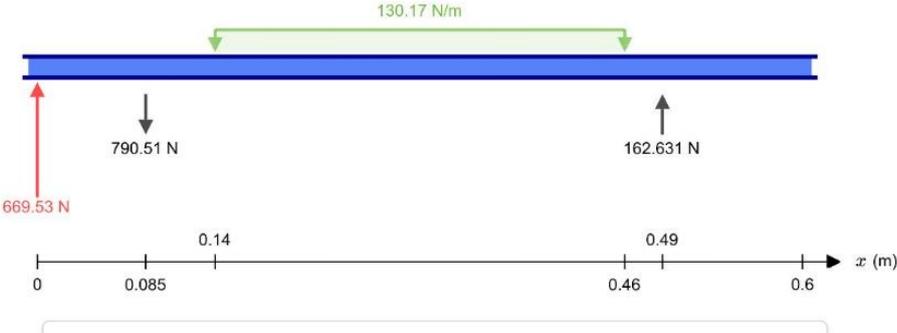


Diagrama de esfuerzo cortante eje Y.

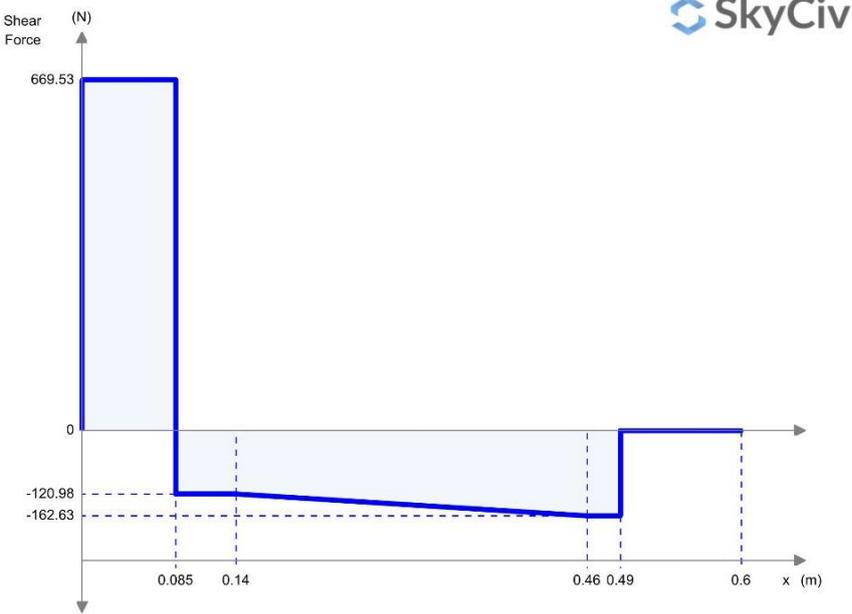


Diagrama de momento eje Y.

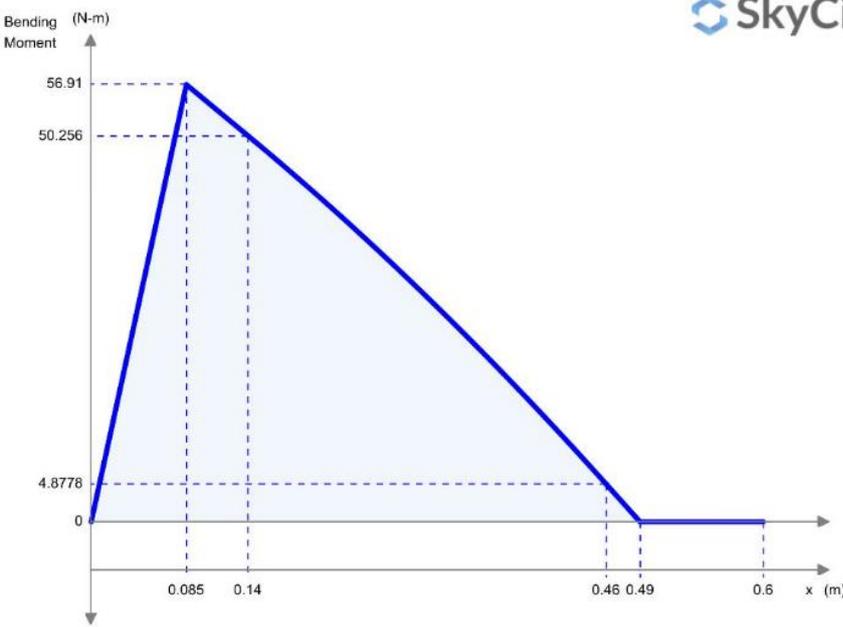


Diagrama de cuerpo libre del eje sin polea en base eje X vs Z.

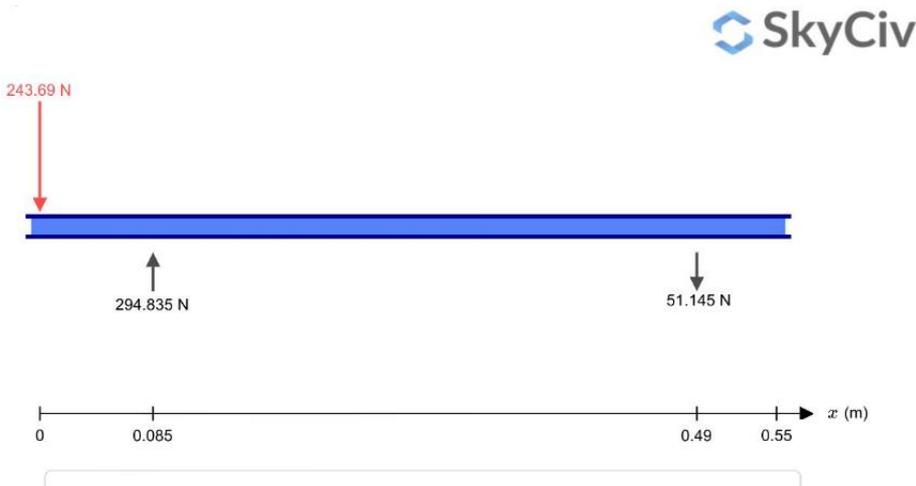


Diagrama de esfuerzo cortante eje Z.

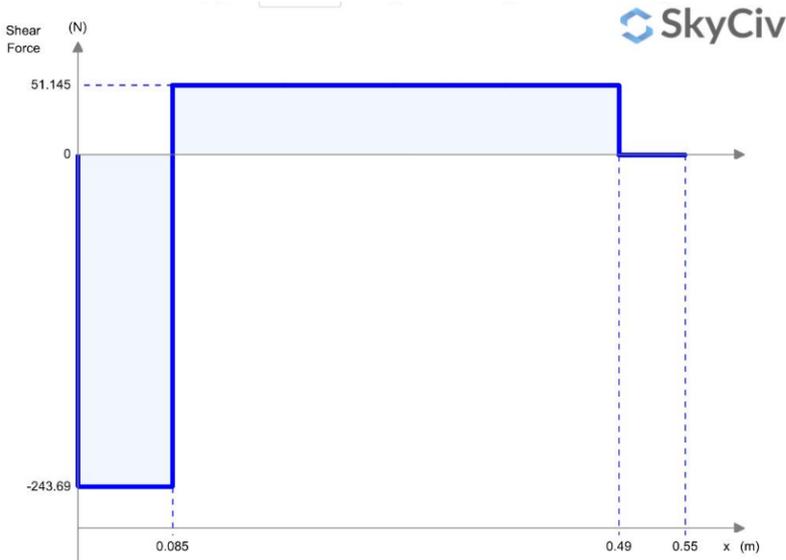
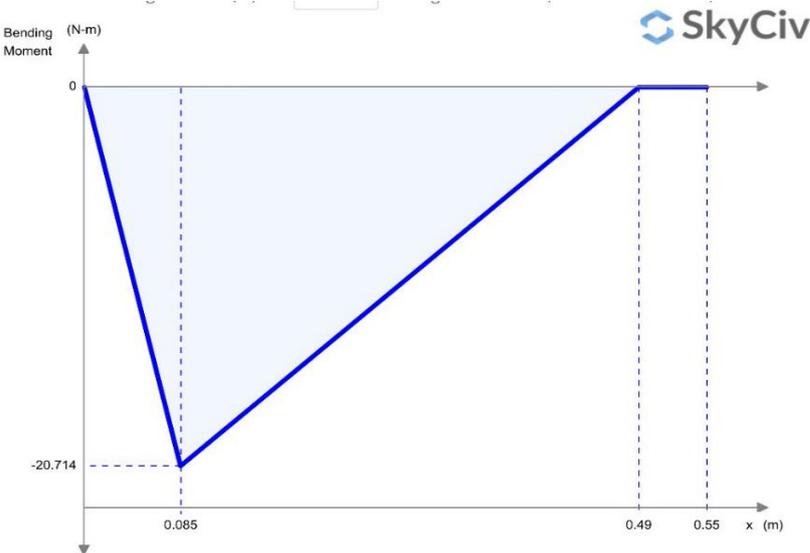


Diagrama de momento eje Z.



## Selección de Rodamiento

Para la selección de rodamiento primero se establecieron los siguientes datos:

D= 38 mm

n= 1740 rpm

P<sub>r</sub>= F = Fuerza

L<sub>10h</sub>=4000 horas

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10}$$
$$L_{10} = \frac{L_{10h} * 60 * n}{10^6} = \frac{4000 * 60 * 1740}{10^6}$$
$$L_{10} = 417.6 \text{ millones de revoluciones}$$

Se determina la resultante fuerza en el punto B.

$$B_{xy} = 832.196 \text{ N}$$
$$B_{xz} = 124.859 \text{ N}$$
$$F_B = \sqrt{832.196^2 + 124.859^2} = 841.51 \text{ N}$$

Se determina la resultante fuerza en el punto D.

$$D_{xy} = 115.46 \text{ N}$$
$$D_{xz} = 692.501 \text{ N}$$
$$F_D = \sqrt{115.46^2 + 692.501^2} = 702.06 \text{ N}$$

Por lo tanto, se procede a determinar la capacidad de carga dinámica en los siguientes puntos. Cabe recalcar que es rodamiento de bola por lo que el exponente de la ecuación de vida útil es 3.

- Punto B

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$
$$C = L_{10}^{\frac{1}{3}} * P$$
$$C = 417.6^{\frac{1}{3}} * 841.51 = 6289.93 \text{ N}$$

- Punto D

$$C = L_{10}^{\frac{1}{3}} * P$$
$$C = 417.6^{\frac{1}{3}} * 702.06 = 5247.6 \text{ N}$$

Rodamiento seleccionado es UCP 208-24.

Para el segundo eje de la troceadora de cuchilla, se determina la resultante fuerza en el punto B.

$$B_{xy} = 790.51 \text{ N}$$

$$B_{xz} = 294.835 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{790.51^2 + 294.835^2} = 843.70 \text{ N}$$

Se determina la resultante fuerza en el punto D.

$$D_{xy} = 162.631 \text{ N}$$

$$D_{xz} = 51.145 \text{ N}$$

$$F_D = \sqrt{162.631^2 + 51.145^2} = 170.48 \text{ N}$$

- Punto B

$$C = 417.6^{\frac{1}{3}} * 843.70 = 6306.3 \text{ N}$$

- Punto D

$$C = 417.6^{\frac{1}{3}} * 170.48 = 1274.26 \text{ N}$$

### Selección del motor

Torque generado por el motor se lo determinó de la siguiente ecuación:

$$P = T * \omega$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{5 \text{ Hp}}{1740 \text{ rpm}} = \frac{3728.5 \text{ Nm/s}}{182,21 \text{ rad/s}} = 20.47 \text{ Nm}$$

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia $\eta$ %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m <sup>2</sup>	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
25000001108	1LA7 070-4YC60	71M	0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
25000001109	1LA7 070-4YA60	71M	0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
25000001110	1LA7 071-4YA60	71M	0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
25000001111	1LA7 073-4YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
25000001113	1LA7 080-4YA60	80M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
25000001114	1LA7 081-4YA60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
25000001115	1LA7 083-4YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
25000001117	1LA7 090-4YA60	90S/L	2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
25000001118	1LA7 094-4YA60	90S/L	2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
25000001119	1LA7 096-4YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
25000001120	1LA7 111-4YA60	112M	4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
25000001121	1LA7 112-4YA60	112M	5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
25000001122	1LA7 113-4YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,60	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
25000001123	1LA7 114-4YA60	112M	7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
25000001124	1LA7 131-4YA70	132S/M	10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
25000001125	1LA7 133-4YA70	132S/M	12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
25000001126	1LA7 134-4YA70	132S/M	15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,06	1,8	5	0,024	62
25000001127	1LA5 164-4YB70	160 M/L	20	14,92	1,15	53	26,50	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25000001128	1LA5 167-4YC70	160 M/L	25	18,65	1,15	64	32,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	85,5
25000001129	1LA4 183-4YA80	180M	30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
25000001130	1LA4 186-4YA80	180L	36	26,86	1,05	93	46,50	91,3	0,83	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190

## Selección de bandas y poleas

Para la selección de bandas y poleas se trabajó con los parámetros del motor eléctrico entregado por el CDTS. A continuación, se presenta los datos de la placa de identificación del motor:

- Motor Eléctrico Marca Siemens 5 HP
- Velocidad angular 1750 RPM
- Velocidad requerida del sistema 1750 RPM
- Diámetro del eje 28 mm
- Factor de seguridad 1.10

Selección del diámetro mínimo de la polea recomendada para el motor eléctrico se utilizó el catálogo INTERMEC.

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

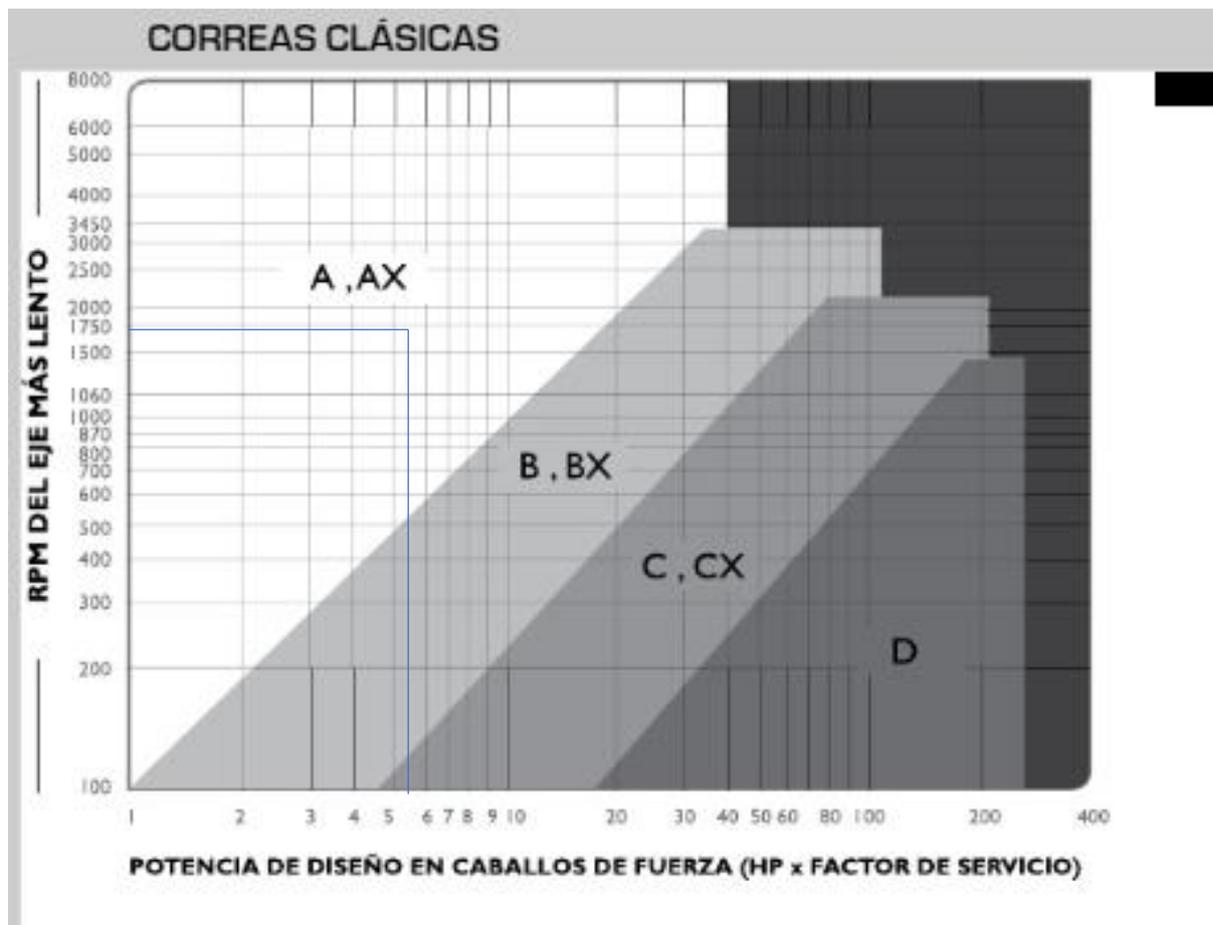
En la Figura se puede observar que con una potencia del motor de 5 HP con una velocidad de 1750 RPM se obtuvo un diámetro mínimo de polea de 75 mm.

La potencia del diseño se determinó mediante el factor de seguridad dado por la placa de identificación del motor.

$$P_{diseño} = FS * P_{motor}$$

$$P_{diseño} = 1.10 * 5 = 5.5 \text{ HP}$$

Se obtuvo 5.5 HP de potencia de diseño, por lo tanto, se selecciona el tipo de perfil de correa. A continuación, se eligió correas clásicas ya que este tipo de banda son fácil de encontrar en el mercado local.



En la Figura se puede observar que la intersección entre RPM del motor y la potencia del diseño nos muestra el tipo de perfil que se debe seleccionar, por lo cual se seleccionó el perfil tipo A.

Luego se procede a calcular el número de canal que tendrá las poleas del sistema, así mismo primero debemos saber la capacidad de transmisión por canal.

**CORREAS TIPO A**

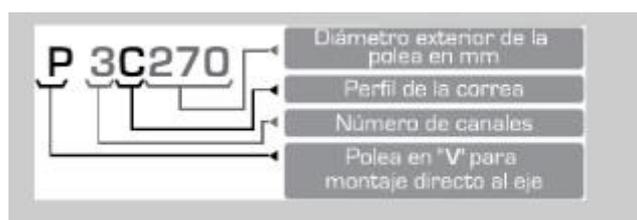
**TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)**

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	85	90	100	105	110	115	120	125	130
50	0.11	0.13	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24
100	0.20	0.23	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45
500	0.71	0.83	1.07	1.20	1.30	1.43	1.55	1.67	1.80
600	0.81	0.96	1.24	1.38	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08
700	0.91	1.08	1.40	1.57	1.73	1.90	2.05	2.20	2.36
800	1.00	1.20	1.56	1.74	1.92	2.10	2.28	2.46	2.64
900	1.10	1.30	1.70	1.90	2.10	2.30	2.50	2.70	2.90
1000	1.17	1.40	1.85	2.07	2.30	2.50	2.73	2.94	3.16
1100	1.25	1.50	1.98	2.23	2.47	2.70	2.94	3.17	3.40
1160	1.30	1.55	2.06	2.32	2.57	2.82	3.06	3.30	3.55
1200	1.32	1.60	2.12	2.38	2.63	2.90	3.15	3.40	3.65
1300	1.40	1.68	2.24	2.52	2.80	3.07	3.35	3.62	3.90
1400	1.46	1.77	2.37	2.66	2.96	3.25	3.54	3.83	4.10
1500	1.53	1.85	2.50	2.80	3.20	3.42	3.73	4.03	4.34
1600	1.60	1.93	2.60	2.93	3.26	3.60	3.90	4.23	4.55
1700	1.65	2.00	2.70	3.06	3.40	3.75	4.10	4.43	4.76
1750	1.67	2.04	2.77	3.13	3.48	3.83	4.18	4.52	4.86
1800	1.70	2.08	2.82	3.20	3.55	3.90	4.26	4.60	4.96
1900	1.75	2.15	2.93	3.30	3.70	4.06	4.43	4.80	5.16
2000	1.80	2.22	3.03	3.42	3.82	4.20	4.60	4.97	5.34
2100	1.85	2.28	3.12	3.53	3.94	4.35	4.74	5.14	5.53
2200	1.90	2.34	3.20	3.64	4.07	4.48	4.90	5.30	5.70

Se seleccionó una polea de montaje directo un diámetro exterior de 110 mm de y con una velocidad angular de 1750 RPM, donde se obtuvo una capacidad de transmisión por canal de 3.48 HP, así mismo se procede a calcular la cantidad de canal que debe tener las poleas con la siguiente ecuación:

$$n_{canales} = \frac{P_{diseño}}{P_{canal}} = \frac{5.5}{3.48} = 1.6 \cong 2 \text{ canales}$$

Nomenclatura de polea para montaje directo al eje



Una vez determinado todos los datos de la polea, la nomenclatura de la polea del motor es P-2A110.

La relación entre velocidad es 1, por lo que el diámetro exterior de la polea conducida es igual a la del motor.

Distancia entre centro recomendado

$$C = 1.5(D + d)$$

$$C = 1.5(110 + 110) = 330 \text{ mm}$$

Longitud de la banda en V

$$L_p = 2 * C + 1.57(D + d) + \frac{(D + d)^2}{4C}$$

$$L_p = 2 * 330 + 1.57(110 + 110) + \frac{(110 + 110)^2}{330}$$

$$L_p = 1152.07 \text{ mm}$$

### Cálculo de engranajes

Para esta sección se trabajó con los datos obtenidos de los engranes entregado por el CTDS. A continuación, los datos principales del engrane:

- Diámetro exterior = 167 mm
- Numero de dientes = 40

Para determinar el módulo del engrane se lo obtuvo con la ecuación del diámetro exterior.

$$D_e = M(Z + 2)$$

$$M = \frac{D_e}{(Z + 2)} = \frac{167}{40 + 2}$$

$$M = 3.96 \cong 4$$

Determinado el módulo se realizó a calcular el paso circular del engrane con la siguiente ecuación:

$$P_c = \pi * M$$

$$P_c = \pi * 4 = 12.57 \text{ mm}$$

Luego se procedió a calcular la altura del diente.

$$H = 2.25 * M$$

$$H = 2.25 * 4 = 9 \text{ mm}$$

Una vez obtenido la altura del diente y el diámetro exterior se procedió a calcular el diámetro interior del engrane.

$$D_i = D_e - 2H$$

$$D_i = 167 - 2(9) = 149 \text{ mm}$$

Para determinar el diámetro primitivo del engrane es el módulo por el número de diente.

$$D_p = M * Z = 4 * 40 = 160 \text{ mm}$$

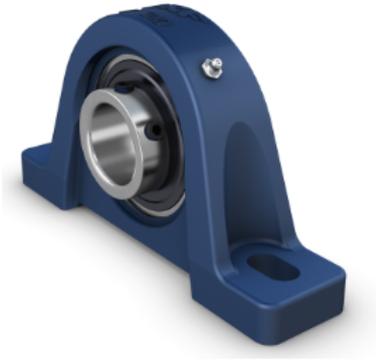
Finalmente, determinado el diámetro primitivo del piñón se procede a determinar la distante entre centro del eje. La rueda dentada y el piñón son iguales.

$$D_p = d_p$$
$$c = \frac{D_p + d_p}{2} = \frac{2 * 160}{2}$$
$$c = 160 \text{ mm}$$

# APÉNDICE B

## Fichas técnicas de los elementos mecánico seleccionado

- Rodamiento seleccionado

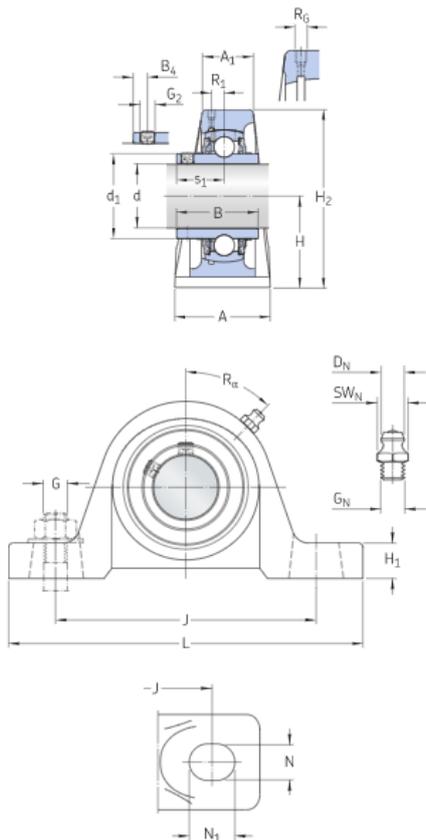


## UCP 208-24

Unidades de rodamientos de bolas con soporte de pie

Cumplimiento con el estándar	JIS
Para un propósito específico	Para aplicaciones de manipulación de materiales
Material del soporte	Fundición
Solución de sellado	Sellos estándares con aros deflectores adicionales

## Especificación técnica



## DIMENSIONES

d	38.1 mm	Diámetro del agujero
d <sub>1</sub>	≈ 52.5 mm	Diámetro del resalte del aro interior
A	49 mm	Ancho de la base
A <sub>1</sub>	30 mm	Ancho superior
B	49.2 mm	Ancho del aro interior
B <sub>4</sub>	8 mm	Distancia entre la cara lateral del dispositivo de fijación y el centro de la rosca
H	49.2 mm	Altura del centro del asiento esférico
H <sub>1</sub>	20.5 mm	Altura del pie
H <sub>2</sub>	101 mm	Altura total
J	137 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	max. 141 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
J	min. 133 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	184 mm	Longitud total
N	17 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
N <sub>1</sub>	21 mm	Longitud del agujero del tornillo de fijación
s <sub>1</sub>	30.2 mm	Distancia entre la cara lateral del dispositivo de fijación y el centro del camino de rodadura

## DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	32.5 kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	20 kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.85 kN
Velocidad límite		3 750 r/min

con tolerancia de eje h6

## MASA

Masa de unidad de rodamientos 2.05 kg

- Ficha técnica del acero AISI 4340 – 705

## ACERO MAQUINARIA



### 705-AISI 4340

**Generalidades:** 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros.

Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes.

Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

### ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
705	0.36	0.25	0.70	--	--	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

## APLICACIONES

### 1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes
- Cadenas
- Cigüeñales
- Ejes de leva
- Tornillería de alta resistencia

### 2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árboles para trituradoras
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- Barras de torsión
- Mandriles
- Portaherramientas

### 3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

## TRATAMIENTOS TÉRMICOS

### ■ Temple:

(830-850 °C), Con enfriamiento en aceite. El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

## EQUIVALENCIAS

<b>AISI/SAE</b>	4340
<b>DIN</b>	34CrNiMo6
<b>W.Nr</b>	1.6582
<b>JIS</b>	SNCM1
<b>AFNOR</b>	35NCD6

## PRPOIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

<b>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN</b>	<b>90-110 KG/MM<sup>2</sup></b>
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm <sup>2</sup>
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

## APÉNDICE C

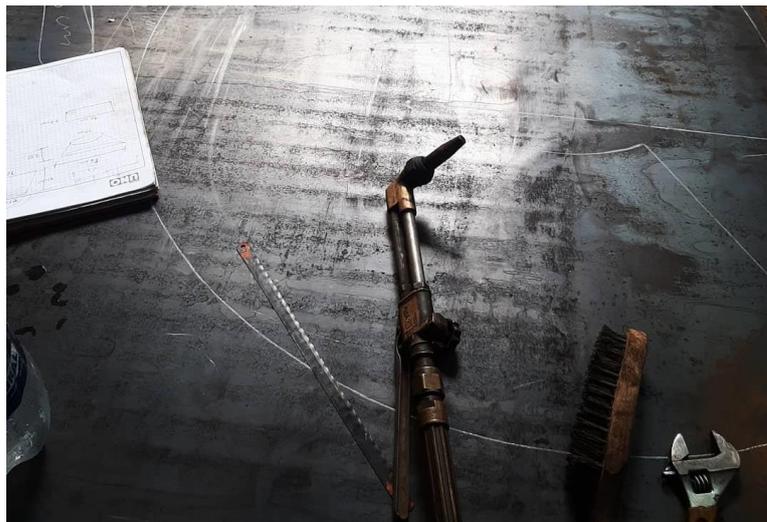
### CONSTRUCCIÓN DE LA TROCEADORA DE CUCHILLA

En este apartado se detalla la construcción de la máquina, teniendo en consideración que gran parte de los materiales y partes fueron provistos por el CDTS, se realizó la construcción de la troceadora:

- Construcción de la estructura de la base, se realizó proceso de corte según las dimensiones del plano, se utilizó tubo cuadrado 3" x 3 mm de espesor.



- Construcción de la caja de troceado, se realizó proceso de oxicorte a una plancha de acero A36 de 18 mm de espesor según las dimensiones proporcionado por el plano.



- Se procede a ensamblar las 3 placas rectangular mediante uniones de soldadura de la caja de troceado, según las dimensiones proporcionado por el plano.



- Se corta, perfora y se ensambla los ángulos según las dimensiones proporcionado por el plano, para la unión de la cuarta placa rectangular y la caja hacia la estructura de la base. Las perforaciones realizadas para pernos de acero  $\frac{1}{2}$ " x 2".



- Fabricación de la tapa superior de la caja de troceado, proceso de corte y perforación a plancha de acero A36 con espesor de  $\frac{1}{4}$ " para su respectivo ensamble hacia la caja e instalación de la tolva de alimentación.



- Como siguiente punto, se trabajó en las cuchillas, éstas fueron dadas por el CDTs, lo que se realizó fue el mejoramiento de la forma de las cuchillas y a su vez se las pulió.



- Se fabricó las placas fijas que permitirán que el material vaya directo al centro y no a los lados. Se realizó proceso de corte y perforación para pernos de acero  $\frac{1}{2}$ " x  $1 \frac{1}{2}$ " según las dimensiones proporcionado por el plano.



- Se realizó a la construcción de los separadores, proceso de corte y torneado según las dimensiones proporcionado por el plano.



- Ensamble preliminar con el eje, se utilizaron 7 separadores y 7 cuchillas para un eje.



- Se rectificó el diámetro interior de la manzana según las dimensiones proporcionado por el plano, para la fijación de los engranajes se realizó perforación para prisionero M8.



- Se realizó un ensamble preliminar de todos los elementos mecánicos, para inspeccionar cualquier tipo de ajuste entre los engranajes y cuchillas.



- Finalmente, se fabricó la guarda de protección y la tolva de alimentación con plancha de acero A32 de espesor 2 mm.

## ENSAMBLAJE FINAL DE LA MÁQUINA TROCEADORA

- Para el ensamblaje de la máquina, se pulió todas las partes, con un buen acabado y se colocan los ejes sujetándolos en las chumaceras con las cuchillas y separadores, intercalando uno por uno, se colocaron 7 cuchillas y 7 separadores por cada eje.



Se colocó la tapa frontal, ajustando todos los pernos y a su vez se colocan las chumaceras en los ángulos de esta parte, y se ajustan correctamente los ejes. Además, se realiza proceso de acabado con su respectiva pintura de acuerdo con la normativa establecida.





- Finalmente, se ensambla la tapa superior con los respectivos pernos, las guardas de protección y las tolvas. También se colocó el motor en su respectiva base, las poleas y sobre todo la banda en cada polea.



## MANUAL DE OPERACIÓN

### Medidas de seguridad

Para un correcto uso de la troceadora se debe seguir el manual que se detalla a continuación, para trabajar de forma segura. Las medidas de seguridad son importantes para el operario, ya que es importante sobre guardar su integridad física, usando los respectivos equipos de protección personal, y es necesario seguir las siguientes instrucciones:



Usar guantes cuando se manipule la materia prima, para un manejo seguro evitando cortes o incrustación de astillas en las manos.



Usar gafas de protección o protector facial debido a que pueden caer en las vistas, objetos extraños durante el proceso.

Usar orejeras ya que la máquina produce ruido.



Usar botas de seguridad durante el manejo de la máquina.



### Otras recomendaciones de seguridad

- ✓ Colocarse a una distancia prudencial del ingreso de materia prima de la máquina.
- ✓ No arrimarse a ninguna parte de la máquina mientras esté en funcionamiento.
- ✓ Antes de encender la máquina asegúrese que el área de trabajo se encuentre despejada.
- ✓ Evitar distracciones mientras se esté operando la máquina.

## **Funcionamiento de la troceadora**

Previo al funcionamiento de la máquina es importante y necesario seguir instrucciones para un correcto desarrollo del proceso, y tomar las medidas correspondientes durante su funcionamiento si llegan a darse novedades. Debido a esto, se detalla los pasos a seguir antes, durante y después del funcionamiento del equipo:

- ✓ Asegurarse que los pernos (caja, estructura, guardas) estén apretados, antes de dar marcha al equipo, es importante que la máquina tenga instalada la tolva de alimentación y la criba.
- ✓ Comprobar manualmente que el sistema de transmisión (ejes, poleas, engranes) funciona correctamente sin ningún tipo de dificultad, si el sistema presenta trabas al girar se recomienda quitar ajuste de los pernos de la tapa frontal de la caja y comprobar nuevamente su funcionalidad.
- ✓ Despejar el área de trabajo y a su vez comprobar conexiones eléctricas para dar marcha al equipo.
- ✓ Conectar el equipo a una fuente de 220V trifásica, luego pulsar el interruptor para que la máquina encienda.
- ✓ Para comenzar a trocear la leña, agruparla y meter con cuidado por medio de la tolva, usar los equipos de protección personal correspondientes, después la materia que sale troceada, volver a meter realizado dos o tres procesos de troceado para obtener el resultado deseado.
- ✓ Si se presentan novedades como, por ejemplo, la materia prima puede quedar atrapada en las cuchillas, sobrecalentamiento, vibraciones, entre otros, se recomienda apagar la máquina y realizar las respectivas inspecciones.
- ✓ Cada vez que no se use la máquina para trocear es recomendable apagar por medio del interruptor hasta que se decida continuar el proceso, y cuando existan tiempos largos de inactividad, desconectar la máquina.
- ✓ Lubricar las partes que necesiten esta acción, como chumaceras con su aceite específico, engranajes con grasa y así respectivamente sea necesario.
- ✓ Realizar la ejecución del plan de mantenimiento preventivo de acuerdo con las rutinas establecidas, y si se diera el caso mantenimiento correctivo del elemento que lo necesite.

## MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

El mantenimiento en esta máquina es de suma importancia, ya que con el cumplimiento de tareas de mantenimiento se busca alargar la vida útil de cada elemento de la máquina, a continuación, se detalla el plan de mantenimiento para el equipo:

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO</b>	
<b>TAREAS</b>	<b>FRECUENCIA</b>
Ajuste de pernos	Diario
Afilado de cuchillas	Trimestral
Lubricación de chumaceras	Mensual
Engrase de engranajes	Semanal
Ajuste de bandas	Mensual
Cambio de cuchillas	Bianual
Cambio de engranajes	Bianual
Cambio de poleas	Bianual
Cambio de bandas	Anual
Cambio de chumaceras	Bianual
Cambio de ejes	Bianual
Inspección del motor	Mensual
Inspección de conexiones eléctricas	Semanal
Limpieza general del equipo	Semanal

## COSTO DE MANO DE OBRA

Cantidad	Tipo de trabajo	Descripción	Precio Unitario [USD]	Costo total [USD]
2		Mecanizar eje cuadrado AISI 4340/705 en cada externo y fabricación de chavetero para ensamble de elementos mecánicos según plano.	\$110	\$220.00

14	Torneado y Fresado	Cilindrado y refrentado a separadores de cuchillas según plano.	\$20	\$280.00
2		Perforación y fabricación de chavetero en polea motriz y conducida según plano	\$40	\$80.00
2		Perforación y fabricación de chavetero en los engranajes según plano	\$55	\$110.00
4	Fresado	Fabricación ranuras en dos caras laterales de la caja de troceado para el ensamble de los dos ejes según plano.	\$35	\$140.00
4		Perforación de 10mm a plancha de acero para base del motor según plano	\$2.50	\$10.00
20		Perforación de 1/2" a perfil y tapa lateral para el cierre de la caja de troceado, según plano.	\$5.00	\$100.00
8	Taladrado	Perforación de 7/16" a base de la estructura y caja de troceado para su respectivo ensamble según plano.	\$4.00	\$32.00
16		Perforación de 5/16" a base de la caja de trituración para el ensamble de tapa superior, tolva de alimentación y descarga, guarda de protección según plano	\$2.00	\$32.00
14		Corte a plancha de acero 18 mm, modelado de cuchilla y	\$45.00	\$630.00

		perforación de forma cuadrado según muestra.		
14	Corte con pantógrafo	Corte a plancha de acero 24 mm, modelado circular y perforación de forma cuadrado según muestra.	\$25.00	\$350.00
1	Corte con autógenas y soldadura	Corte y soldado a plancha de acero 18 mm para la construcción de la caja de troceado según plano.	\$90.00	\$90.00
1		Fabricación de estructura de la base con tubo cuadrado 3" según plano.	\$220.00	\$220.00
1	Corte y Soldadura	Fabricación de guarda de protección, tolva de alimentación y descarga con plancha de 2 mm según muestra	\$90.00	\$90.00
1	Pintura y acabado	Proceso de pintado en cada parte como indica el Código de colores – Señalización de equipos de protección.	\$60.00	\$60.00
1	Ensamblado	Armado y ajuste total de la máquina de troceado.	\$250	\$250
Total, de mano de obra				\$2694.00



## PROFORMA

Fecha: 25/08/2022

Sr:  
John Isaac Pinos Arriaga  
CI: 0929540441

De mi especial consideración:

Mediante el presente remito proforma de presupuesto correspondiente al trabajo solicitado.

### Piezas mecánicas realiza en torno.

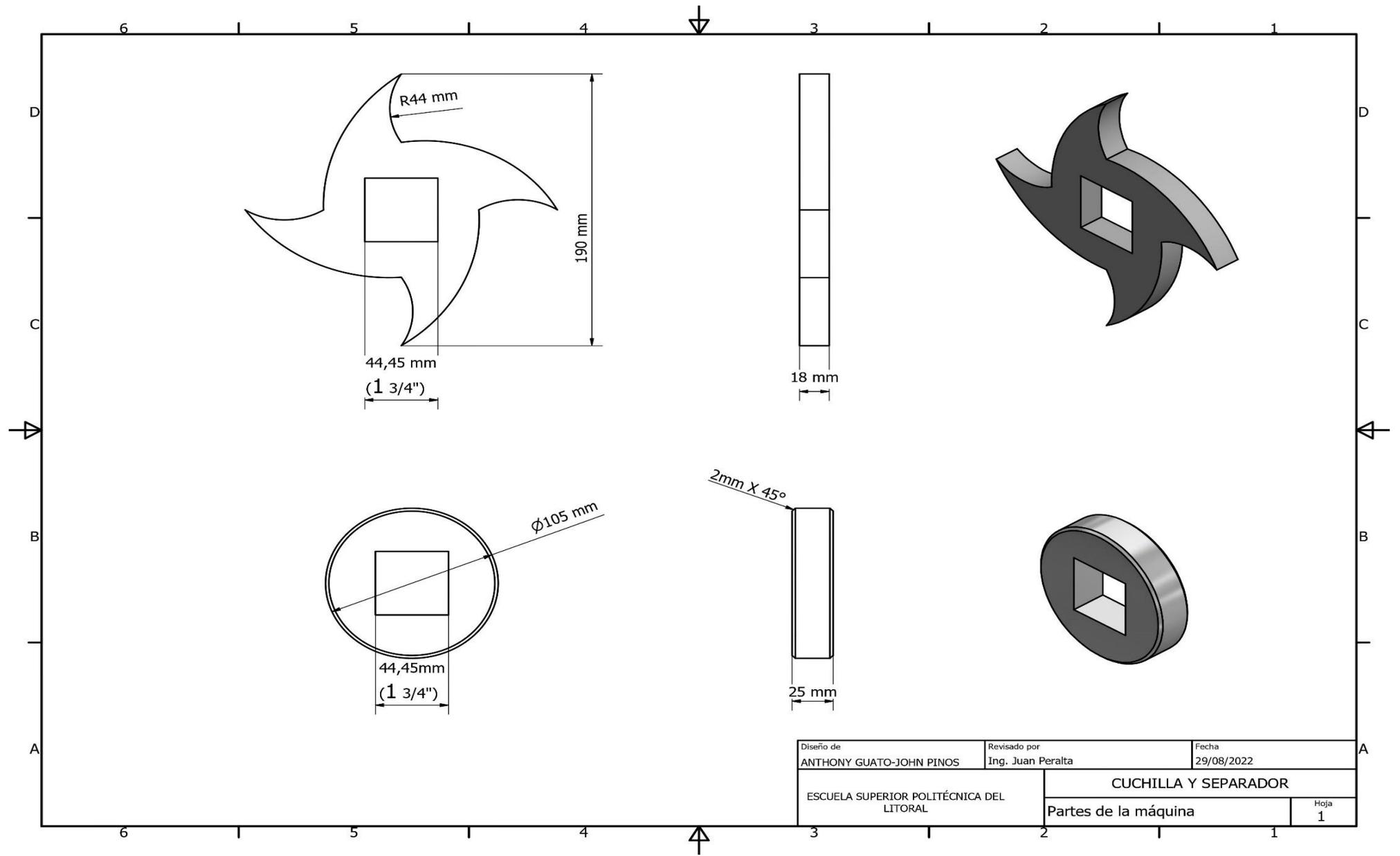
- Fabricación de 2 ejes, material AISI 4340 según plano. \$220
- Fabricación de 14 separadores redondos según plano. \$20 c/u
- Fabricación de cuchilla, plancha 18 mm de espesor. \$630
- Fabricación de estructura metálica, tubo cuadrado de 3" según plano. \$220
- Fabricación de guarda de protección y tolva, plancha 2 mm. \$90
- Fabricación de caja central de la maquina \$870
- Ensamblado y pintura \$384

**COSTO TOTAL** \$2694.00

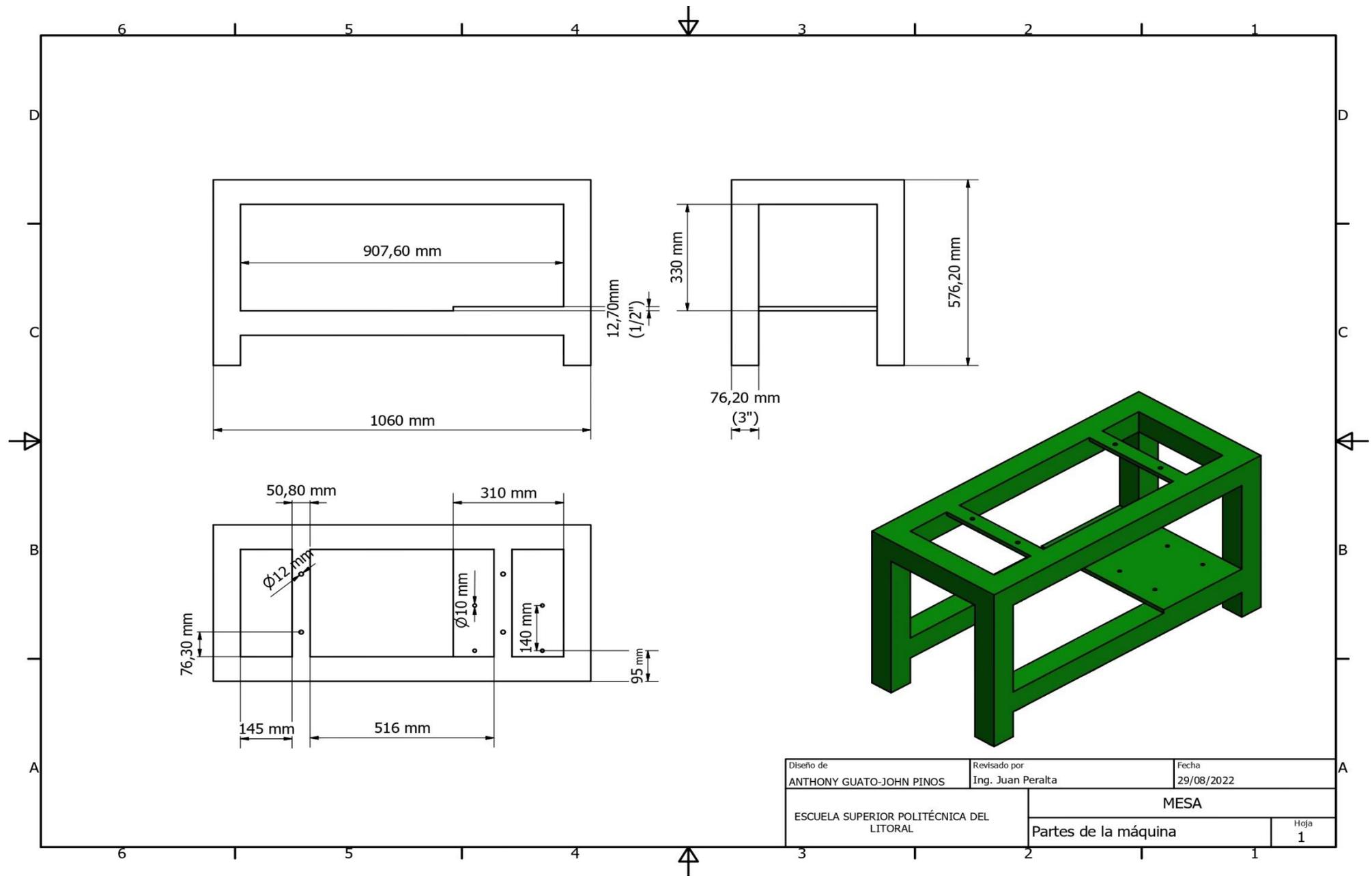
**Forma de Pago:**  
50% de Anticipo  
50% al Concluir

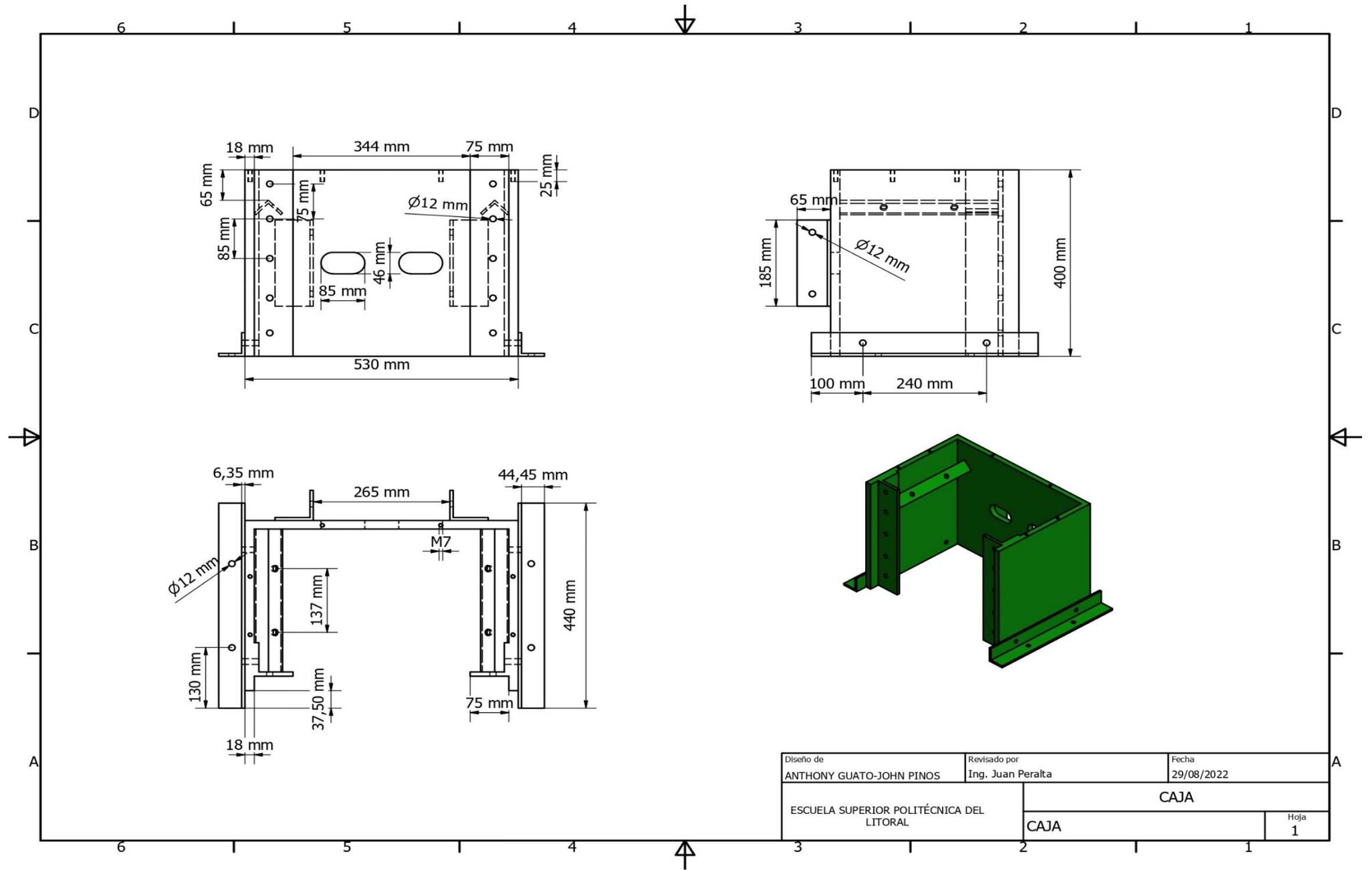
**Tiempo de entrega:**  
Cinco (5) Días

**APÉNDICE E**  
**Planos Esquemático**

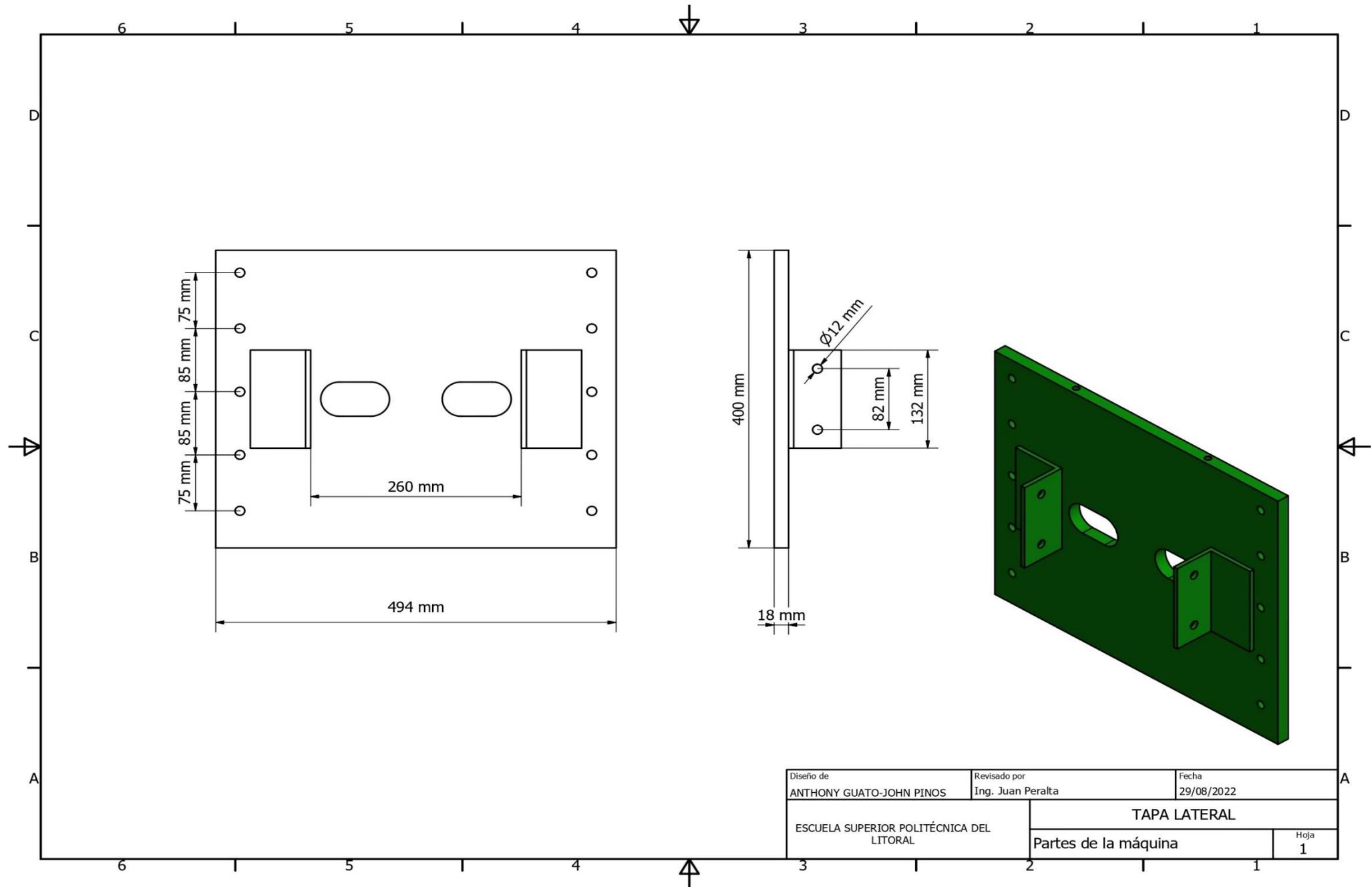


Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		CUCHILLA Y SEPARADOR
Partes de la máquina		Hoja 1

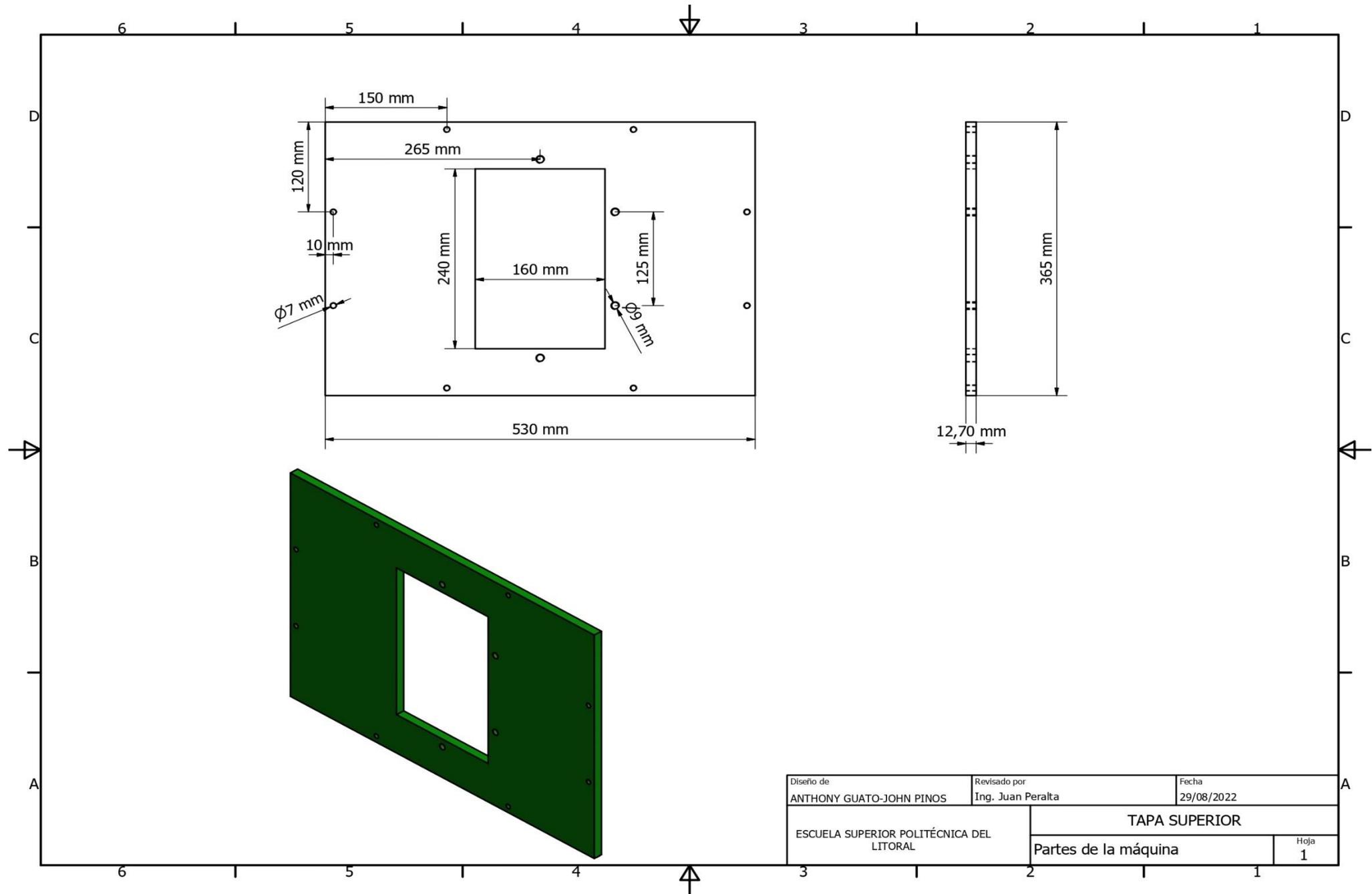




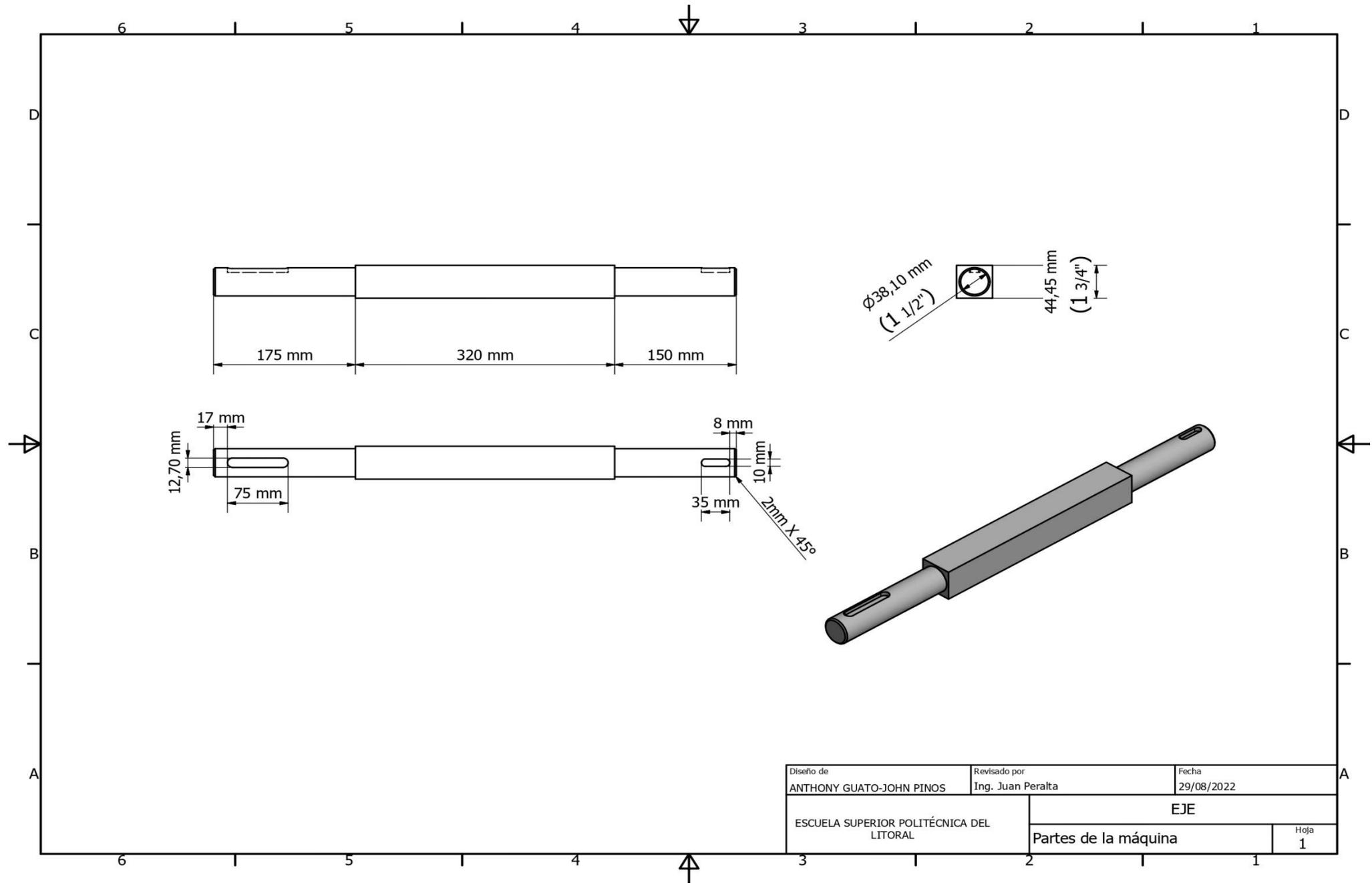
Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		CAJA
CAJA		Hoja 1



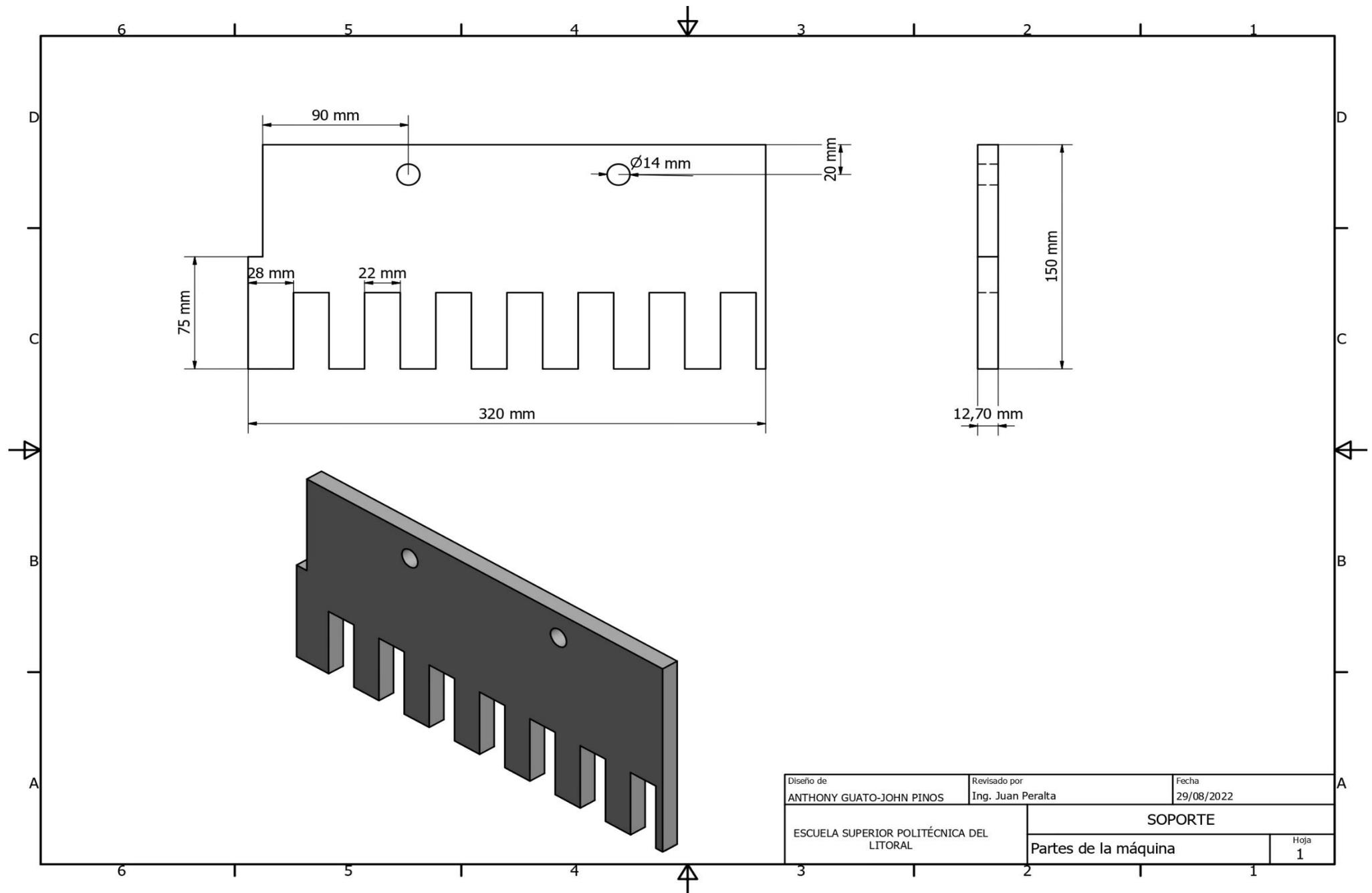
Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		TAPA LATERAL
Partes de la máquina		Hoja 1



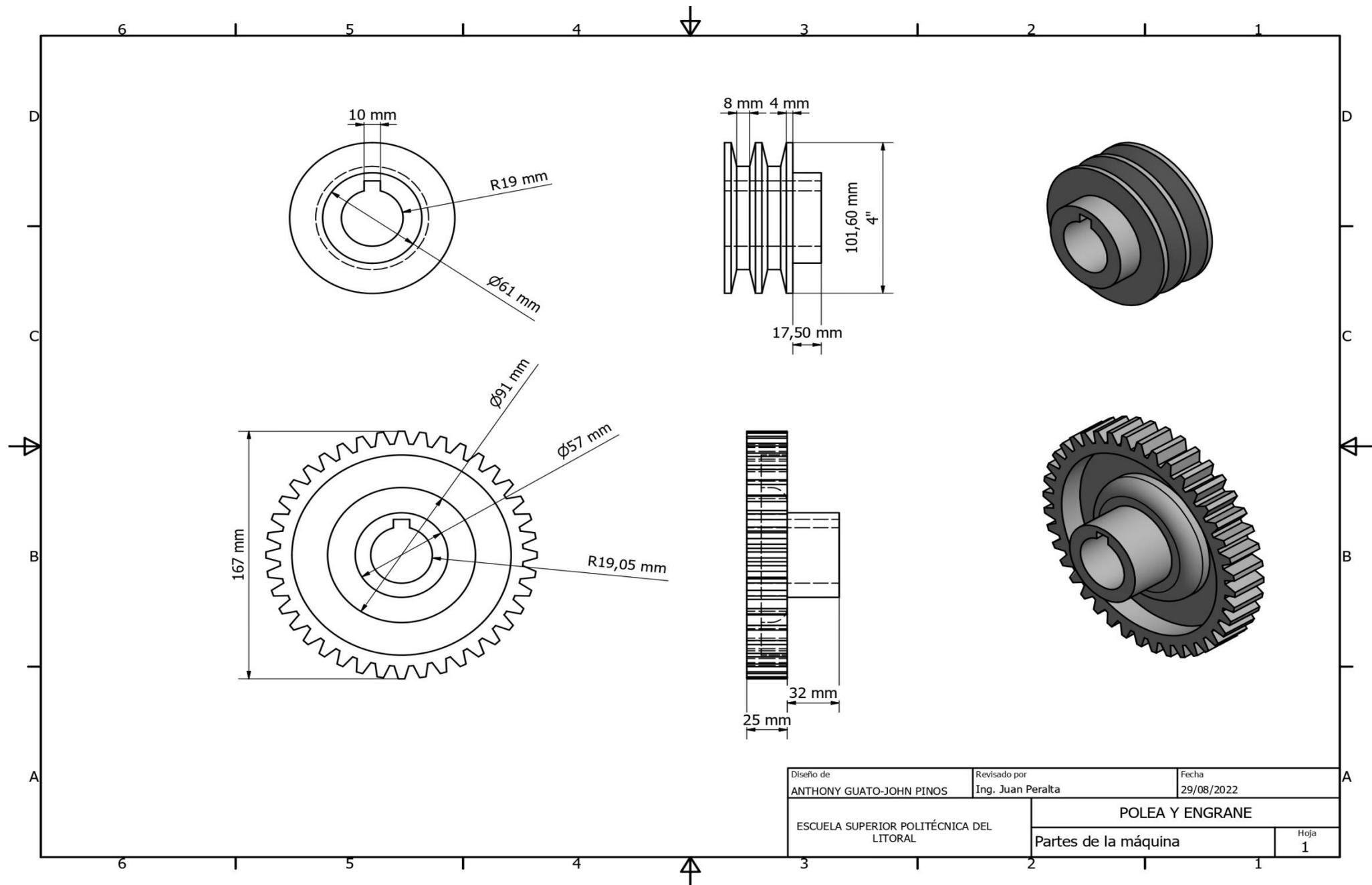
Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		TAPA SUPERIOR
Partes de la máquina		Hoja 1



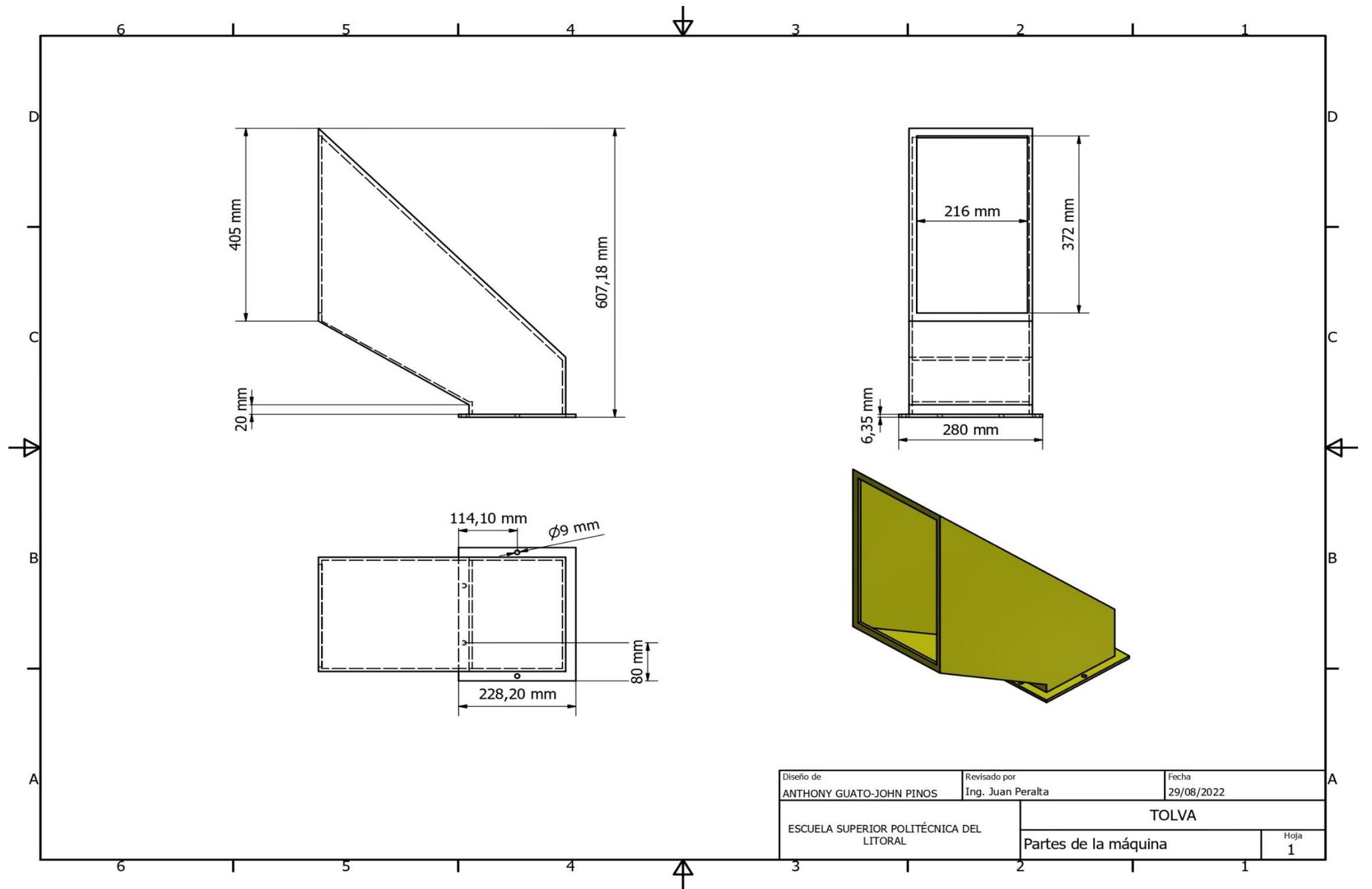
Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		EJE
Partes de la máquina		Hoja 1

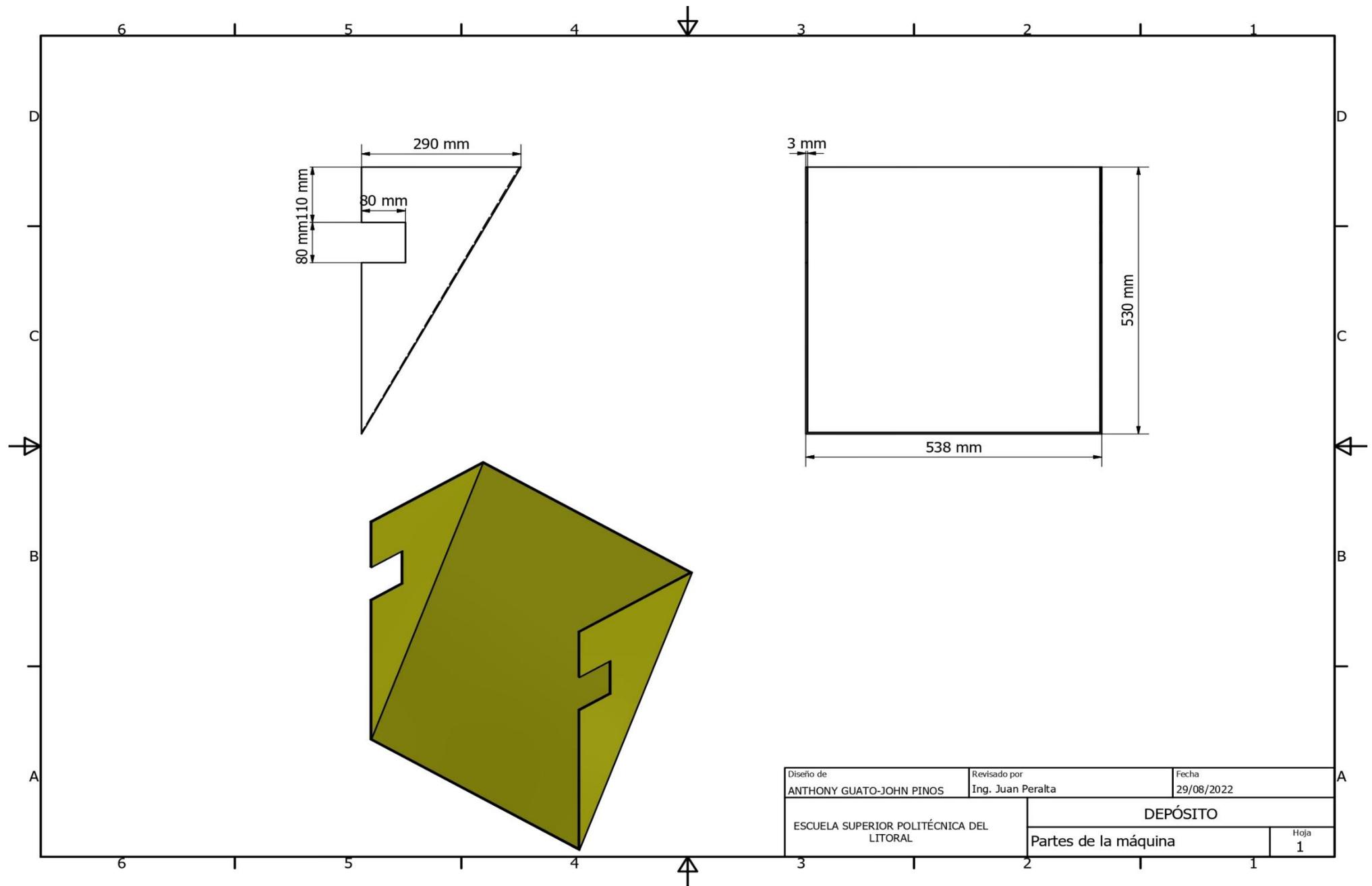


Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		SOPORTE
Partes de la máquina		Hoja 1

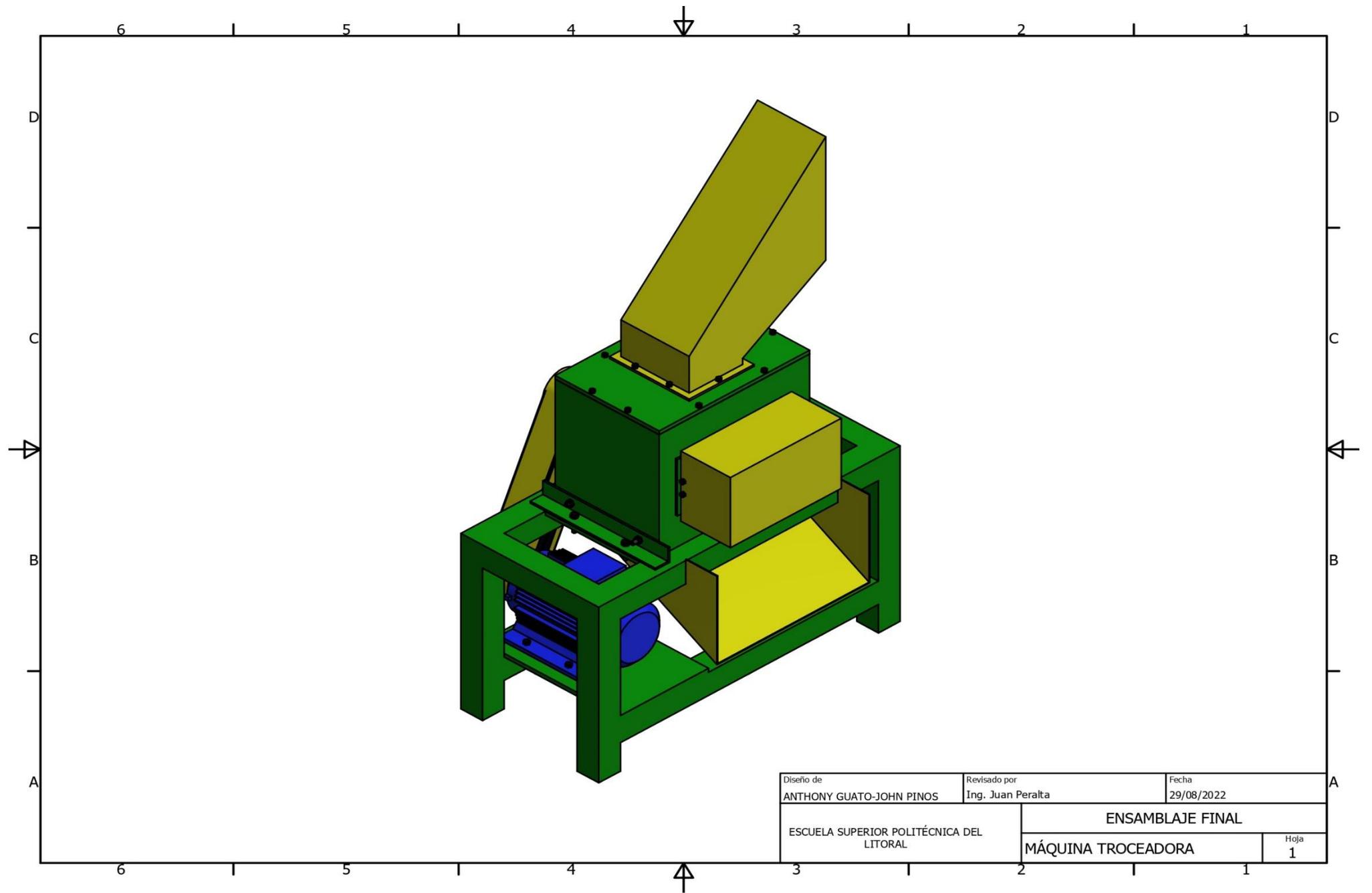


Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		POLEA Y ENGRANE
Partes de la máquina		Hoja 1





Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	DEPÓSITO	
	Partes de la máquina	Hoja 1



Diseño de ANTHONY GUATO-JOHN PINOS	Revisado por Ing. Juan Peralta	Fecha 29/08/2022
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ENSAMBLAJE FINAL
		MÁQUINA TROCEADORA
		Hoja 1