



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**II PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS**

**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Diseño de máquina trituradora de 400 kg/h con  
sistema de corte optimizado para obtener plástico PET  
triturado a partir de envases reciclados para la ciudad  
de Chiclayo**

**Presentado Por:**

**Bach. Gary Francisco Javier Pisfil Rodríguez**

**Asesor:**

**Dr. Daniel Carranza Montenegro**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2021**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

**II PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS**

## **TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Diseño de máquina trituradora de 400 kg/h con  
sistema de corte optimizado para obtener plástico  
PET triturado a partir de envases reciclados para la  
ciudad de Chiclayo**

**Presentado Por:**

**Bach. Gary Francisco Javier Pisfil Rodríguez**

**Aprobado por el Jurado Examinador**

**PRESIDENTE: Dr. Fredy Dávila Hurtado**  
**SECRETARIO: Msc. Carlos Yupanqui Rodríguez**  
**VOCAL: Ing. Teobaldo Edgar Julca Orozco**  
**ASESOR: Dr. Daniel Carranza Montenegro**

**Lambayeque – Perú**

**2021**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA**



**II PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS**

**TESIS**

**TÍTULO**

**Diseño de máquina trituradora de 400 kg/h con sistema de corte optimizado para obtener plástico PET triturado a partir de envases reciclados para la ciudad de Chiclayo**

**CONTENIDOS**

**CAPITULO I:** PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

**CAPITULO II:** MARCO TEÓRICO.

**CAPITULO III:** MARCO METODOLÓGICO.

**CAPITULO IV:** PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

**CAPITULO V:** ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

**CAPITULO VI:** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**AUTOR:** Gary Francisco Javier Pisfil Rodríguez

Dr. Ing. FREDY DÁVILA HURTADO  
PRESIDENTE

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
SECRETARIO

M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA  
VOCAL

Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO  
ASESOR

Lambayeque – Perú

2021

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Magali y Francisco, que con amorosa paciencia me impulsaron a culminar el presente trabajo. Todas las horas de estudio y trabajo son mi pequeña retribución a todo el esfuerzo que hicieron para darme educación.



## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por haber sido mi soporte emocional desde siempre. Por haberme inculcado los valores que poseo y motivarme cada día a seguir avanzando.

A todos los docentes de mi querida universidad. Por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias, enriqueciendo cada día mi curiosidad por el fascinante mundo de la ingeniería.

A todas mis amistades que me acompañaron durante mi vida universitaria. Por haber sido parte de esa hermosa etapa y que siempre llevaré en mi memoria y corazón.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presenta una propuesta de diseño de una máquina trituradora de envases de plástico PET para cubrir la demanda de la ciudad de Chiclayo, con enfoque en el sistema de corte para reemplazar las actuales máquinas poco tecnificadas usadas en la ciudad.

El estudio se basa en principios de la ingeniería mecánica como son análisis de fuerzas, esfuerzos y falla de materiales. Aplicados, principalmente, a los elementos de máquina que intervienen directamente en la trituración.

Dentro de los parámetros de diseño se consideran: ángulo de corte y despeje de cuchillas rotativas, velocidad y torque aplicada a las mismas, capacidad de procesamiento de la máquina acorde a la demanda. Con base en ello, se ha dimensionado los demás elementos de máquina. Obteniéndose un tamaño de máquina comparable a las presentes en el mercado de máquinas tecnificadas.

**PALABRAS CLAVES:** *Trituradora de Plásticos, Reciclado, Plástico PET, Parámetros de Trituración*

## **ABSTRACT**

This research work presents a design proposal for a crusher machine for PET plastic containers to meet the demand of the city of Chiclayo, with a focus on the cutting system to replace the current low-tech machines used in the city.

The study is based on principles of mechanical engineering such as analysis of forces, stresses and failure of materials. Mainly applied to machine elements directly involved in crushing.

The design parameters include: angle of cut and clearance of rotating blades, speed and torque applied to them, machine processing capacity according to demand. Based on this, the other machine elements have been dimensioned. Obtaining a machine size comparable to those present in the market for technical machines.

**KEYWORDS:** *Plastics Crusher, Recycling, PET Plastic, Crushing Parameters*

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
ÍNDICE .....	8
ÍNDICE DE TABLAS .....	11
ÍNDICE DE FIGURAS .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
Capítulo I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Delimitación de la investigación .....	17
1.3.1 Ubicación.....	17
1.3.2 Clima .....	18
1.3.3 Vías de acceso .....	18
1.3.4 Población.....	19
1.4. Justificación e importancia .....	19
1.5. Limitaciones .....	20
1.6. Objetivos .....	20
1.6.1. Objetivo General.....	20
1.6.2. Objetivos Específicos .....	20
Capítulo II : MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes de estudio.....	21
2.2. Base Teórica .....	28
2.2.1. Plásticos .....	28
2.2.1.1. Generalidades.....	28
2.2.1.2. Clasificación .....	29
2.2.2. Tereftalato de polietileno (PET) .....	30
2.2.2.1. Generalidades.....	30
2.2.2.2. Propiedades.....	31
2.2.2.3. Aplicaciones.....	31

2.2.3.	Reciclado de plástico.....	32
2.2.3.1.	Generalidades.....	32
2.2.3.2.	Reciclado químico.....	33
2.2.3.3.	Reciclado energético.....	33
2.2.3.4.	Reciclado mecánico .....	33
2.2.3.5.	Reciclado del PET.....	35
2.2.4.	Trituración.....	36
2.2.4.1.	Definición .....	36
2.2.5.	Equipos de reducción de tamaño .....	36
2.2.5.1.	Molinos de cuchillas .....	36
2.2.5.2.	Estructura de la máquina .....	37
2.2.5.3.	Factores para el diseño.....	38
2.3.	Definición conceptual de la terminología empleada .....	43
Capítulo III : MARCO METODOLÓGICO .....		45
3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	45
3.2.	Población y muestra.....	45
3.3.	Hipótesis .....	45
3.4.	Variables – Operacionalización.....	45
3.5.	Métodos y técnicas de investigación .....	47
3.5.1.	Métodos de investigación .....	47
3.5.2.	Técnicas de investigación.....	47
3.6.	Descripción de los instrumentos utilizados.....	47
3.7.	Análisis estadístico e interpretación de los datos .....	48
Capítulo IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....		49
Capítulo V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....		50
5.1.	Resultados .....	50
5.1.1.	Generación de residuos plásticos.....	50
5.1.2.	Parámetros de diseño para la máquina .....	55
	Capacidad de producción .....	55
	Sistema de cuchillas .....	57
	Torque .....	59
	Velocidad de rotación .....	64
	Potencia.....	64
5.1.3.	Cálculo y selección de elementos de máquina.....	65

Selección de fajas de transmisión .....	65
Cálculo del eje .....	67
Selección de rodamientos.....	73
Cuchillas fijas.....	75
Costo de fabricación .....	78
5.2. Discusión de resultados .....	81
Capítulo VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1. Conclusiones.....	82
6.2. Recomendaciones.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Coordenadas de la ubicación de la ciudad de Chiclayo.....	18
<b>Tabla 2</b> Propiedades del Tereftalato de Polietileno.....	31
<b>Tabla 3</b> Velocidades periféricas para la molienda.....	38
<b>Tabla 4</b> Parámetros para el mecanizado de plásticos .....	40
<b>Tabla 5</b> Operacionalización de variables .....	46
<b>Tabla 6</b> Técnicas e instrumentos en la investigación.....	47
<b>Tabla 7</b> Población en Chiclayo durante el periodo 2018-2020.....	50
<b>Tabla 8</b> Participación de PET según los estudios de caracterización en Chiclayo .....	51
<b>Tabla 9</b> Crecimiento población para el período 2021-2024 .....	51
<b>Tabla 10</b> Comparación de resultados obtenidos de las ecuaciones lineales .....	54
<b>Tabla 11</b> Crecimiento de generación de basura en Chiclayo 2020-2024.....	55
<b>Tabla 12</b> Resumen de fuerzas presentes en el plástico .....	63
<b>Tabla 13</b> Fuerzas requeridas para el corte .....	63
<b>Tabla 14</b> Resumen de fuerzas en el eje .....	70
<b>Tabla 15</b> Momentos resultantes en el eje .....	72
<b>Tabla 16</b> Costo de materiales, equipos e insumos para trituradora de PET de 400 kg/h .....	79
<b>Tabla 17</b> Costo de ensamblaje y pruebas.....	79
<b>Tabla 18</b> Costo total de fabricación.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Generación de residuos sólidos en toneladas por día de Chiclayo .....	16
<b>Figura 2</b>	Sistema de corte de máquina trituradora de PET de fabricación local ..	17
<b>Figura 3</b>	Ubicación de la ciudad de Chiclayo .....	18
<b>Figura 4</b>	Símbolo PET .....	31
<b>Figura 5</b>	Estructura de la trituradora de plástico PET .....	37
<b>Figura 6</b>	Crecimiento de generación per cápita (kg/hab. día) y %PET en Chiclayo .....	54
<b>Figura 7</b>	Número de máquinas necesarias para cubrir la demanda 2020-2024 ..	55
<b>Figura 8</b>	Eficiencia según capacidad de producción durante 2020-2024 .....	56
<b>Figura 9</b>	Tipos de cuchillas para trituración .....	57
<b>Figura 10</b>	Sistema de cuchillas fijas y rotativas .....	58
<b>Figura 11</b>	Cuchilla rotativa .....	58
<b>Figura 12</b>	Parámetros de diseño de la cuchilla rotativa .....	59
<b>Figura 13</b>	Área desbastada por cuchilla .....	60
<b>Figura 14</b>	Dimensiones de plástico desbastado .....	60
<b>Figura 15</b>	Fuerzas presentes entre cuchillas en el instante antes del corte .....	60
<b>Figura 16</b>	Diagramas de fuerza cortante y momento flector del plástico atrapado en las cuchillas .....	61
<b>Figura 17</b>	Sección transversal del plástico desbastado .....	62
<b>Figura 18</b>	Representación de esfuerzos en el plano .....	62
<b>Figura 19</b>	Fuerzas presentes en el eje .....	67
<b>Figura 20</b>	Fuerzas de transmisión en la polea conducida .....	68
<b>Figura 21</b>	Diagrama de fuerza cortante (N) en el plano x-z del eje .....	71
<b>Figura 22</b>	<i>Diagrama de momento flector (N.m) en el plano x-z del eje.....</i>	<i>71</i>
<b>Figura 23</b>	Diagrama de fuerza cortante (N) en el plano y-z del eje .....	71
<b>Figura 24</b>	Diagrama de momento flector (N.m) en el plano y-z del eje.....	72
<b>Figura 25</b>	Cuchilla fija .....	75
<b>Figura 26</b>	Configuración geométrica para la tolva de salida .....	77



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, los esfuerzos por reducir la contaminación producida por las actividades diarias del ser humano están enfocados en la reducción del consumo de contaminantes (plásticos, combustibles, etc.) y en la reutilización de estos productos ya usados (reciclado).

En el Perú, la industria de reciclaje es incipiente debido a la poca concientización sobre la problemática medioambiental o por pocos incentivos económicos de la actividad.

En el caso de la ciudad de Chiclayo, específicamente en el área de reciclaje de plástico PET; se observa el uso de maquinaria de fabricación local, basada principalmente en la experiencia y la funcionalidad del equipo sin tener en cuenta la eficiencia del proceso.

Por ello, este trabajo tuvo como meta el diseño de una máquina trituradora de plástico PET con enfoque en un sistema de corte optimizado; mediante el uso de teoría de falla para evaluar las fuerzas necesarias de corte y la búsqueda de un ángulo óptimo de ataque y despeje de las cuchillas.

## **CAPÍTULO I : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

La sociedad actual se enfrenta a la problemática mundial de la contaminación del medio ambiente. Cuyos efectos ya son notorios; tales como el aumento de la temperatura, derretimiento de los polos, aumento de desastres naturales, etc. La contaminación medioambiental es proporcional al crecimiento demográfico y sus necesidades. Si bien es cierto, la generación de desechos es inherente a la actividad humana, es nuestra responsabilidad el uso racional de recursos y la eficiente gestión de residuos. En cuanto un producto es utilizado y se transforma en desecho sólido, inicia el proceso de contaminación. Afectando a los recursos aire, agua y suelo.

#### **Recurso aire**

En el caso de los residuos orgánicos, al descomponerse origina gases como el metano y el dióxido de carbono, principales responsables del calentamiento global. Sin embargo, las fuentes principales del dióxido de carbono son los combustibles fósiles (gas natural, petróleo y sus derivados).

#### **Recurso agua**

Según el informe de la ONU: "Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua, una responsabilidad compartida". Del total de agua en el mundo, 87,5% es agua salada y el 2,5 % es agua dulce. Repartidos en glaciares (68,7%), acuíferos subterráneos (30,1%), agua superficial (0,4%) y permafrost (0,8%), que es la capa del suelo permanentemente congelado.

Según GreenPeace en su informe: "Plásticos en los océanos: Datos, comparativos e impactos". Alrededor de 8 millones de toneladas de plásticos terminan en los océanos. Representando entre el 60% y 80% de la basura total en los mares.

Esta situación genera impactos biológicos al morir las especies marinas por asfixia o intoxicación por ingerir micro plásticos, acidificación del agua por descomposición de desechos orgánicos. Esto también produce impactos económicos, directos por la mortandad de peces de consumo humano o indirectos, por la alteración de la cadena alimenticia ya que se frena el crecimiento de las especies de consumo humano.

### **Recurso suelo**

Cuando los desechos son dispuestos irresponsablemente, terminan acumulándose en lugares de la vía pública. Produciendo malestar en la ciudadanía, aumento de plagas y detrimento a la salud pública.

Según el plan nacional de gestión integral de residuos sólidos 2016 – 2024 del Perú. “El principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú es la escasez de lugares adecuados destinados a su disposición final. Se estima que el país requiere de 190 infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos, sin embargo, en el año 2014 existían solo 11 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional”.

La ciudad de Chiclayo no es ajena a esta realidad. Esto queda evidenciado en los grandes cúmulos de basura distribuidos por toda la ciudad. Con ayuda de los datos presentados en los informes anuales del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos, se elaboró el siguiente gráfico donde se representa el crecimiento de la generación de residuos en la ciudad de Chiclayo.

**Figura 1**

*Generación de residuos sólidos en toneladas por día de Chiclayo*



Como se puede observar la generación de desechos incrementará conforme pasen los años. Situación que debe controlarse en un corto o mediano plazo. Pues la generación irá en aumento hasta un punto donde sea insostenible.

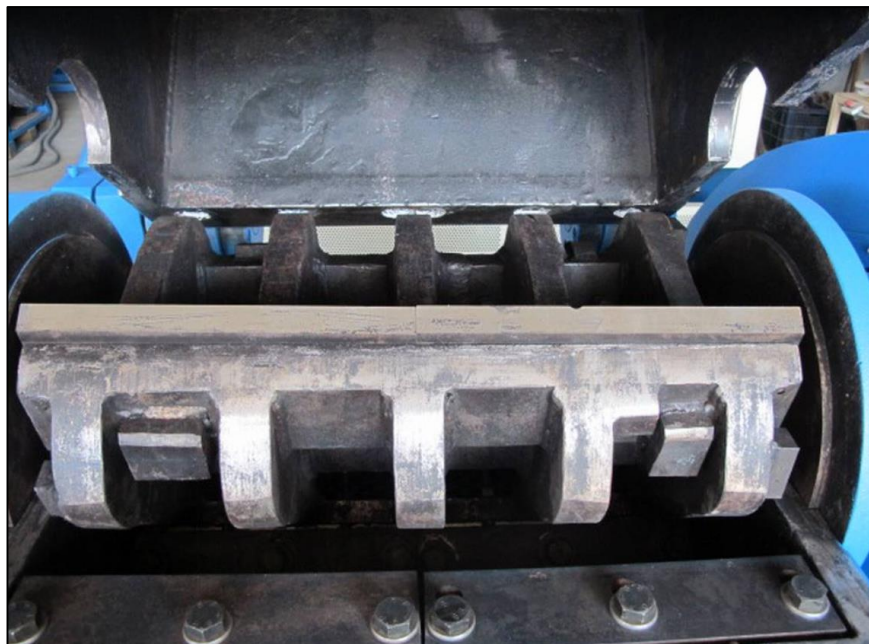
La gráfica anterior nos da información sobre el panorama general de la cantidad de residuos generados en la ciudad de Chiclayo. Dentro de estos residuos, se encuentra el plástico PET, que tuvo una participación del 2.65% (según estudio caracterización 2014). El plástico PET es el principal componente de los envases de bebidas. Los que generalmente se arrojan sin aplastar, ocupando un gran volumen en vertederos y basureros.

Como medidas de control, el Ministerio del Ambiente ha planteado trabajar sobre distintos principios, destacando el reciclaje.

En la ciudad de Chiclayo, la tecnología usada en el reciclado de plásticos es de fabricación local; sin un conocimiento basado en la ciencia sino en la experiencia, con el único requisito de la funcionalidad; esto se refleja en un corte perpendicular entre las cuchillas y soportes (figura 2).

**Figura 2**

*Sistema de corte de máquina trituradora de PET de fabricación local*



*Fuente: (GESTER, 2022)*

## **1.2. Formulación del problema**

¿Con la propuesta de diseño de una máquina trituradora de 400 kg/h con sistema de corte optimizado se logrará reducir la contaminación debido al plástico en la ciudad de Chiclayo?

## **1.3. Delimitación de la investigación**

El presente proyecto de investigación está limitado por la cantidad de generación de Tereftalato de Polietileno (PET) en la ciudad de Chiclayo, la cual permitirá definir la capacidad de la máquina trituradora a diseñar.

### **1.3.1 Ubicación**

La ciudad de Chiclayo está ubicada en la provincia de Chiclayo, departamento Lambayeque. Las coordenadas geográficas de sus puntos extremos de la provincia son los siguientes:

**Figura 3**

*Ubicación de la ciudad de Chiclayo*



*Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo*

**Tabla 1**

*Coordenadas de la ubicación de la ciudad de Chiclayo*

ORIENTACIÓN	NORTE	ESTE	SUR	OESTE
LATITUD SUR	06°28'45''	06°28'45''	06°28'45''	06°28'45''
LONGITUD OESTE	79°26'00''	79°07'09''	79°41'18''	79°56'38''

*Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo*

### 1.3.2 Clima

Teniendo un clima subtropical, la temperatura promedio es 22,5°C. Fluctuando entre los 20°C y 30°C, durante el verano y entre 15°C y 24°C, durante el invierno.

### 1.3.3 Vías de acceso

a. Terrestre:

Norte: Panamericana norte

Sur: Panamericana sur

Este: Carretera 6A y Carretera 3N (que conecta a la antigua panamericana norte)

b. Aire:

Aeropuerto “Capitán FAP José Quiñonez González”.

#### **1.3.4 Población**

De acuerdo con las proyecciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática o INEI (2020), la población para la ciudad de Chiclayo durante el año 2020 sería de 288 360 habitantes. La superficie de la ciudad es de aproximadamente 50.35 km<sup>2</sup>, obteniendo una densidad demográfica o poblacional de 5 727 habitantes/km<sup>2</sup>.

### **1.4. Justificación e importancia**

#### **1.4.1. Justificación Técnica**

Se contará con una máquina eficiente con capacidad productiva de 400 kg/h que permitirá mejorar la producción de plástico PET reciclado en la ciudad de Chiclayo al reemplazar las máquinas fabricadas de manera empírica.

#### **1.4.2. Justificación Económica**

Al sustituir las máquinas artesanales, se mejorará la eficiencia del proceso al tener un corte más limpio, sin aglomeraciones de material en las cuchillas. Disminuyendo así los costos de mantenimiento.

#### **1.4.3. Justificación Ambiental**

El envase de bebidas, en su mayoría se hace a través de botellas de plástico, generalmente de Polietileno de Tereftalato (PET). Luego de ser consumidas las bebidas, los envases son desechados. Lo que ocasiona una problemática ambiental (contaminación del suelo). Con el agravante que estos residuos, en los vertederos, ocupan un considerable volumen y tardan hasta 500 años en degradarse.

Con el uso de una máquina tecnificada y fabricada localmente, habrá un incentivo para que más empresarios ingresen a la industria del reciclaje.

## **1.5. Limitaciones**

Este proyecto se basará en proyecciones cuantitativas de la generación de residuos con base en el último estudio de caracterización. Además, por razones de presupuesto, la máquina a diseñar quedará como propuesta (sin construcción).

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Diseñar una máquina trituradora de 400 kg/h empleando un sistema de corte optimizado con el fin de obtener plástico PET triturado a partir de envases de plástico para la ciudad de Chiclayo.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la oferta disponible de PET en la ciudad de Chiclayo.
- Determinar la capacidad de la máquina trituradora.
- Dimensionar los elementos de máquina que formarán parte de la máquina trituradora.
- Modelar los elementos de máquina empleando software SolidWorks además de incluir el ensamblaje final de la máquina trituradora.
- Determinar el presupuesto requerido para cumplir con la propuesta de diseño de la máquina trituradora.



## **CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudio**

#### **Contexto Internacional**

**Caviedes (2020)** en su proyecto respecto al diseño de una máquina trituradora para plástico PET, tuvo como objetivo principal el diseño de una máquina considerando en un inicio la recopilación de información referente al proceso de trituración para las botellas de plástico PET, para luego recopilar información sobre medianas y pequeñas empresas dedicadas al reciclaje para determinar ciertos parámetros y requisitos para el diseño de la máquina. Posteriormente, el autor realizó una recopilación de información con la cual pudo determinar las actuales tecnologías empleadas en la trituración del PET, para luego elaborar una serie de alternativas que permitirían la selección de la mejor opción. Una vez seleccionada la alternativa adecuada se procedió a diseñar detalladamente cada elemento de máquina para la máquina trituradora además de hacer una comprobación por medio del método de elementos finitos para saber las cargas que soportará. Al final, se realizaron los planos de ubicación, de componentes y en de ensamblaje, igualmente se elaboraron los manuales de operación y mantenimiento de la máquina considerando los parámetros de diseño, seguidamente del análisis económico financiero del proyecto de inversión.

**Hidalgo (2020)** en su tesis diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos, en el Ecuador, tuvo como propósito el diseñar una máquina trituradora para lo antes mencionado, empleando un software de simulación mecánica para poder procesar los desechos plásticos en la comunidad mencionada. Como primer paso, realiza una recopilación de datos, información y propiedades de diseño para máquinas trituradoras de plástico PET a partir de diferentes aplicaciones para de esta manera obtener los parámetros y requisitos suficientes para llevar a cabo el proyecto de estudio. Luego, se elaboró la matriz casa sobre la calidad o QFD como alternativa de extracción de información necesaria para llevar a cabo el diseño adecuado y con los requisitos emplear un método de diseño

confiable para poder determinar la mejor alternativa de diseño adecuada para la aplicación solicitada. Se seleccionó el diseño de una trituradora, la cual empleará cuchillas cortadoras rotatorias, con esto se elabora el diseño conceptual y el detalle de cada elemento de máquina de la trituradora, luego se llevo a cabo el análisis de esfuerzos de los elementos para determinar los más críticos con el fin de corroborar el funcionamiento adecuado cuando la máquina se someta a diferentes cargas de trabajo, donde el resultado indicó que existe una confiabilidad alta de los elementos diseñados, lo cual asegura que no van a fallar cuando esté operando la máquina trituradora a su máxima capacidad.

**Clevel (2020)** en su proyecto de investigación sobre el diseño de una máquina trituradora de PET para utilizar como herramienta de apoyo para las materias de Ingeniería, planteó como objetivo principal diseñar una máquina trituradora de PET, donde partiendo del plástico reutilizado, permitir reprocesarlo para crear productos nuevos y ser una herramienta que traiga contribución al proceso formativo de los universitarios de ingeniería industrial de Unicatólica. Es por ello, que se consideró el diseño de está máquina, para que se conozca el proceso de fabricación y reutilización en el laboratorio. La metodología empleada para el diseño es del prototipo evolutivo, para poder implementar el uso de está máquina en las materias del área de producción, para lograr reducir el impacto negativo que contrae los desechos de PET en la naturaleza.

**Bruna & Suárez (2016)** en su proyecto titulado diseño de una trituradora de botellas PET, propone una solución a la problemática existente sobre los plásticos ideando un diseño que no solo considera la trituración sino además la contención del mismo con el objetivo de entregar lista la materia prima para su posterior reutilización. En el primer capítulo se encuentran las teorías básicas y fundamentales referente a los polímeros, para entender su composición, como transformarlo y reciclarlo, considerando cuales se pueden reutilizar dependiendo de la codificación internacional empleada. En el segundo capítulo se aprecia la diferencia entre las trituradoras y molinos que forman parte fundamental en el proceso de reciclado de los plásticos, incluyendo parte del diseño. Además, se puede observar parte de los

elementos de máquinas y transmisión que formará parte del proceso. En el tercer capítulo se encuentran los cálculos para el diseño, apreciando a profundidad cada uno de ellos, iniciando con el proceso de funcionamiento de la máquina hasta el proceso de triturado de plástico PET, pudiendo conocer los puntos más solicitados de la máquina, para lograr la adecuada selección del mejor material para preveer fallas dentro del sistema de operación. Al finalizar el capítulo, se visualiza una programación de tiempos de fabricación de los elementos del diseño. Finalmente, se elaboraron los costos referentes a cada uno de los elementos de máquina del diseño, incluyendo los planos de detalle y montaje de cada uno de los elementos de la máquina trituradora.

**Hidalgo et al. (2017)** en su artículo sobre el diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente, tuvieron como objetivo el diseñar dicha máquina para obtener hilos y cintas empleando un proceso conformado por un corte rotacional continuo. Dicha máquina tiene la capacidad de procesar botellas plásticas usadas con capacidad de hasta tres litros. El diseño realizado es de tipo mecatrónico, conformado por sistemas sencillos neumáticos, mecánicos, eléctricos y control, permitiendo el procesamiento de hasta cincuenta botellas por hora. El producto obtenido es variable, obteniéndose un hilo de 1.6 mm de ancho o espesor con un largo de 46.5 m, además de cinta de 6.7 mm de ancho por un largo de 11.3 m por botella. Resultando ser una materia prima realmente económica obtenida a partir de material de desecho, donde se puede emplear en diferentes aplicaciones como procesos de manufactura en elaboración de escobas, canastas, cuerdas, fundas, etcétera.

### **Contexto Nacional**

**Luque (2019)** en su trabajo de investigación diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET, planteó como objetivo general el diseñar un prototipo de máquina trituradora de botellas PET. Los antecedentes referente al tema investigado se aprecia en el primer capítulo. En el segundo capítulo se lleva a cabo el desarrollo del marco teórico. En el tercer capítulo se elabora la metodología para la solución requerida, además de los cálculos

para el correcto diseño empleando la teoría de la resistencia de materiales. En el cuarto capítulo se verifica el análisis de resultados y la discusión. El autor aborda la investigación partiendo de la seleccionar el mecanismo de trituración adecuado, calculando la carga requerida para lograr cortar un espesor de 0.6 mm del material PET reciclado, para luego determinar las dimensiones de los elementos de máquina de la trituradora teniendo en consideración los esfuerzos que se verá sometido cada elemento como resultado de las cargas de corte, teniendo presente que el factor de seguridad debe ser mayor a dos. El autor inició los cálculos manualmente y con apoyo del software Inventor 2015, donde realizó la simulación de los elementos, para posteriormente realizar una comparación de los esfuerzos permisibles del material seleccionado. La carga de corte determinada es de 3990 N, para un espesor de PET de 0.6 mm y 350 mm de largo, el eje debe girar a 76 rpm y el motor requerido debe tener una potencia de 5 HP, concluyendo que si es viable el diseño del prototipo para la máquina trituradora de botellas PET.

**Prado et al. (2019)** en su artículo sobre la implementación de una máquina trituradora de plástico, en el trabajo se planteó el diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora para plástico PET o Tereftalato de polietileno, siendo una alternativa tecnológica de solución frente al problema de la contaminación de la naturaleza debido al consumo excesivo de materiales no biodegradables como es el caso del plástico. El proyecto se desarrolló como una respuesta de solución e innovación tecnológica de ámbito local debido a que en el departamento de La Libertad existe un consumo elevado de material plástico y no se tiene una estrategia formal para su eliminación o reciclaje ni de desarrollo de tecnología aplicable para dicho problema. Entonces la propuesta es un aporte de avance tecnológico para el reciclaje de plásticos y poder contribuir en la eliminación o reciclado de los mismos. La ventaja de los plásticos PET es que son triturados con facilidad obteniéndose minúsculas partículas para luego ser empleadas en diferentes procesos que serán útiles para el ser humano o con una reducción considerable en impacto del medio ambiente. Bajo esa premisa, es que los autores plantearon el desarrollo de un

prototipo de máquina trituradora donde las partes y elementos son fáciles de elaborar o poder adquirir en el sector local.

**Namuche et al. (2019)** en su trabajo referente al diseño de una planta de fabricación de ladrillo a partir de plástico reciclado en el parque industrial Piura Futura, el cual se enfocó en buscar reducir el impacto ambiental causado por el plástico como un factor ambiental importante en diferentes partes del mundo. El trabajo se conformó por nueve capítulos, abarcando la información obtenida y generada en el tiempo que tomó su desarrollo. Inicialmente se busca información referente al reciclaje de este residuo sólido considerando a los municipios locales. Luego, se muestra información importante sobre las características y propiedades, así como de una visión más generalizada del mismo. Posteriormente, se realizó un estudio de mercado y empleando una metodología de investigación adecuada a la data obtenida, a la experimentación, predicción y simulación. Seguidamente, se presentó la ubicación de la planta, un lugar adecuado para su desarrollo, identificando la maquinaria a utilizar en el proceso de fabricación, además se presentó la distribución de la planta tanto en dimensiones como la interdependencia entre las áreas de trabajo.

**Porras (2018)** en su tesis sobre el diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP, planteó como objetivo principal el diseñar una máquina que sea automática y compacta, permitiendo reciclar plástico ABS, abastecido de las piezas en desuso de los laboratorios de la PUCP y así poder transformarlo en filamentos para poder imprimir en 3D. El autor determinó que para que el diseño funcione correctamente, éste debe contar con tres estaciones que estarán intercomunicadas para realizar el proceso específico que será triturar, extruir y enrollar el filamento de ABS. El diseño empleado le permite a la máquina poder llevar a cabo cada proceso de forma independiente, donde se puede obtener de forma mínima 0.5 kg de filamento ABS para impresión 3D de diferentes diámetros comerciales de manera continua. Adicionalmente, el diseño puede ser usado para el reciclado de otros tipos de plástico siempre que cuenten con propiedades físicas y mecánicas semejantes al ABS. Los

cálculos para el diseño mecánico, se hicieron empleando simulaciones computacionales referente al análisis de diferentes materiales, igualmente para la selección de los elementos, la propuesta para el sistema de control y los planos del ensamblaje y despiece final para su elaboración. Así, se determinó que el presupuesto de diseño y elaboración asciende a S/. 33,000.00 de forma aproximada.

### **Contexto Local**

**Cajusol (2020)** en su tesis diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo”, ubicada en Túcume, departamento de Lambayeque, el autor planteó diseñar formalmente una máquina trituradora de botellas de plástico, la que debe contar con una capacidad de 25 kg/h, considerando ciertos parámetros para el diseño, con el fin de cumplir con los requisitos de la empresa “Bravo”. Estos requisitos fueron recopilados de las entrevistas realizadas al personal del proceso de reciclado de plástico, quienes mostraron interés en la adquisición de una máquina que permita una ayuda a dicho proceso de triturado. Con esos datos, se elaboró una tabla con los parámetros para el diseño ingenieril. Luego, se recopiló información bibliográfica y de las normas referentes al diseño de máquinas trituradoras. Posteriormente, se plantearon alternativas de solución, considerando 5 conceptos y 3 posibles configuraciones, las mismas que se filtraron empleando una matriz comparativa, permitiendo elegir la mejor alternativa cumpliendo con los criterios de valoración de dicha matriz. El elemento crítico considerado para el diseño, es el eje portacuchillas, donde el diámetro apropiado se determinó por análisis paramétrico, obteniéndose un valor de 1 ¼”, seleccionando como material de trabajo al Acero AISI 1045, arrojando un factor de seguridad de 3.2. Al final, del análisis de rentabilidad se pudo concluir que la empresa obtendría un beneficio de S/. 2700 mensualmente, y que para recuperar la inversión, el tiempo estimado fue de 1 año con 11 meses.

**Monteza (2019)** en su tesis titulada diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas de 100 kg/h para optimizar su transporte y almacenamiento

en la empresa recicladora planeta verde EIRL – Chiclayo, el autor planteó como objetivo general diseñar una máquina trituradora para botellas plásticas con una capacidad de 100 kg/h con el objetivo descrito. Con esto se podrá preservar la naturaleza, optimizando el proceso de reciclado de plástico PET (Tereftalato de Polietileno) para su transporte y almacenaje, además de buscar beneficios para la empresa Planeta Verde EIRL, ubicada en Chiclayo. La investigación fue cuantitativa, con métodos estadísticos y análisis de datos de las encuestas realizadas. Ayudando a determinar la aceptación del proyecto y poder lograr obtener un adecuado diseño, apropiado para la elaboración de una máquina trituradora de botellas plásticas PET.

## **2.2. Base Teórica**

### **2.2.1. Plásticos**

#### **2.2.1.1. Generalidades**

El origen de la palabra plástico se remonta al griego “plastikos” que se puede traducir como “moldeable”.

Los plásticos pertenecen a los polímeros. Un polímero es una estructura formada por una repetición de moléculas de cadena larga, interconectadas. El origen del término proviene de los griegos “poly” (muchos) y “mero” (que significa parte).

El plástico tuvo sus orígenes en el siglo XIX, gracias a John Hyatt que sintetizó un producto llamado “celuloide”. Éste es un plástico transparente, muy usado en la fabricación de películas fotográficas y cinematográficas.

En el siglo XX, el químico Leo Hendrik Baekeland creó el primer plástico sintético, llamado “bakelita”.

En el año de 1912, apareció el cloruro de polivinilo (comercializable desde 1927) y el poliestireno.

En 1932 se iniciaron los estudios que facilitarían más tarde la aparición del polietileno.

En 1930 inició la comercialización del nylon, cuyos estudios venían realizándose desde 1928.

En la década 1940 aparecieron polímeros de uso especial como son: fluorocarburos (teflón), siliconas, poliuretanos, resinas epóxicas y acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

En la década de 1950 surgió el poliéster, polipropileno, policarbonato y el polietileno de alta densidad. Al finalizar la década aparecieron los elastómeros termoplásticos.



Como puede observarse, los plásticos forman parte de la vida cotidiana de la humanidad. Por ello es innegable su impacto que tiene sobre la civilización y el planeta.

#### **2.2.1.2. Clasificación**

Según su comportamiento frente al calor, pueden clasificarse en polímeros termoplásticos o polímeros termofijos (o termoestables).

##### **a. Polímeros termoplásticos**

Estos polímeros cuando son calentados, se convierten en un líquido viscoso. Esta propiedad es utilizada para hacerlos adoptar cualquier forma. Pueden ser sometidos repetidamente a este proceso de calentamiento y enfriamiento sin que la estructura molecular interna se vea alterada. Entre los más conocidos se tienen:

- Acrílicos.
- Celulosas (celofán)
- Fluoropolímeros: Resalta el politetrafluoretileno (PTFE) o teflón.
- Poliamidas (nylon).
- Policarbonato.
- Poliésteres: Resalta el tereftalato de polietileno (PET).
- Polietileno: Destacan el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE).
- Polipropileno.
- Poliestireno (espuma para empaques o aislamiento).
- Cloruro de polivinilo (PVC)

b. Polímeros termofijos o termoestables.

La primera vez que es sometido al calor se comporta similar a los termoplásticos, pero con una menor tolerancia a la temperatura (una alta temperatura provoca la solidificación). Tampoco pueden ser sometidos a un nuevo ciclo de calentamiento, pues se queman y quedan inutilizables. Entre los más conocidos se tienen:

- Amino resinas: Cubiertas de triplay.
- Fenólicos: Destaca la baquelita de las tarjetas electrónicas.
- Poliuretanos: Utilizados como espumas aislantes para las cadenas de frío.
- Silicones.

## **2.2.2. Tereftalato de polietileno (PET)**

### **2.2.2.1. Generalidades**

Según la clasificación anteriormente descrita, el tereftalato de polietileno (PET) es un poliéster termoplástico.

Los estudios que derivaron en su síntesis ocurrieron durante la década de 1930; consiguiendo por fin en 1941 ser patentado por J. T. Dickson y J. R. Whinfield como un polímero para fibras. Sin embargo, no fue sino hasta 1955 que empezó a comercializarse como tal.

Un año importante para el PET fue 1976, cuando empezó a usarse en la fabricación de envases transparentes para bebidas. Uso que se ha extendido de manera colosal hasta nuestros días.

El tereftalato de polietileno tiene la siguiente codificación visual:

**Figura 4**

*Símbolo PET*



*Fuente:* (Gestión Solidaria, 2019)

#### 2.2.2.2. Propiedades

Entre sus principales características están: su ligereza, conserva las propiedades organolépticas de los alimentos y bebidas, buena resistencia química, bajo precio de producción y reciclable.

Según Martínez Gaona (2017), el PET es un tipo de polímero que se emplea para elaborar botellas plásticas, las mismas que luego de ser usadas, son arrojadas a los mares, ríos y zonas verdes del planeta, sin considerar que su tiempo de degradación es de 1000 años aproximadamente.

**Tabla 2**

*Propiedades del Tereftalato de Polietileno*

Símbolo	PET
Densidad	1,34 – 1,39 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tensión	59-72 MPa
Temperatura de fusión	244 – 254 °C

*Fuente:* (Sandoval, 2013)

#### 2.2.2.3. Aplicaciones

Actualmente, el uso más común es la fabricación de botellas para bebidas. Sin embargo, también posee una pequeña participación en el sector textil mediante las fibras Dracron y Fortrel.

### **2.2.3. Reciclado de plástico**

#### **2.2.3.1. Generalidades**

Uno de los problemas más importantes a nivel mundial, es sin dudas, el poco cuidado de la naturaleza. Respecto a este problema, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente indica que el desarrollo económico a brindado un acceso tanto al sector salud como a la educación, además de sacar a millones de personas de la pobreza, pero empleando el modelo económico “primero crecer y luego limpiar”, utilizado en algunas regiones, no han tenido en consideración el cambio climático, la contaminación ni la degradación de los sistemas naturales. (PNUMA, 2019)

En el ámbito internacional se dice mucho de la enorme contaminación por la que atraviesa el planeta, por lo cual, muchos países han optado por tomar medidas para preservar la naturaleza o medio ambiente. Actualmente, se vive en un mundo rodeado de plástico, material altamente empleado para múltiples aplicaciones de la vida diaria, debido a su resistencia, costo bajo de producirlo y fácil de transportar. (LIBERA - Unidos contra la Basuralidad, 2018)

Considerando que existe un porcentaje de variación con respecto al reciclado del material PET tomando en cuenta a los países desarrollados y en vías de desarrollo, sin importar el factor que pueda interferir, aun así, se sigue produciendo gran cantidad de residuos sólidos PET, los mismos que llegan a parar en los ríos, las veredas de las calles, en los mismos botaderos de desperdicios y hasta en los mares. (Muñetón et al., 2017)

Nadales Díaz (2017) define al reciclaje o reciclado como al proceso mediante el cual se convierte o transforma tanto física, química y biológicamente los residuos plásticos con la finalidad de producir materia prima nueva con la que se podrá elaborar los productos de donde derivaron o en productos distintos.

El reciclado puede suceder de forma química, energética o mecánica.

#### **2.2.3.2. Reciclado químico**

Consiste en la separación de las moléculas que conforman los polímeros mediante una reacción química. Este proceso transforma los plásticos a materia prima nuevamente. Entre los procesos más importantes se tienen:

- a. Pirolisis: mediante calentamiento al vacío. Genera hidrocarburos líquidos o sólidos.
- b. Hidrogenación: mediante calentamiento en un ambiente con hidrógeno. Genera petróleo sintético.
- c. Gasificación: mediante aire u oxígeno a una alta temperatura para calentar el plástico. Se obtiene monóxido de carbono e hidrógeno.
- d. Quimiolisis: utiliza un agente químico que desintegra el plástico.
- e. Metanólisis: similar a la quimiolisis. Se utiliza metano para convertir el tereftalato de polietileno en sus moléculas básicas.

#### **2.2.3.3. Reciclado energético**

El plástico PET posee una capacidad calorífica comparable al carbón; por lo que puede ser usado como combustible en la industria energética. La mayor desventaja es la posible liberación de agentes cancerígenos.

#### **2.2.3.4. Reciclado mecánico**

Consiste en la reducción de tamaño de los desechos plásticos hasta hojuelas que serán utilizados en otros procesos. Actualmente es el método más extendido por su simpleza. Generalmente está formado por las siguientes etapas:

- a. Acopio

En esta etapa inicial se recolecta la materia prima (mayormente botellas de plástico) y se almacena en patios a la espera del siguiente paso.

b. Selección

Son separadas las botellas por tipo de plástico y por color. Además, son desechadas las tapas, etiquetas, entre otros residuos no aprovechables.

c. Trituración

Un molino triturador especial se encarga de reducir el tamaño del plástico hasta escamas de aproximadamente  $1\text{ cm}^2$ , varía según los requerimientos del mercado. Este es el paso más importante en el proceso productivo; pues de él depende la calidad del producto final. Una trituración deficiente puede generar tamaños muy irregulares o aglutinación por generación de calor durante el corte.

d. Lavado

Se limpia el plástico ya triturado de cualquier desecho que haya quedado de la selección; por ejemplo: restos de polvo, pequeños papeles, restos de etiquetas, etc.

e. Secado

Como su nombre lo indica, el plástico ya limpio es secado hasta no tener rastros de humedad.

f. Extrusión

Una máquina especial (extrusora) funde el material reciclado hasta conseguir una masa plástica. Esta pasta es transformada en granos de plástico que ya pueden ser utilizados en procesos de manufactura.

#### **2.2.3.5. Reciclado del PET**

Se puede decir que el 50% del material plástico consumido por la población mundial, al cabo de cuatro o cinco años, este se convierte en residuo sólido. (Geyer et al., 2017)

Ormaza et al. (2020) manifiesta que la actual situación actual del planeta, esta relacionada con el deterioro de la naturaleza, algo realmente preocupante para el ser humano; debido al empleo del uso del plástico (PET) para elaborar botellas y diferentes envases, lo que conlleva al ser humano en busca de soluciones para dar respuesta a este problema de índole internacional.

Según Damián Eneque (2016), quien indica que es poco el trabajo hecho en realizar proyectos que se encuentren relacionados de forma directa en el reciclado o reutilización de las botellas plásticas, es decir, procesadas para obtener fibras que tengan la forma de hilos, obtenidos a partir de dichas botellas, lo cual permitiría la integración de esta nueva actividad como un nuevo ciclo económico, lo que generaría el reuso de como materia prima para la fabricación de productos derivados o nuevos.

Considerando como ejemplo a la Universidad Tecnológica de Tehuacán, donde dicha casa de estudios tuvo la idea de reciclar el PET debido al consumo de la población, considerando que es un material no biodegradable, tardando entre 50 a 200 años en degradarse, esto es, en un vertedero. Debido a esta problemática es que buscaron el diseñar una alternativa de proceso que sea sustentable para reutilizar el PET, mediante la elaboración de una máquina trituradora, con el objetivo de producir ladrillos y columnas de dicho material. (Gonzales et al., 2013)

En países desarrollados se ha logrado alcanzar un porcentaje por encima del 50% en reciclado de residuos sólidos, en tanto, que en América Latina y el Caribe apenas llega al 14%. De acuerdo con cifras del Banco

Interamericano de Desarrollo (BID). Aunque, los países del mundo han propuesto que para el 2030 se reduciría de forma considerable la generación de residuos. (Morán, 2020)

#### **2.2.4. Trituración**

##### **2.2.4.1. Definición**

Se llama trituración al proceso en el que un material es reducido en trozos de tamaño menor al original. Los materiales sólidos pueden ser triturados por compresión, impacto, frotación y corte. La compresión es útil en la reducción gruesa de materiales duros; por ejemplo, rocas. El impacto puede generar trozos de distintas proporciones. La frotación genera productos muy finos (se utilizan materiales blandos no abrasivos). El corte tiene la particularidad de generar productos con tamaños similares y definidos.

Por ejemplo, para el reciclado y reusó de las botellas plásticas de material PET, se emplea el proceso denominado trituración, donde dicho proceso permite la reducción del volumen que ocupan dichas botellas en las recicladoras, facilitando su transporte. (Naranjo Vargas et al., 2021)

García et al. (2016) indica que existen múltiples sistemas de reciclado de plásticos, de donde la mayoría son procesos de trituración y compactación.

#### **2.2.5. Equipos de reducción de tamaño**

##### **2.2.5.1. Molinos de cuchillas**

Existen distintas máquinas utilizadas para reducción de tamaño de variados materiales. Sin embargo, el tipo más usado y apropiado para tratar con plásticos son los molinos de cuchillas.

La característica principal de estas máquinas es que cortan el material, de una forma homogénea y regular y tienen una buena capacidad de



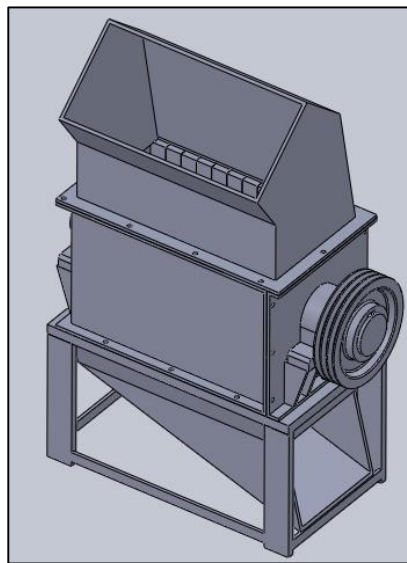
disipación de calor, lo que evita que el plástico se caliente y se forme una pasta.

#### **2.2.5.2. Estructura de la máquina**

La primera parte de la máquina es la tolva de alimentación, que da acceso a la cámara de molienda; que a su vez alberga el eje con cuchillas giratorias y los soportes de trituración (cuchillas fijas).

**Figura 5**

*Estructura de la trituradora de plástico PET*



La carga de material se realiza a través de la tolva en la parte superior; puede efectuarse de varias maneras: manual, por tornillo sinfín, banda transportadora o por medios neumáticos.

Es en la cámara de molienda donde el producto es reducido de tamaño y cae a la parte inferior donde se encuentra un tamiz (malla) con la abertura específicamente diseñada para dejar pasar el producto con el tamaño correcto y hacer recircular los trozos que necesitan reducir más su tamaño.

La configuración de las cuchillas en el rotor suele ser en forma sesgada, pues así actúan en forma de tijeras. Este modelo otorga mayor eficiencia energética, ya que el área de impacto en el producto es más

pequeña que la tradicional (forma recta). Además, las cuchillas se encuentran desfasadas para que no todas las cuchillas entren en acción, pues así se reduce la cantidad de torque necesario.

### 2.2.5.3. Factores para el diseño

#### a. Velocidad de rotación de las cuchillas

La importancia de una adecuada velocidad periférica radica en la limpieza del corte, lo que evita la generación de calor y su consecuente aumento de viscosidad del material (el plástico termina adhiriéndose a las cuchillas, disminuyendo su eficiencia).

La siguiente tabla muestra rangos de velocidad periféricas utilizado en la molienda. Este parámetro también sirve para hallar la velocidad de giro del eje en el que se encuentran las cuchillas.

**Tabla 3**

*Velocidades periféricas para la molienda*

Rango de Velocidades	Uso	Producto a Obtención
De 6 a 10 m/s	Machaqueo o Primario	De bloques a piedras pequeñas de 2 in
De 10 a 40 m/s	Molienda Gruesa	Hasta obtenciones de 5 mm
De 40 a 80 m/s	Molienda Media	Hasta obtenciones de 100 $\mu$ m
De 80 a 150 m/s	Molienda Ultra fina	Hasta obtenciones por debajo de 5 $\mu$ m

*Fuente:* (Millones Hernández, 2014)

#### b. Ángulo de inclinación de la cuchilla

Para el caso de la selección del ángulo de ataque y despeje en la trituración de botellas de plástico PET, es conveniente comparar este proceso con el mecanizado ya que la función es similar: arranque de material mediante una cuchilla en movimiento.

Sin embargo, se debe ser muy específico en la selección de parámetros ya que el plástico tiene un comportamiento diferente frente a otros materiales durante el mecanizado. Por ejemplo:

- Formación de grietas: la mejor forma de evitarlas es con un mecanizado a velocidades altas y una adecuada selección de ángulos de despeje y ataque.
- Generación de calor: causada por la baja conductividad térmica de los plásticos. Esto puede causar deformación en el material y adherencia a las cuchillas, bajando la eficiencia del proceso. Para evitarla, se recomienda un avance pequeño de las máquinas herramientas.

Estos parámetros se obtienen mediante experimentación, para ello se recurrió a la compañía “The Ensinger Group”; la cual es una firma especializada en la fabricación de plásticos de alto rendimiento, presentes desde hace más de 50 años en el mercado.

Enginger, en su guía “Machining Recommendations for semi-finished engineering plastics” brinda parámetros para el fresado y torneado de distintos tipos de plásticos; siendo de interés el ángulo de despeje y ataque. En la imagen inferior se encuentra resaltado los valores para el plástico PET (llamado TECAPET dentro de la organización).

**Tabla 4**

*Parámetros para el mecanizado de plásticos*

	Milling			Turning					
	Number of teeth	Cutting speed	Feed rate	Clearance angle	Rake angle	Side angle	Cutting speed	Feed rate	
TECAFINE PE, PP	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6 - 10	0 - 5	45 - 60	250 - 500	0.1 - 0.5	
TECAFINE PMP	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6 - 10	0 - 5	45 - 60	250 - 500	0.1 - 0.5	
TECARAN ABS	Z2 - Z4	300 - 500	0.1 - 0.45	5 - 15	25 - 30	15	200 - 500	0.2 - 0.5	
TECANYL	Z2 - Z4	300	0.15 - 0.5	5 - 10	6 - 8	45 - 60	300	0.1 - 0.5	●
TECAFORM AD, AH	Z2 - Z4	300	0.15 - 0.5	6 - 8	0 - 5	45 - 60	300 - 600	0.1 - 0.4	
TECAMID, TECARIM, TECAST	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6 - 10	0 - 5	45 - 60	250 - 500	0.1 - 0.5	
TECADUR/TECAPET	Z2 - Z4	300	0.15 - 0.5	5 - 10	0 - 5	45 - 60	300 - 400	0.2 - 0.4	
TECANAT	Z2 - Z4	300	0.15 - 0.4	5 - 10	6 - 8	45 - 60	300	0.1 - 0.5	●
TECAFLON PTFE, PVDF	Z2 - Z4	150 - 500	0.1 - 0.45	5 - 10	5 - 8	10	150 - 500	0.1 - 0.3	
TECAPEI	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	10	0	45 - 60	350 - 400	0.1 - 0.3	●
TECASON S, P, E	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6	0	45 - 60	350 - 400	0.1 - 0.3	●
TECATRON	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6	0 - 5	45 - 60	250 - 500	0.1 - 0.5	
TECAPEEK	Z2 - Z4	250 - 500	0.1 - 0.45	6 - 8	0 - 5	45 - 60	250 - 500	0.1 - 0.5	
TECATOR	Z2 - Z4	60 - 100	0.05 - 0.35	6 - 8	0 - 5	7 - 10	100 - 120	0.05 - 0.08	
TECASINT	Z2 - Z4	90 - 100	0.05 - 0.35	2 - 5	0 - 5	7 - 10	100 - 120	0.05 - 0.08	
Reinforced/filled TECA products*	Z2 - Z4	80 - 150	0.05 - 0.4	6 - 8	2 - 8	45 - 60	80 - 150	0.1 - 0.5	

*Fuente: (ENSINGER, 2014)*

### c. Fuerza y torque necesario para la trituración

El procedimiento para la obtención de la fuerza inicia con un análisis de cuerpo libre de un trozo de material atrapados en una cuchilla giratoria y sus fijas correspondientes.

Las fuerzas identificadas son plasmadas en diagramas de corte y momento flector, para encontrar los esfuerzos máximos en el trozo analizado. Posteriormente son hallados los esfuerzos principales en el plano, los que servirán para hallar la fuerza requerida según la teoría de distorsión máxima.

Esta teoría fue definida en 1094 por M. Hurber: “La cedencia de un material dúctil se produce cuando la energía de distorsión por unidad de volumen del mismo material cuando se somete a la cedencia en una prueba de tensión simple”. R. Von Mises y H. Hencky también tienen sus definiciones propias, por lo que esta teoría de falla también lleva sus nombres. Expresado de forma matemática, en el caso de esfuerzo plano, se tiene:

$$\sigma_y^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2$$

Donde:

$\sigma_1, \sigma_2$ : esfuerzos principales en el plano

$\sigma_y$ : esfuerzo de cedencia del material

El esfuerzo de cedencia puede encontrarse en las tablas de propiedades mecánicas del material en cuestión. Con respecto a los esfuerzos principales, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Donde  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son los esfuerzos (de compresión o tracción) en el eje X e Y, respectivamente.  $\tau_{xy}$  es el esfuerzo cortante en el plano xy.

Los fundamentos teóricos para hallar estos esfuerzos no son abordados en el presente trabajo de investigación, pues pueden ser consultados en la literatura de resistencia de materiales.

#### d. Capacidad de producción

Define el tamaño de la máquina y la máxima cantidad de material que podrá triturar.

Para este trabajo de investigación, se tomó como base la producción diaria de desechos de botellas de plástico PET en la ciudad de Chiclayo. Tomando en consideración 12 horas de funcionamiento diarias de la máquina.

#### e. Potencia

Las variables para la obtención de la potencia son la velocidad de giro del eje de cuchillas y el torque aplicado al mismo. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \frac{T \times RPM}{716}$$

Donde:

P: Potencia (HP)

T: Torque (kg.m)

RPM: velocidad de giro en RPM

## **2.3. Definición conceptual de la terminología empleada**

### **Residuos sólidos**

Material en estado sólido o semisólido en calidad inservible destinado a ser desechado. Según su composición pueden ser orgánicos, inorgánicos o peligrosos. Según su origen pueden ser domésticos, comerciales, industriales, hospitalarios o de construcción.

### **Tereftalato de polietileno (PET)**

Tipo de polímero usado mayormente en envases de bebidas.

### **Reciclado**

Proceso físico o químico por el cual un material desechado se convierte en un nuevo producto o materia prima.

### **Trituración**

Método utilizado para reducir el tamaño de un material. Usualmente realizado por un molino de cuchillas.

### **Máquina**

Es un conjunto de piezas fijas y/o móviles diseñados para interactuar entre sí y realizar un trabajo específico. Una máquina generalmente está dimensionada según su Potencia y su Capacidad de producción

### **Potencia**

Es la cantidad de energía requerida por unidad de tiempo para que una máquina realice el trabajo para el que fue diseñada. La unidad de medida según el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el kilowatt (kW). Sin embargo, también suele usarse el Horse Power (HP)

### **Capacidad de producción**

Es la medida cuantitativa del trabajo que puede realizar una máquina para el cual fue diseñada. La unidad de medida varía de acuerdo al campo de aplicación. En el caso de las trituradoras suele usarse el kilogramo por hora (kg/h)

### **Factor de seguridad**

Es la relación existente entre la capacidad de diseño de una máquina y la capacidad real que será capaz de realizar. Suele ser mayor a 1 para indicar que existe un margen en las prestaciones ofrecidas en caso existan desviaciones a la situación planteada durante la etapa de diseño.

### **Elementos de máquina**

Piezas fijas y móviles que forman parte del ensamble de una máquina. Pueden ser: elementos de constitución (bastidores), elementos de unión, elementos de transmisión, elementos de pivote y rodadura. Según la tecnología pueden clasificarse como: mecánicos, neumáticos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos.

### **Diseño mecánico**

Proceso de ingeniería realizado con el fin de dimensionar una máquina y sus elementos para que cumpla con un objetivo determinado.

### **Esfuerzo de fluencia**

Es el valor del esfuerzo máximo que puede tolerar un material sin que se desarrolle una deformación plástica (sin posibilidad de volver a su forma original).

### **Esfuerzo de rotura**

Es el valor del esfuerzo que soporta un material antes que falle (rotura).



## **CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El diseño se plantea como no experimental, prospectivo y transversal. (Hernández et al., 2014)

A continuación, se explica el porqué de cada uno.

- **No-Experimental**, porque no habrá manipulación en las variables. Los datos se obtendrán según se desarrollan en su contexto real.
- **Prospectivo**, porque se hará una tendencia para evaluar el escenario de desarrollo.
- **Transversal**, porque se limita a tomar datos en un corto periodo de tiempo.

### **3.2. Población y muestra**

La población será las botellas de plástico de Tereftalato de Polietileno o PET.

La muestra será la capacidad que puede procesar la máquina trituradora, la cual asciende a 400 kg/h de botellas de plástico de Tereftalato de Polietileno o PET.

### **3.3. Hipótesis**

Con la propuesta de diseño de una máquina trituradora con sistema de corte optimizado con una capacidad de 400 kg/h se podrá reciclar plástico PET triturado para la ciudad de Chiclayo.

### **3.4. Variables – Operacionalización**

- **Variable independiente:**

Diseño de máquina trituradora

- **Variable dependiente:**

Reciclado de plástico PET

**Tabla 5**

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>Independiente:</b> Diseño de máquina trituradora	Máquina conformada por elementos de máquina que tiene la capacidad de triturar el plástico PET para reducirlo a partículas mínimas para su reciclado. (Baño Marti, 2019)	Proceso que parte del análisis físico de fuerzas requeridas.	Parámetros de diseño	Fuerza Torque Momento Esfuerzo Factor de seguridad Diámetro	N Nm Nm MPa Adimensional mm, pulgadas
			Parámetros de funcionamiento	Tensión Amperaje Potencia Energía	V A kW, HP kWh
			Costo de Inversión	Costo por equipos y materiales Costo por mano de obra	S/.
			Costos de Operación y Mantenimiento	Costos por operación Costos por mantenimiento	S/.
<b>Dependiente:</b> Reciclado de plástico PET	Proceso que sirve para la recuperación de residuos plásticos PET para su reutilización como materia prima para elaborar nuevos productos o también como productos químicos o combustibles. (Twenergy, 2021)	Para lograr obtener plástico triturado, éste debe pasar por el proceso de trituración en la máquina trituradora	Capacidad de reciclaje	Flujo de reciclado	kg/h

### 3.5. Métodos y técnicas de investigación

#### 3.5.1. Métodos de investigación

El método usado es el deductivo. Pues se obtendrán conclusiones particulares a partir de una observación general.

En este caso partimos del hecho que las máquinas son poco tecnificadas, para así definir los parámetros principales de diseño.

#### 3.5.2. Técnicas de investigación

Las técnicas usadas durante el desarrollo son:

- **Observación:** Para conocer y comprender la realidad problemática de la población sujeta a la investigación.
- **Análisis de documentos:** Para extraer datos claves para el desarrollo del proyecto. Los documentos pueden ser libros, tesis, publicaciones, fichas, etc.

### 3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados para recolección de los datos permiten aplicar la técnica a la situación real.

**Tabla 6**

*Técnicas e instrumentos en la investigación*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumentos</b>
Observación	Ficha de observación
Análisis de documentos	Ficha de recolección de datos

### **3.7. Análisis estadístico e interpretación de los datos**

Para empezar con el diseño de la máquina trituradora, en primer lugar, se utilizó los datos recopilados con las técnicas y métodos descritos anteriormente, donde se extrajeron los parámetros suficientes y necesarios para el correcto diseño e ingeniería de detalle. Para los cálculos se emplearon los softwares Microsoft Excel para elaborar las tablas y gráficos para sustentarlos, SolidWorks para el modelado de los elementos de máquinas que conformarán la máquina trituradora como ejes, poleas, fajas, rodamientos, etcétera. Una vez finalizado el modelado, seguidamente se realizará el ensamblado y despiece de la máquina para elaborar los planos de detalle de cada elemento de máquina. Los cálculos serán escritos empleando el software Microsoft Word empleando Herramientas de ecuación.

## **CAPÍTULO IV : PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

Debido al problema que surge por los desechos sólidos en la ciudad de Chiclayo, poniendo énfasis en los residuos plásticos de Tereftalato de Polietileno o PET, es que se busca en la presente investigación, el poder reciclarlos de forma eficiente empleando una propuesta de diseño de una máquina trituradora, la cual empleará un sistema de corte optimizado para el proceso de trituración, para que el reciclado sea más eficiente y las partículas obtenidas sean lo más pequeñas posibles. Para ello, se recopilará información importante sobre el diseño de máquinas trituradoras y también, de saber cuáles serán los parámetros iniciales para el diseño adecuado de la máquina trituradora.

Una vez considerado todos los parámetros, se llevará a cabo el cálculo de los parámetros restantes, donde se seleccionará el material que formará parte de los elementos de máquina de la trituradora.

Posteriormente, utilizando el programa de modelado en ingeniería llamado SolidWorks, se llevará a cabo el modelado de elemento por elemento, donde al final de modelar todas las piezas, se procederá al ensamblaje de todas las piezas para obtener la máquina trituradora deseada.

Adicionalmente, se elaborarán los planos de detalle de los elementos de máquina, presentando sus vistas, medidas y detalles necesarios para poder llevar a cabo su fabricación.

Luego, es necesario saber cuánto será el costo de fabricar dicha máquina trituradora, lo que se realizará después de saber con exactitud todos los elementos que la conformarán, donde se elaborará una tabla indicando pieza por pieza con el tipo de material, su costo, además de la mano de obra para poder ensamblarla.

## CAPÍTULO V : ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Generación de residuos plásticos

La cantidad de desechos en una ciudad es medida, generalmente, en kilogramos por habitante-día. Por lo que para conocer la cantidad total de desechos generados es necesario conocer primero la cantidad de habitantes. Finalmente, si se requiere conocer el porcentaje de participación de un tipo de residuo, se debe utilizar los estudios de caracterización de residuos sólidos, realizados por las municipalidades competentes.

#### Población

El Instituto Nacional de Estadística e Informática brinda información sobre la población en la ciudad de Chiclayo durante el periodo 2018-2020. Para conocer valores durante el periodo de interés, es necesario crear una línea de tendencia que permita extrapolar los valores.

**Tabla 7**

*Población en Chiclayo durante el periodo 2018-2020*

Año	Población (habitantes)	Tasa de crecimiento (%)
2018	282 680	-
2019	285 907	1.14
2020	288 360	0.86

(INEI, 2020)

#### Estudio de caracterización

En el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL); la municipalidad de Chiclayo ha presentado dos informes, uno correspondiente al 2012 y otro al 2014. Los cuales contienen, entre otros datos, los estudios de caracterización.

**Tabla 8***Participación de PET según los estudios de caracterización en Chiclayo*

<b>Año</b>	<b>Generación per cápita (kg/hab-día)</b>	<b>%PET</b>
2012	0.45	1.44
2014	0.48	2.65

*Fuente:* (INEI, 2020), (SIGERSOL, 2012), (SIGERSOL, 2014)

Para el caso de la población, se calculó el promedio de las tasas de crecimiento:

$$i_{promedio} = \frac{1.14\% + 0.86\%}{2} = 1.00\%$$

Posteriormente, el promedio se consideró constante para todo el tiempo de estudio, entonces, se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 9***Crecimiento población para el período 2021-2024*

<b>Año</b>	<b>Población (habitantes)</b>	<b>Tasa de crecimiento (%)</b>
2021	291 244	1.00
2022	294 156	1.00
2023	297 098	1.00
2024	300 069	1.00

Para el caso de la generación per cápita de residuos sólidos y el porcentaje de PET, se elaborará una regresión lineal, ya que posee una tendencia a crecer con el tiempo, por lo tanto, se tuvo lo siguiente:

Para la generación per cápita de residuos sólidos

$$y = mx + b$$

Donde “y” es la generación per cápita y “x” es el año. Entonces:

Para el punto (2012; 0.45) y (2014; 0.48)

$$0.45 = 2012m + b$$

$$0.48 = 2014m + b$$

Al resolver, se obtiene los valores de m y b, los cuales son:

$$-2012m - b = -0.45$$

$$2014m + b = 0.48$$

Al sumar las ecuaciones, dio como resultado:

$$2m = 0.03$$

$$m = 0.015$$

Reemplazando el valor de m:

$$2012(0.015) + b = 0.45$$

$$b = 0.45 - 2012(0.015)$$

$$b = -29.73$$

Finalmente, la ecuación de regresión lineal para la generación per cápita es:

$$y = 0.015x - 29.73$$

Posteriormente, para el caso del porcentaje de contaminación por Tereftalato de Polietileno (PET), donde “y” es el %PET y “x” es el año, se tuvo lo siguiente:

$$y = nx + c$$

Para los puntos (2012; 1.44) y (2014; 2.65)



$$1.44 = 2012n + b$$

$$2.65 = 2014m + b$$

Al resolver, se obtiene los valores de n y c, los cuales son:

$$-2012n - b = -1.44$$

$$2014m + b = 2.65$$

Al sumar las ecuaciones, dio como resultado:

$$2m = 1.21$$

$$m = 0.605$$

Reemplazando el valor de m:

$$2012(0.605) + b = 1.44$$

$$b = 1.44 - 2012(0.605)$$

$$b = -1215.82$$

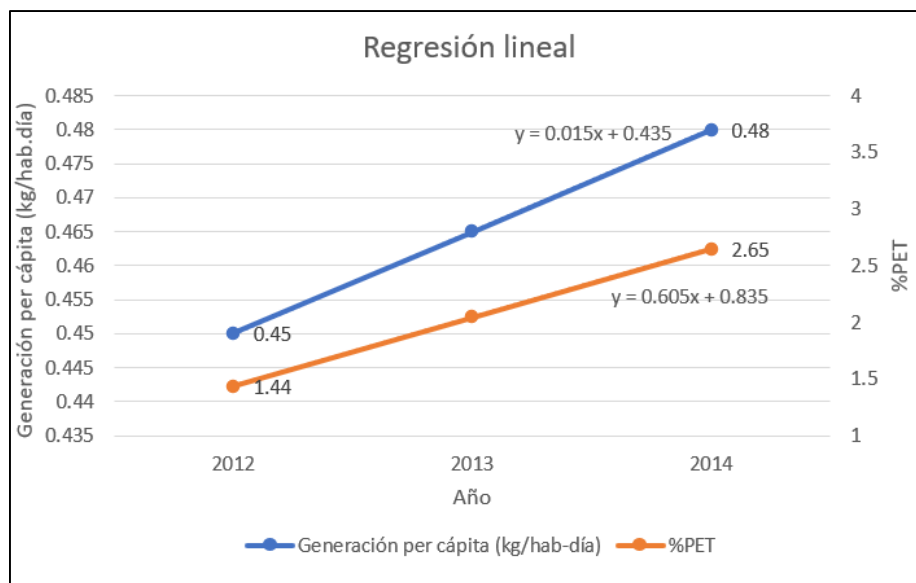
Finalmente, la ecuación de regresión lineal para determinar el porcentaje PET es:

$$y = 0.605x - 1215.82$$

Empleando el software Microsoft Excel para calcular y graficar las ecuaciones lineales, la Figura 6 muestra dicha información.

**Figura 6**

*Crecimiento de generación per cápita (kg/hab. día) y %PET en Chiclayo*



Entonces, comparando los resultados de ambas ecuaciones, se obtiene que son iguales los resultados para los años de estudio, lo cual se verifica en la Tabla 10. Para calcular con la ecuación de Microsoft Excel, se reemplaza “x” por N° y para la ecuación manual por el Año.

**Tabla 10**

*Comparación de resultados obtenidos de las ecuaciones lineales*

N°	Año	Microsoft Excel	Manual	Microsoft Excel	Manual
1	2012	0.45	0.45	1.44	1.44
2	2013	0.465	0.465	2.045	2.045
3	2014	0.48	0.48	2.65	2.65
4	2015	0.495	0.495	3.255	3.255
5	2016	0.51	0.51	3.86	3.86
6	2017	0.525	0.525	4.465	4.465
7	2018	0.54	0.54	5.07	5.07
8	2019	0.555	0.555	5.675	5.675
9	2020	0.57	0.57	6.28	6.28
10	2021	0.585	0.585	6.885	6.885
11	2022	0.6	0.6	7.49	7.49
12	2023	0.615	0.615	8.095	8.095
13	2024	0.63	0.63	8.7	8.7

Con las tres ecuaciones (habitantes, generación per cápita y %PET) se pronostica el siguiente crecimiento:

**Tabla 11**

*Crecimiento de generación de basura en Chiclayo 2020-2024*

Año	Habitantes	Generación per cápita (kg/hab. día)	% PET	Generación PET (kg/día)
2018	282 680	0.54	5.07	7 739.00
2019	285 907	0.555	5.675	9 005.00
2020	288 360	0.57	6.28	10 322.00
2021	291 244	0.585	6.885	11 731.00
2022	294 156	0.6	7.49	13 219.00
2023	297 098	0.615	8.095	14 791.00
2024	300 069	0.63	8.70	16 447.00

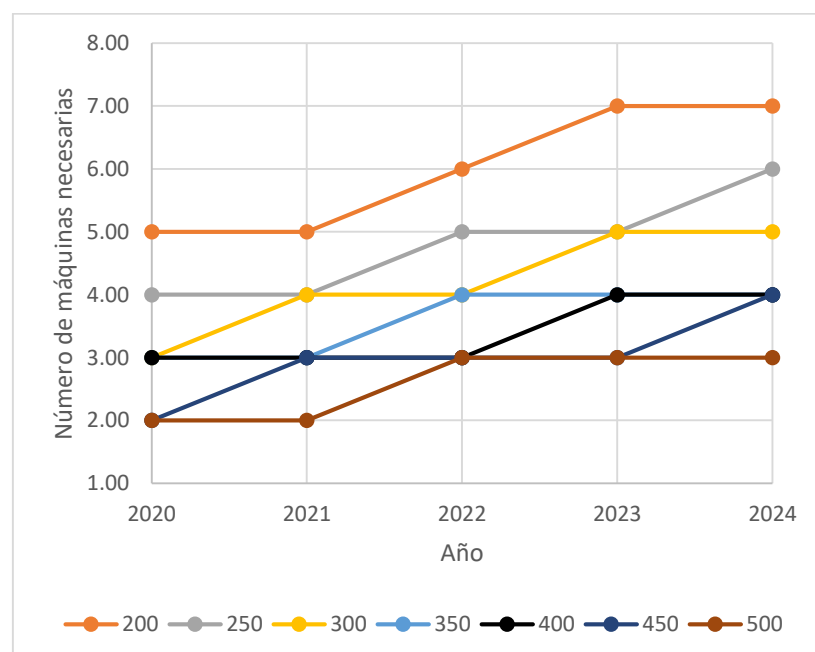
### 5.1.2. Parámetros de diseño para la máquina

#### Capacidad de producción

Teniendo en cuenta la generación diaria de desechos de plástico PET a lo largo del periodo 2020-2024 en la ciudad de Chiclayo y considerando un trabajo diario de 12 horas de la máquina; se presenta el siguiente gráfico, donde se muestra la cantidad de máquinas necesarias año a año, según la capacidad escogida en kg/h:

**Figura 7**

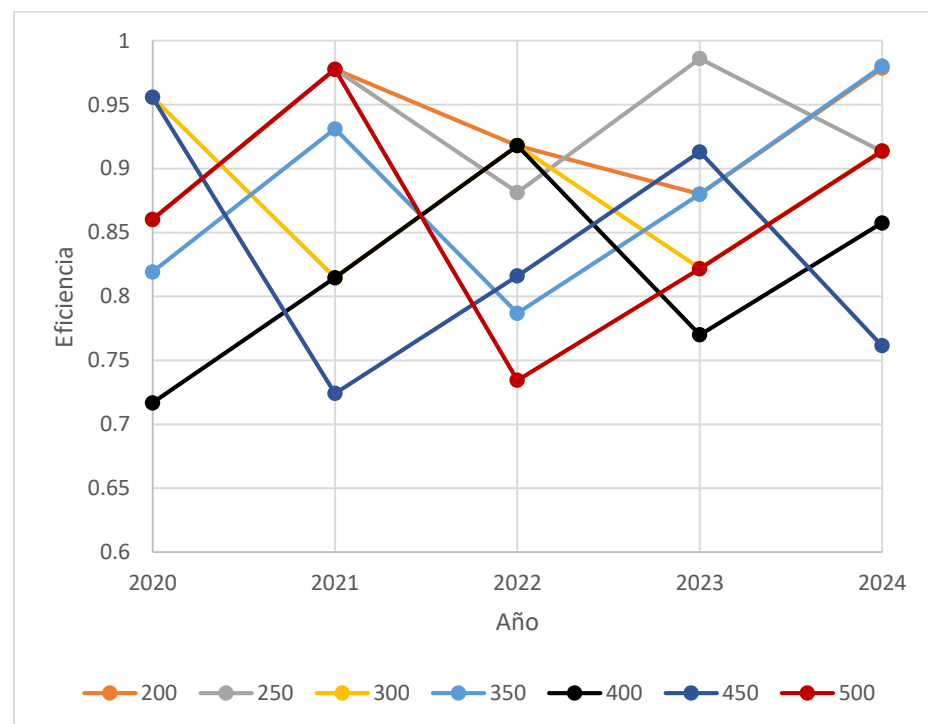
*Número de máquinas necesarias para cubrir la demanda 2020-2024*



La capacidad de 400 kg/h permite un número de unidades menor durante los dos primeros años de operación. Una mayor capacidad también permitiría mantener la misma cantidad de máquinas por mayor tiempo; sin embargo, eso significaría una baja eficiencia en esos primeros años críticos. Tal como se demuestra en el siguiente gráfico:

**Figura 8**

*Eficiencia según capacidad de producción durante 2020-2024*



De la Figura 7 se puede decir que para la capacidad de 400 kg/h, se necesitan 3 máquinas durante los años 2020, 2021 y 2022, luego aumentan a 4 máquinas necesarias para los años 2023 y 2024; de la Figura 8 para la misma capacidad, se tiene una eficiencia del 72% para el año 2020, 81% para el 2021; 92% para el 2022; 77% para el 2023 y 86% para el 2024. Por todo lo expuesto, se selecciona una capacidad de 400 kg/h para la máquina trituradora. Esto, se justifica en que las eficiencias no bajan del 70%, lo cual es ideal, de acuerdo con (Cruelles Ruíz, 2010).

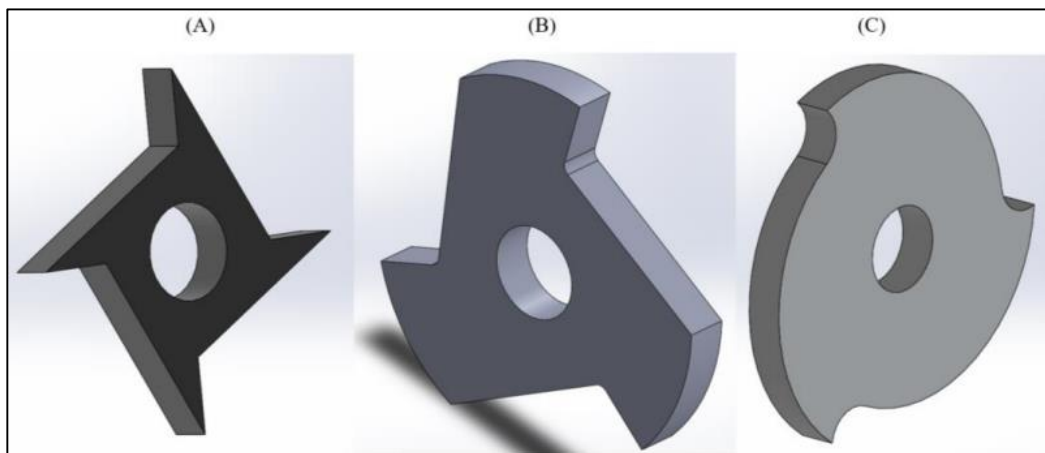
## Sistema de cuchillas

En primer lugar, se hará una selección de la cuchilla que permita optimizar los cortes reduciendo el desgaste, fatiga y costos en el proceso de trituración.

De acuerdo con Moyano Arevalo et al. (2020), se tiene tres tipos de cuchillas, las cuales se aprecian en la Figura 9.

**Figura 9**

*Tipos de cuchillas para trituración*



*Fuente: (Moyano Arevalo et al., 2020)*

De la Figura 9 se puede apreciar (A) Cuchilla con flancos rectos; (B) Cuchillas con flancos a 75°; (C) Cuchillas con flancos curvos. Del análisis realizado por el autor, se obtuvo que la cuchilla con flancos curvos es más eficiente, concentra esfuerzos menores, menores deformaciones, menor desgaste, por lo tanto, sería el tipo ideal a emplear para poder optimizar el sistema de corte de la máquina trituradora a diseñar, lo cual permitirá reducir los costos, energía consumida, mantenimientos, desgaste.

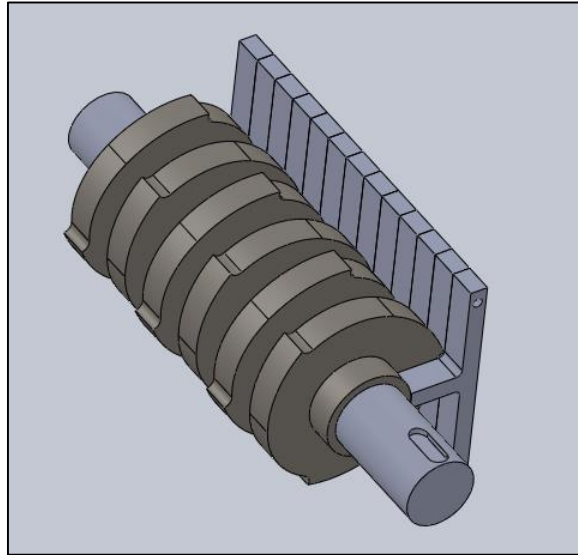
### Disposición

Tomando como referencias diseños de otros trabajos de investigación y las máquinas existentes en la ciudad de Chiclayo. Se ha definido tres cuchillas por cada disco de 5 cm de grosor. Con un total de 06 discos

rotatorios desfasados 60°, para así tener 03 cortes a la vez, lo que reduce el torque total requerido en un corte.

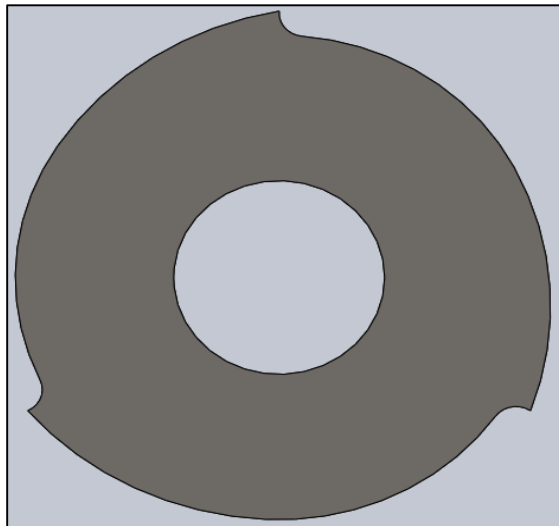
**Figura 10**

*Sistema de cuchillas fijas y rotativas*



**Figura 11**

*Cuchilla rotativa*

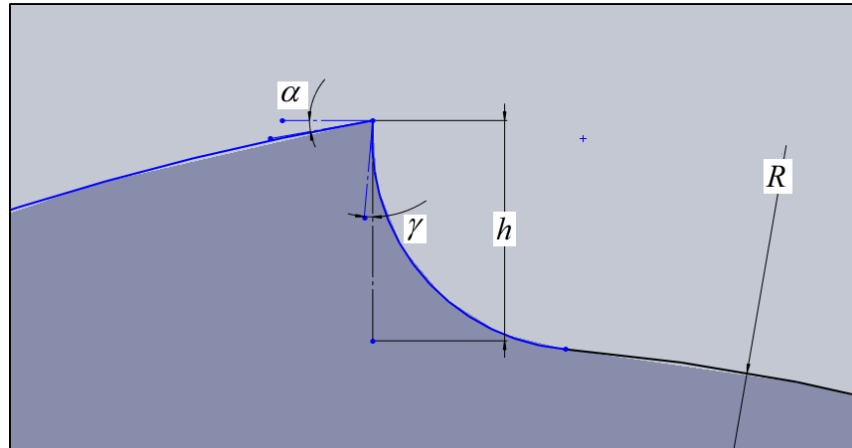


### Parámetros de cuchilla

Para definir la cuchilla, es necesario seleccionar el ángulo de despeje ( $\alpha$ ), el ángulo de ataque ( $\gamma$ ), la altura (h) y el radio del disco (R).

**Figura 12**

*Parámetros de diseño de la cuchilla rotativa*



El ángulo de despeje y ataque se seleccionan de acuerdo a los parámetros de mecanizado de plásticos. Siendo  $10^\circ$  y  $5^\circ$ , respectivamente.

La altura se toma como 1,5 cm para que pueda atrapar las botellas de plástico PET en su parte más gruesa (pico de 3 cm de diámetro).

El radio será 15 cm, tomando como referencia los tamaños de trituradoras similares. Este radio permite el ingreso de botellas de plástico PET en sus presentaciones más grandes (3 litros). El material asignado es el Acero AISI D2, utilizado en la fabricación de herramientas.

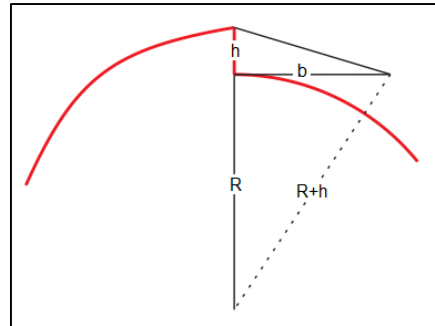
### **Torque**

Para iniciar el cálculo de la fuerza requerida y el torque; analizamos un trozo de botella atrapada en un corte (entre dos cuchillas fijas y una rotativa). Las dimensiones son 15 cm de largo (cada cuchilla es de 5 cm de ancho), 3 mm de alto (botella comprimida) y un ancho definido por el desgarre de la cuchilla.

Para encontrar el ancho, se modela el recorrido de la cuchilla de forma lineal. Así se tiene un área triangular en la que se puede aplicar el teorema de Pitágoras:

**Figura 13**

*Área desbastada por cuchilla*

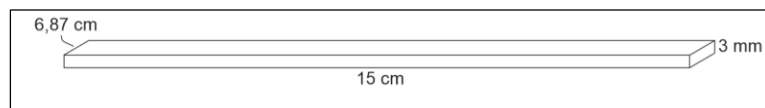


$$b = \sqrt{(R+h)^2 - R^2} = 6,87 \text{ cm}$$

Entonces se tiene el siguiente trozo de plástico modelado como un prisma:

**Figura 14**

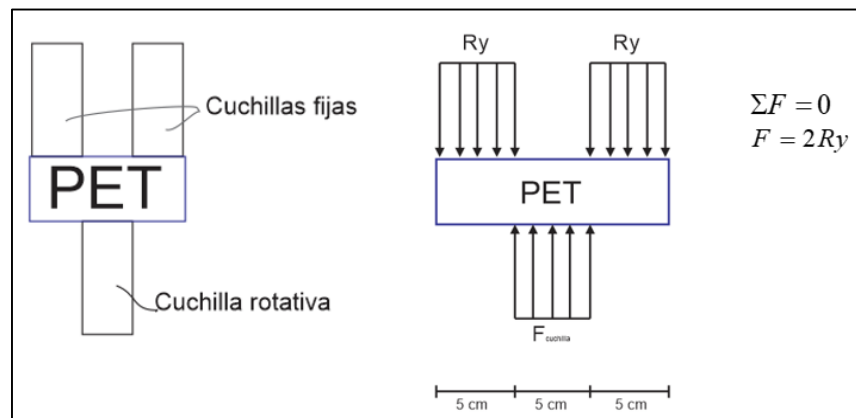
*Dimensiones de plástico desbastado*



Durante el corte se tiene el siguiente esquema, diagrama de cuerpo libre y balance de fuerzas en equilibrio (en el instante antes del corte). Las reacciones de los apoyos y la fuerza de corte ejercida por la cuchilla rotativa son fuerzas uniformemente distribuidas en todo su ancho (5 cm).

**Figura 15**

*Fuerzas presentes entre cuchillas en el instante antes del corte*

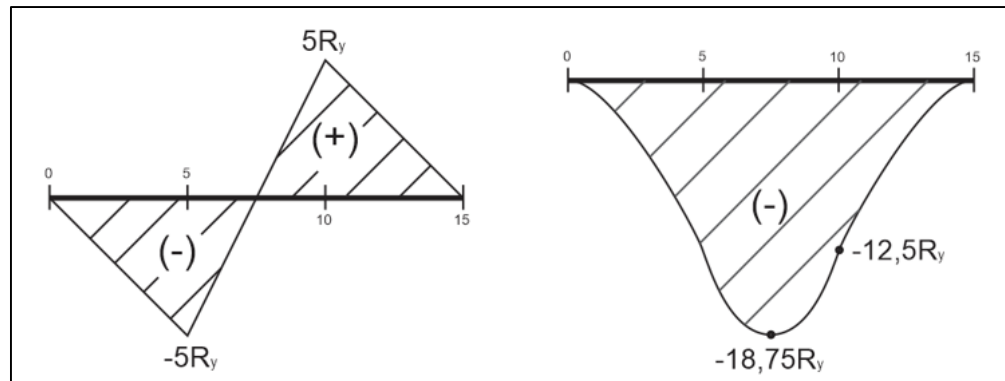


Con las fuerzas definidas según la reacción en los soportes, se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



**Figura 16**

*Diagramas de fuerza cortante y momento flector del plástico atrapado en las cuchillas*



Mediante el análisis de los diagramas se observa que la fuerza cortante máxima tiene como módulo  $5 R_y$  y el momento flector máximo,  $18,75 R_y$ . Sin embargo, estos dos valores no son aplicados en el mismo punto; entonces, para hallar el esfuerzo máximo, se procede a analizar en cada punto del material donde se produce un cambio de ambos valores.

Para hallar el esfuerzo originado por el momento flector, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\sigma_x = \frac{-M \cdot y}{I} ; \text{ donde:}$$

M: momento flector en el punto (N.m)

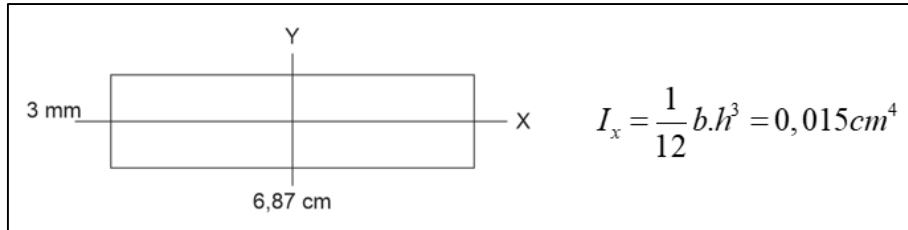
y: distancia del eje neutro al punto de interés (m)

I: momento de inercia con respecto al eje neutro de la sección transversal en ( $m^4$ )

El momento flector “M” se obtiene del diagrama anteriormente mostrado, la distancia “y” es la mitad del espesor (0,15 cm) y el momento de inercia “I” se obtiene según la fórmula:

**Figura 17**

*Sección transversal del plástico desbastado*



Para hallar el esfuerzo por cortante, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: fuerza cortante en el punto de interés (N)

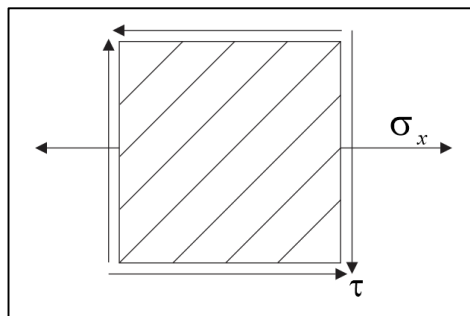
A: área transversal en (m<sup>2</sup>)

La fuerza cortante “F” se encuentra en el diagrama de fuerza cortante. El área “A” es de 2,061 cm<sup>2</sup>.

Los esfuerzos hallados pueden ser representados en el plano según la siguiente figura:

**Figura 18**

*Representación de esfuerzos en el plano*



Con estos dos valores, se procede a hallar los esfuerzos principales, cuya fórmula se expuso en el capítulo 2:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

La siguiente tabla muestra las variables para cada punto analizado del trozo de plástico PET:

**Tabla 12**

*Resumen de fuerzas presentes en el plástico*

Posición (cm)	Fuerza cortante (Ry N)	Momento (Ry N.cm)	Posición y (cm)	Esfuerzo normal	Esfuerzo cortante	Principal 1	Principal 2
0	0	0	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-5	-12.5		125.00	-2.43	125.05	-0.05
7.5	0	-18.75		187.50	0.00	187.50	0.00
10	5	-12.5		125.00	2.43	125.05	-0.05
15	0	0		0.00	0.00	0.00	0.00

Ya con los esfuerzos principales hallados, se procede aplicar la teoría de la energía de distorsión máxima. Para que el material falle, el resultado de la siguiente fórmula (valor expresado como “teoría” en la tabla siguiente) debe ser igual al esfuerzo de cedencia (734 kg/cm<sup>2</sup> para el PET):

$$\sigma_y^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2$$

El resultado de la fórmula anterior tiene unidades Ry/cm<sup>2</sup>. Basta con dividir el esfuerzo de cedencia con el resultado para así despejar Ry. La cual nos dará la fuerza de la cuchilla requerida para el corte:

**Tabla 13**

*Fuerzas requeridas para el corte*

Posición (cm)	Posición y (cm)	Teoría (Ry N/cm2)	Fuerza Ry (N)	F cuchilla (N)
0	0.15	0.00	0	0
5		125.07	57.57	115.14
7.5		187.50	38.40	76.81
10		125.07	57.57	115.14
15		0.00	0.00	0.00

Se toma como valor 115,14 N por ser la máxima fuerza requerida para el corte. Ya con la fuerza de la cuchilla hallada, se procede a encontrar el torque necesario por corte, multiplicando la fuerza por el radio de acción (radio del disco y altura de la cuchilla):

$$T = 115,14 \text{ N} \times (15 \text{ cm} + 1,5 \text{ cm}) / 100 = 19 \text{ N.m}$$

Debido a que se efectúan 03 cortes a la vez por cada 60° de giro del eje, el torque requerido total será:

$$T_{\text{total}} = 19 \text{ N.m} \times 3 = 57 \text{ N.m}$$

### **Velocidad de rotación**

Los valores de la velocidad periférica fueron expuestos en el capítulo 2. El rango seleccionado es 10-40 m/s. Por requerir el límite inferior de tamaño de gránulo, se escoge 40 m/s.

La velocidad angular se halla mediante la siguiente fórmula:

$$V_t = \omega \cdot r$$

Donde:

$V_t$ : velocidad tangencial (m/s)

$\omega$ : velocidad angular (rad/s)

$r$ : radio (m)

La velocidad tangencial es 40 m/s, el radio 16,5 cm. Despejando la velocidad angular:

$$\omega = 242,42 \text{ rad/s} \equiv 2314,94 \text{ RPM}$$

### **Potencia**

Para hallar la potencia requerida se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{T.RPM}{716} \quad [HP]$$

P: Potencia (HP)

T: Torque en (kg.m)

RPM: velocidad de giro en revoluciones por minuto

Reemplazando con los valores previamente obtenidos de torque y velocidad de giro:

$$P = \frac{5,8104 \times 2314,94}{716} = 18,79 HP$$

Comercialmente no existe motor eléctrico de esa potencia; por lo que se escoge la inmediata superior, siendo 20 HP.

### 5.1.3. Cálculo y selección de elementos de máquina

#### Selección de fajas de transmisión

##### Potencia de diseño

Como primer paso, hallamos la potencia de diseño, la cual se obtiene al multiplicar la potencia nominal del motor con el factor de servicio del anexo 1.

$$Pd = 20 HP \times 1,3 = 26 HP$$

##### Selección de la sección de la faja

Con base en la figura del anexo 2, el punto de selección cae dentro de la zona de sección "A" pero cercana al límite con B. Se escoge la "B" por requerir menor cantidad de fajas para una misma potencia.

### Relación de transmisión

Se obtiene al dividir la velocidad del eje más rápido entre el más lento. La más rápida corresponde a la nominal del motor (3600 RPM)

$$R = \frac{3600 \text{ RPM}}{2314,94 \text{ RPM}} = 1,555$$

### Selección de los diámetros de paso de las poleas

Como referencia, utilizamos el anexo 3 para conocer el diámetro mínimo para la faja de sección B (4,6")

Los diámetros estándares de las poleas se muestran en el anexo 4, se selecciona dos pares que guarden la misma relación de transmisión. En este caso, se seleccionó una polea de 8" para el motor y 12,4" para la máquina.

### Selección de la longitud estándar de la faja

En el anexo 5 se muestra las longitudes estándares de fajas. Se selecciona de acuerdo a la distancia entre centros (C) y los diámetros de las poleas (D y d):

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

Se escoge la faja B71 la cual tiene una longitud de paso de 72,8".

### Potencia por faja

Las tablas presentadas en los anexos 5 al 8; se obtienen los valores que serán utilizados en la siguiente ecuación:

$$\frac{HP}{Faja} = \left( \frac{HP}{faja_{tabla}} + HP_{adicional} \right) \cdot K_{\theta} \cdot K_L$$

Con los datos anteriores, se obtiene un valor de 11,019 HP/faja. Como la potencia de diseño es 26 HP, entonces se necesitará:

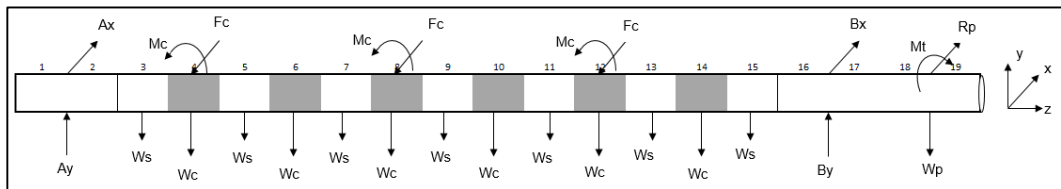
- 3 fajas B71 con una polea conductora de 8", una conducida de 12,4", y una distancia entre centros de 20,26"

### Cálculo del eje

Según el ancho de las cuchillas, separadores, rodamientos y polea; se ha dimensionado el eje, teniendo un largo de 95 cm. En la figura de abajo se muestra en 19 segmentos de 5 cm cada uno, esto para facilitar los cálculos.

**Figura 19**

*Fuerzas presentes en el eje*



Donde:

$A_y$ ,  $A_x$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ : reacciones en apoyos, rodamientos. (N)

$W_s$ : peso de separadores de cuchillas (N)

$W_c$ : peso de cuchillas (N)

$F_c$ : fuerza de corte (N)

$M_c$ : Torque ocasionado por el corte en la cuchilla (N.m)

$W_p$ : peso de polea (N)

$R_p$ : fuerza de la polea ejercida sobre el eje (N)

$M_t$ : Torque total aplicado al eje por la polea conducida (N.m)

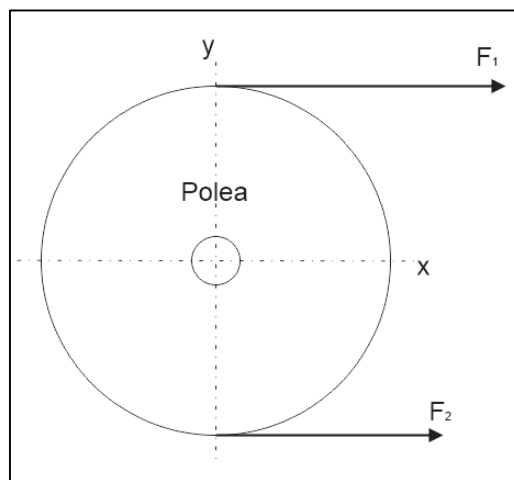
El torque y la fuerza generada por el corte se halló anteriormente, siendo los valores 19 N.m y 115,14 N por cuchilla, respectivamente. Al realizarse tres cortes a la vez, el torque total será de 57 N.m

Cada cuchilla y separador tiene una masa aproximada de 26,8 kg y 2,47 kg, respectivamente. Lo que resulta pesos de 262,9 N y 24,23 N.

Las fuerzas presentes en la transmisión de la polea conducida se representan en el siguiente gráfico:

**Figura 20**

*Fuerzas de transmisión en la polea conducida*



Como se observa la polea tiene fuerzas en cada lado de la banda. Usualmente la razón entre el lado tenso ( $F_1$ ) y el lado flojo ( $F_2$ ) es 5. La fuerza resultante asociada con el torque impulsor es  $F_n = F_1 - F_2$ , mientras que la que flexiona al eje es  $R_x = F_1 + F_2$ . Al combinar estas tres relaciones se obtiene  $R_x = 1,5 F_n$ .

La fuerza  $F_n$  se halla con el torque aplicado a la polea y su diámetro. Se tiene entonces:

$$F_n = \frac{2 \cdot T}{d} = \frac{2(57 \text{ N} \cdot \text{m})}{0,31496 \text{ m}} = 361,95 \text{ N}$$

Reemplazando para hallar  $R_x$ :

$$F_s = 1,5 F_n = 1,5 \times 361,95 = 542,925 \text{ N}$$



La masa de la polea es de aproximadamente 10 kg. Siendo el peso 98,1 N.

Para hallar las reacciones en los apoyos; aplicamos las ecuaciones de estática en los planos x-z e y-z.

Reacciones en el eje x:

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x - 3F_c + B_x + R_x = 0$$

$$A_x + B_x = 3(115,14) + 542,925$$

$$A_x + B_x = -197,505 \text{ N} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum M_z = 0$$

$$A_x(5) - F_c(17,5 + 37,5 + 57,5) + B_x(80) + R_x(90) = 0$$

$$5A_x + 80B_x = -35910 \text{ Nm} \dots\dots\dots (2)$$

Al sustituir (1) en (2), se obtiene las resultantes:

$$A_x = 268,128 \text{ N}$$

$$B_x = -465,633 \text{ N}$$

Reacciones en el eje y:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - 6W_c - 7W_s - W_p + B_y = 0$$

$$A_y + B_y = 1845,11 \text{ N} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum M_z = 0$$

$$\begin{aligned}
A_x(5) - W_s(12,5 + 22,5 + 32,5 + 42,5 + 52,5 + 62,5 + 72,5) \\
- W_c(17,5 + 27,5 + 37,5 + 47,5 + 57,5 + 67,5) + B_y(80) \\
- W_p(90) = 0
\end{aligned}$$

$$5A_y + 80B_y = 83076,925 \text{ Nm} \dots\dots\dots (4)$$

Al sustituir (3) en (4), se obtiene las resultantes:

$$A_y = 860,425 \text{ N} \qquad B_y = 984,685 \text{ N}$$

A continuación, se muestra una tabla resumen de todas las variables involucradas en el eje:

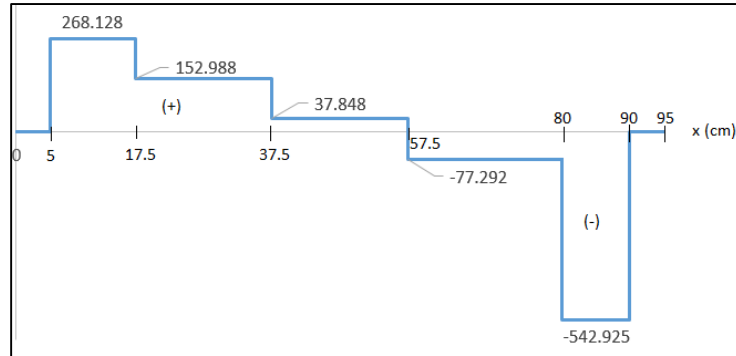
**Tabla 14**  
*Resumen de fuerzas en el eje*

Fuerzas	
Ax	268,128 N
Ay	860,425 N
Ws	24,23 N
Wc	262,9 N
Fc	115,14 N
Bx	-465,633 N
By	984,685 N
Wp	98,1 N
Rp	542,925 N
Torques	
Mc	19 N.m
Mt	57 N.m

El siguiente paso para la dimensionar el diámetro del eje, es hallar el máximo momento flector y torsor para utilizar la fórmula ASME para el cálculo de ejes. Para esto, se realizó los diagramas de fuerza cortante y momento flector en los planos xz e yz.

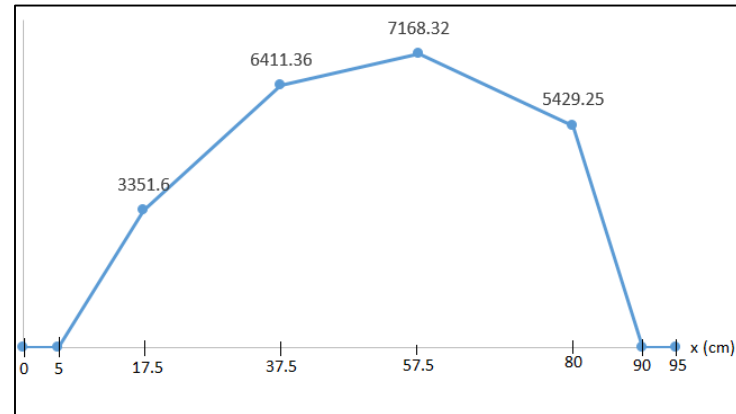
**Figura 21**

*Diagrama de fuerza cortante (N) en el plano x-z del eje*



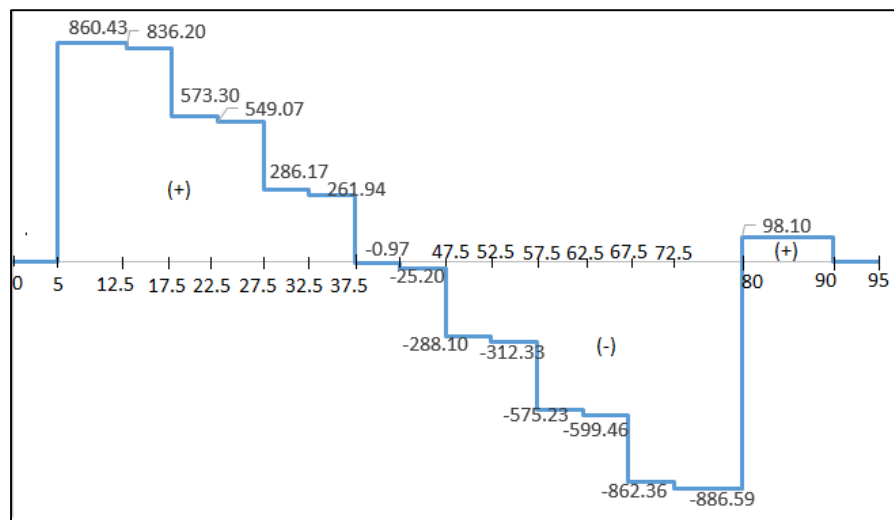
**Figura 22**

*Diagrama de momento flector (N.m) en el plano x-z del eje*



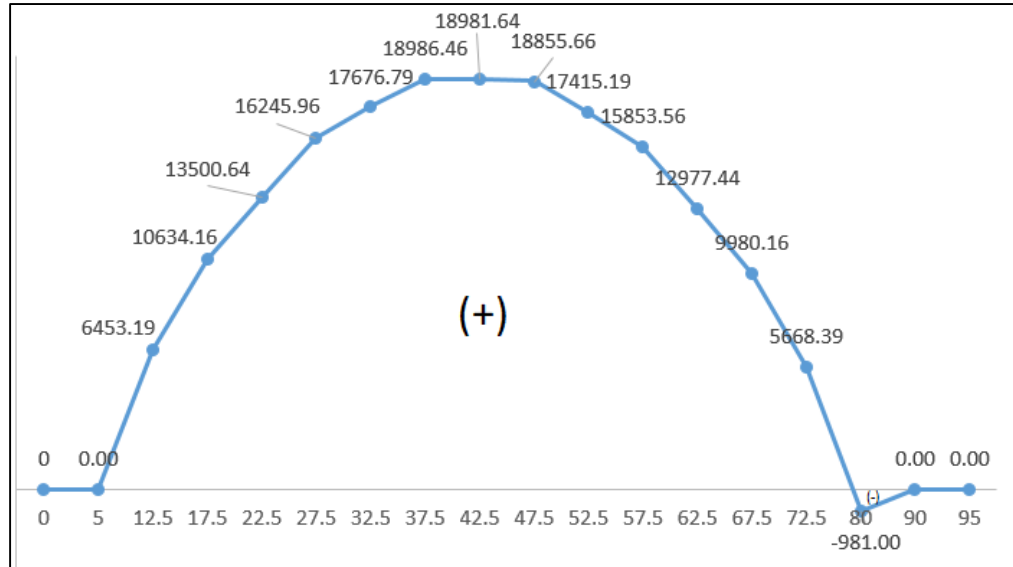
**Figura 23**

*Diagrama de fuerza cortante (N) en el plano y-z del eje*



**Figura 24**

*Diagrama de momento flector (N.m) en el plano y-z del eje*



Al evaluar en las zonas donde se encuentran los máximos momentos en ambos planos, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 15**

*Momentos resultantes en el eje*

Posición x (cm)	Momento en x-z (N.m)	Momento en y-z (N.m)	Momento resultante (N.m)
17,5	3351,6	10 634,16	11 148,82
37,5	6411,36	18 986,46	20 039,74
42,5	6600,60	18 981,64	20 096,53
47,5	6789,84	18 855,66	20 040,90
57,5	7168,32	15 853,56	17 398,86
80	5429,25	-981	5517,17

Identificado el mayor momento flector resultante (20 096,53 Nm), se utiliza la fórmula ASME:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_{sd}(1 - K^4)} \sqrt{\left[ K_m M + \frac{\alpha F d_o (1 + K^2)}{8} \right]^2 + (K_t T)^2}$$

Donde:

$S_{sd}$ : Esfuerzo permisible a corte

K: Relación diámetro interno/externo  
 $\alpha$ : Factor de carga axial  
 $K_m$ : Factor de carga de momento flector  
 $K_t$ : Factor de carga de torsión  
 M: Momento flector  
 T: Momento torsor  
 $d_i$ : Diámetro interior  
 $d_o$ : Diámetro exterior  
 F: Carga axial

Para este caso, no se considerará un eje hueco por lo que el diámetro interior será cero. Tampoco se tienen cargas axiales según el análisis estático previamente expuesto. El momento flector y torsor ya son conocidos. Los factores de carga se encuentran en el anexo 9 (se toma 1,5 para ambos). En cuanto al material del eje, se ha propuesto Acero AISI 1045 estirado en frío; el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 310 MPa y esfuerzo último de 565MPa. El esfuerzo permisible a corte se toma como el 30% del esfuerzo a la fluencia o el 18% del esfuerzo último, el que sea menor.

$$S_{sd} = 0,3 (310) = 93 \text{ MPa} \quad (\text{escogido})$$

$$S_{sd} = 0,18 (565) = 101,7 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores:

$$d^3 = \frac{16}{\pi(93 \times 10^6 \text{ Pa})} \sqrt{[1,5 \times 20\,096,53 \text{ Nm}]^2 + (1,5 \times 57 \text{ Nm})^2}$$

$$d = 11,81 \text{ cm}$$

Resumiendo, se tiene un eje de 12 cm de diámetro y 95 cm de largo.  
 Material Acero AISI 1045 estirado en frío.

### **Selección de rodamientos**

Como primer paso, se halla la carga radial en los rodamientos (punto A y B del eje) según las reacciones halladas:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = 901,235 \text{ N}$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = 1089,228 \text{ N}$$

Se fija una duración de 20000 horas con velocidad de rotación de 2314,94RPM.

Duración en millones de revoluciones (L)

$$L = \frac{60NL_n}{10^6} = \frac{60.2315.20000}{10^6} = 2778$$

Seguridad de carga requerida

$$\frac{C}{P} = L^{1/\rho} = 2778^{1/3} = 14,06$$

Donde: C es la capacidad de carga, P la carga equivalente sobre el rodamiento, L la duración nominal y  $\rho$  es 3 para rodamientos de bolas.

Carga equivalente sobre el rodamiento (P)

$$P = X.F_r + Y.F_a$$

Donde: X e Y, son los factores radiales y axiales según el anexo 10. Mientras que  $F_r$  y  $F_a$ , son las cargas radiales y axiales calculadas previamente.

La relación  $F_a/F_r$  es cero al no existir fuerza axial, por lo que  $X=1$  e  $Y=0$ . Entonces se tendrá:

Para el punto A:

Para el punto B:

$$P = 901,235 \text{ N}$$

$$P = 1089,228 \text{ N}$$

Reemplazando para hallar la capacidad de carga requerida (C):

$$C = 14,06xP$$

Para el punto A:

$$C = 12,67 \text{ kN}$$

Para el punto B:

$$C = 15,31 \text{ kN}$$

Según el anexo 11, se escogen dos rodamientos rígidos de bolas N°61824.

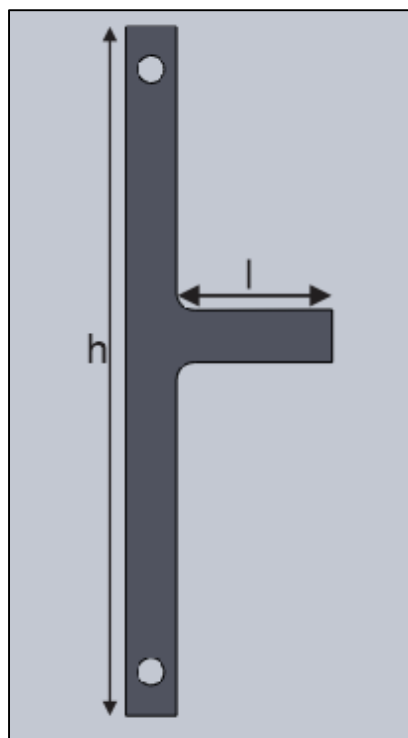
### **Cuchillas fijas**

Las cuchillas fijas serán 7 e irán ubicadas al inicio, final y entre cuchillas giratorias en la cámara de molienda. El material será el mismo que el de las giratorias. El espesor será igualmente de 5 cm. Las dimensiones básicas son mostradas en la siguiente figura.

La altura “h” queda definida por la altura de la cámara de molienda, siendo 40 cm. El largo “l” será 9 cm, lo que permite una luz de 3 mm con el eje giratorio, reduciendo así la fuga de material. El ancho será continuo en toda la pieza y será de 3 cm. Para fijarse entre sí, con los espaciadores y la cámara; se utilizarán espárragos de 5/8” de diámetro.

**Figura 25**

*Cuchilla fija*



## Cálculo de la tolva de la alimentación

La tolva se diseñará de acuerdo a la capacidad que se desea triturar. En este caso es de 400 kg/h, con este dato se parte para el diseño de dicha tolva.

Cálculo del volumen de la tolva

El flujo de masa de material es:

$$m := 400 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Se requiere que la tolva se alimente cada 15 minutos, por lo tanto, tenemos un nuevo flujo de masa.

$$t := 15 \text{ min}$$

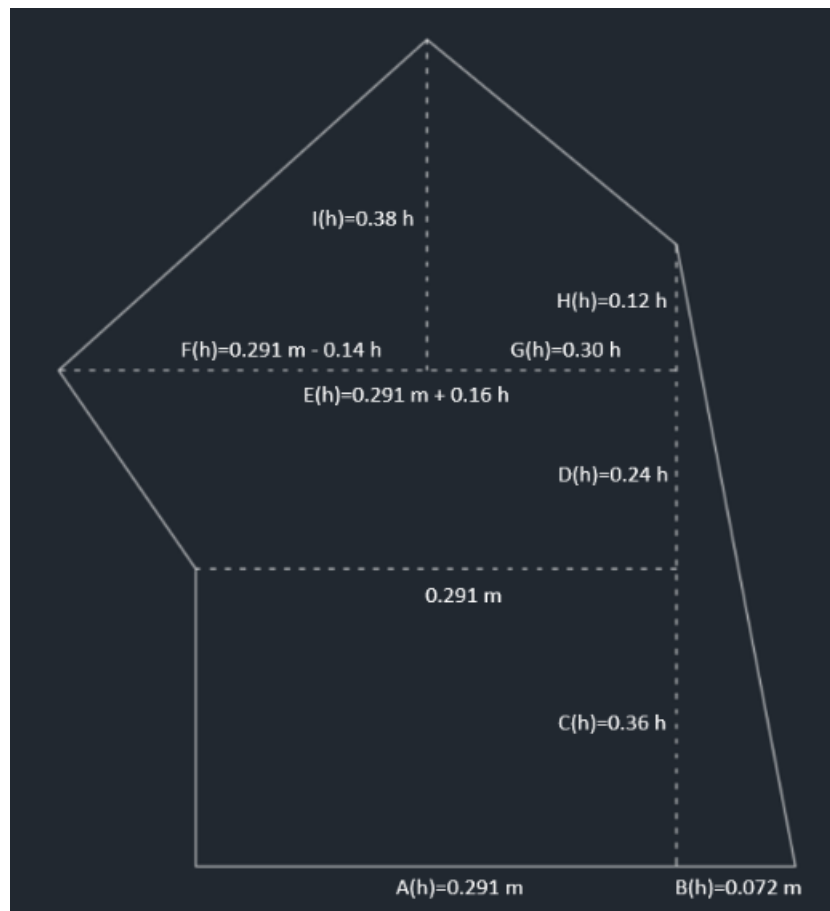
$$m_{tolva} := m \cdot t = 100 \text{ kg}$$

Entonces, el volumen de la tolva será:

$$\rho_{PET} := 1.39 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3}$$

$$V_{tolva} := 1.25 \cdot \frac{m_{tolva}}{\rho_{PET}} = 0.09 \text{ m}^3$$

Calculando la configuración geométrica de la tolva:





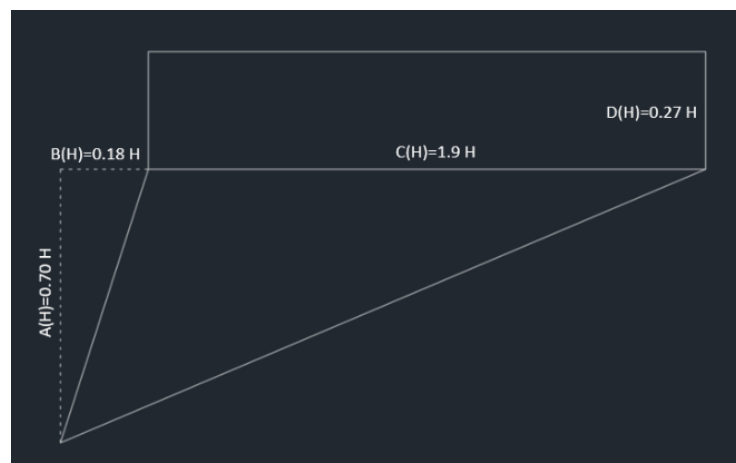
Valores de prueba	$A(h) := 0.291 \text{ m}$	$h := 0 \text{ m}$
	$B(h) := 0.072 \text{ m}$	$G(h) := 0.30 \cdot h$
	$C(h) := 0.36 \cdot h$	$H(h) := 0.12 \cdot h$
	$D(h) := 0.24 \cdot h$	$I(h) := 0.38 \cdot h$
	$E(h) := 0.291 \text{ m} + 0.16 \cdot h$	$J(h) := 0.64 \text{ m}$
Restricciones	$F(h) := 0.291 \text{ m} - 0.14 \cdot h$	
	$V_{tolva}(h) := J(h) \cdot \left( A(h) \cdot C(h) + \frac{B(h)}{2} \cdot (C(h) + D(h) + H(h)) + \frac{D(h)}{2} \cdot (A(h) + E(h)) + \frac{G(h)}{2} \cdot (H(h) + I(h)) + \frac{F(h)}{2} \cdot I(h) \right)$	
Solver	$V_{tolva}(h) = 0.09 \text{ m}^3$	
	$h := \text{Ceil}(\text{find}(h), 0.001 \text{ m}) = 0.488 \text{ m}$	
	$A(h) = 0.291 \text{ m}$	$B(h) = 0.072 \text{ m}$
	$C(h) = 0.176 \text{ m}$	$D(h) = 0.117 \text{ m}$
	$E(h) = 0.369 \text{ m}$	$F(h) = 0.223 \text{ m}$
	$G(h) = 0.146 \text{ m}$	$H(h) = 0.059 \text{ m}$
	$I(h) = 0.185 \text{ m}$	

## Tolva de salida

La tolva de salida solo es un conducto que permitirá almacenar el PET triturado, donde el volumen del PET triturado se reduce a la sexta parte, por lo tanto, se tiene lo siguiente:

**Figura 26**

*Configuración geométrica para la tolva de salida*



## Cálculo de la tolva de salida

Cálculo del volumen de la tolva

$$V_{tolva.salida} := \frac{V_{tolva}}{2} = 0.045 \text{ m}^3$$

Valores de prueba	$A(H) := 0.70 \cdot H$	$H := 0 \text{ m}$
	$B(H) := 0.18 \cdot H$	
	$C(H) := 1.9 \cdot H$	
	$D(H) := 0.27 \cdot H$	
	$E(h) := 0.31 \text{ m}$	
Restricciones	$V_{tolva}(H) := E(H) \cdot \left( C(H) \cdot D(H) + \frac{A(H)}{2} \cdot (B(H) + C(H)) - \frac{A(H)}{2} \cdot B(H) \right)$	
	$V_{tolva}(H) = 0.045 \text{ m}^3$	
Solver	$H := \text{Ceil}(\text{find}(H), 0.001 \text{ m}) = 0.352 \text{ m}$	
	$A(H) = 0.246 \text{ m}$	$B(H) = 0.063 \text{ m}$
	$C(H) = 0.669 \text{ m}$	$D(H) = 0.095 \text{ m}$
	$E(H) = 0.31 \text{ m}$	

## Costo de fabricación

Para poder determinar el costo de fabricar la máquina trituradora de PET de 400 kg/h, se detalla la lista de precios de fabricar cada pieza para luego sumar todo y encontrar el costo total de fabricación.

El costo por materiales, equipos e insumos se muestra en la Tabla 16.

El costo por concepto de ensamblaje y pruebas se detalla en la Tabla 17.

**Tabla 16***Costo de materiales, equipos e insumos para trituradora de PET de 400 kg/h*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Motor W22 IE2 20 HP 4P 160M 3F 220/440 V 60 Hz IC411 – TEFC – B3L(D)	1	S/. 5,899.00	S/. 5,899.00
Carcasa de plancha de fierro galvanizado de 0.40 mm de espesor	1	S/. 899.00	S/. 899.00
Eje de 950 mm de largo por 120 mm de diámetro Acero AISI 1045 estirado en frío	1	S/. 1,385.00	S/. 1,385.00
Cuchilla rotativa de 150 mm de diámetro por 50 mm de espesor Acero AISI D2	6	S/. 199.00	S/. 1,194.00
Cuchilla fija de 400 mm de altura por 50 mm de espesor Acero AISI D2	7	S/. 119.00	S/. 833.00
Polea conducida de 12.4" de hierro fundido	1	S/. 1,974.78	S/. 1,974.78
Polea motriz de 8" de hierro fundido	1	S/. 1,067.45	S/. 1,067.45
Faja B71 con longitud de paso de 72.8"	3	S/. 22.35	S/. 67.05
Separador de cuchilla rotativa de 120 mm de diámetro por 50 mm de ancho	6	S/. 9.00	S/. 54.00
Separador de cuchilla fija tipo espárrago de 5/8" de diámetro	6	S/. 9.00	S/. 54.00
Rodamiento rígido de bolas SKF N°61824	2	S/. 279.00	S/. 558.00
Tapa lateral de fierro galvanizado de 10 mm de espesor	1	S/. 303.45	S/. 303.45
Tolva de alimentación de plancha de fierro galvanizado de 10 mm de espesor	1	S/. 690.00	S/. 690.00
Tolva de salida de plancha de fierro galvanizado de 10 mm de espesor	1	S/. 650.00	S/. 650.00
<b>COSTO DE MATERIAL TOTAL</b>			<b>S/. 15,628.73</b>

**Tabla 17***Costo de ensamblaje y pruebas*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Costo de ensamblaje y pruebas	1	S/. 3,053.75	S/. 3,053.75

Entonces, el costo total incluyendo ambos conceptos de materiales, equipos e insumos más el costo de ensamblaje y pruebas, se muestra en la Tabla 18, el cual asciende a la suma de S/. 18,682.48.

**Tabla 18**

*Costo total de fabricación*

<b>Descripción</b>	<b>Precio total</b>
COSTO DE MATERIAL TOTAL	S/. 15,628.73
COSTO DE ENSAMBLAJE Y PRUEBAS	S/. 3,053.75
<b>COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN</b>	<b>S/. 18,682.48</b>

## 5.2. Discusión de resultados

De los resultados obtenidos se puede decir que:

Para el análisis del diseño de la máquina trituradora se obtuvo un eje de 12 cm de diámetro, considerando una capacidad de 400 kg/h. De acuerdo con Cajusol (2020) quien en su investigación, al realizar el cálculo del eje, esté arrojo un valor de 1 ¼ pulgadas, mucho menor al calculado en la investigación presente, esto es de esperarse debido a la capacidad de la máquina, ya que es mucho mayor a la de la investigación de Cajusol (2020), la cual era de 25 kg/h frente a los 400 kg/h de la investigación actual. Igualmente para la selección del material, el cual es Acero AISI 1045 para ambos casos, confirmando que el material escogido es el adecuado. El factor de seguridad considerado es mayor a 3, para un buen diseño. Del análisis económico, se pudo determinar que el valor por kg/h de capacidad es similar en ambas diseños.

El autor Monteza (2019) en su trabajo obtuvo un motor de 10 HP para el diseño de la máquina trituradora de una capacidad de 100 kg/h, un valor menor al calculado de 20 HP en el presente diseño, lo cual es de esperarse debido a que la capacidad es de 400 kg/h. De igual forma, el autor selecciono el material Acero AISI 1045 para el diseño del eje, con un diámetro de 76 mm, el cual es menor al calculado en el presente diseño, de 12 cm o 120 mm, lo cual es de esperarse ya que la capacidad del diseño de Monteza es de 100 kg/h. De igual manera para el análisis económico, el costo por kg/h en la capacidad del diseño de la máquina triturado es similar en ambos diseños.

En conclusión con Hidalgo (2020) en su proyecto, el autor tambien selecciono como material del eje de la máquina trituradora al Acero AISI 1045, demostrando que el material seleccionado en la presente investigación concuerda con la selección de dicho autor. De forma similar para el diseño del eje, el diámetro calculado en el diseño de Hidalgo es de 40 mm, menor al calculado en el diseño actual, ya que la capacidad es menor a 400 kg/h para la máquina trituradora.

## **CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

- La generación per cápita de residuos sólidos entre 2012 y 2014 fue de 0.45 kg/hab. día y 0.48 kg/hab. día, respectivamente. El porcentaje de PET en los años 2012 y 2014 fue de 1.44% y 2.65%, respectivamente. Considerando una regresión lineal, se obtuvo que para el año 2024 la generación per cápita ascendería a 0.63 kg/hab. día, con un porcentaje de residuos PET de 8.70%, con una población estimada de 300 069 habitantes, se obtiene una generación de residuos PET de 16 447.00 kg/día.
- Al realizar el análisis respectivo, considerando que la eficiencia de la máquina trituradora no baje del 70%, es que se seleccionará una capacidad de 400 kg/h, para poder obtener la mayor eficiencia posible, además de reducir gastos en adquirir demasiada maquinaria.
- Para el diseño de la máquina trituradora será necesario emplear un motor eléctrico de 20 HP, tres fajas B71, polea conductora de 8 pulgadas, polea conducida de 12.4 pulgadas y una distancia entre centros de 20.26 pulgadas. El eje debe tener 12 cm de diámetro y 95 cm de largo, fabricado en Acero AISI 1045 estirado en frío. Los rodamientos para el montaje del eje deben ser rígidos de bolas SKF N° 61824. Las cuchillas serán fijas, se usarán 7 unidades, con un espesor de 5 cm, 40 cm de altura, 9 cm de largo, permitiendo una luz de 3 mm con el eje giratorio, impidiendo fuga de material, el ancho será continuo en toda la pieza y debe ser de 3 cm.
- El modelado se realizó de acuerdo al dimensionamiento obtenido de los cálculos para los diferentes elementos de máquinas, considerando siempre darle un aumento adicional para aumentar su desempeño.
- El presupuesto total para la propuesta de diseño de la máquina trituradora asciende a S/. 18,682.48, incluyendo equipos, material y accesorios necesarios, además de la mano de obra para su ensamblaje.

## **6.2. Recomendaciones**

- La máquina trituradora no solo serviría para reciclar plástico PET, sino otros tipos de plástico que tengan propiedades y características similares. Esto aumentaría su beneficio y ayudaría a reducir aún más la contaminación debido a los residuos plásticos.
- La máquina trituradora servirá para reducir la contaminación de residuos sólidos, pudiendo no solo proponerse en la ciudad de Chiclayo, sino a nivel nacional, como propuesta en cada municipio y empresas que se dedican al reciclaje.
- Para que la máquina funcione adecuadamente, se debe llevar a cabo su operación y mantenimiento por personal calificado. Además, de brindar charlas referentes a su uso a todo el personal involucrado con el fin de que conozcan su funcionamiento y mantenimiento, esto permitiría reducción en contratiempos debido a alguna falla, ya que el personal estaría entrenado para brindar asistencia ante cualquier falla o desperfecto que pudiera ocasionarse.
- Para el modelado, se debe tener cuidado al momento del ensamble, dar un espacio de entre 0.2 a 0.3 mm para evitar fricción, lo cual evitará el desgaste prematuro de las piezas debido a una mal espaciamiento de los mismos.
- El presupuesto es realmente bajo, ya que se reduciría de forma considerable la contaminación, reutilizando el plástico PET reciclado de las botellas de plástico desechadas. Esto traería un beneficio realmente positivo para la ciudad de Chiclayo y en donde se pueda implementar el uso de dicha máquina trituradora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Dávila , F. (2014). *Diseño de Elementos de máquina I*. Grupo Universitario.
- Alva Dávila, F., & Alva Alva, I. (2018). *Diseño de elementos de máquinas II*. Grupo Universitario S.A.C.
- Baño Marti, E. (3 de abril de 2019). *Canales Sectoriales*. Recuperado el 6 de enero de 2022, de Plástico: Qué son las máquinas trituradoras de plásticos y para qué sirven: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/242683-Que-son-las-maquinas-trituradoras-de-plasticos-y-para-que-sirven.html>
- Bruna Tapia, R. A., & Suárez Coca, J. I. (2016). *Diseño de trituradora de botellas PET*. Repositorio de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- Cajusol Baldera, H. P. (2020). *Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora "Bravo" - Túcume, Lambayeque*. Repositorio de la Universidad Señor de Sipán.
- Caviedes Aguirre, J. D. (2020). *Diseño de una máquina trituradora para plástico PET*. Repositorio de la Fundación Universidad de América.
- Clevel Angulo, J. A. (2020). *Diseño de una trituradora de PET como herramienta de apoyo para las asignaturas de Ingeniería de UNICATÓLICA*. Repositorio de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium.
- Cruelles Ruíz, J. A. (2010). *La teoría de la medición del despilfarro*. Artef.
- Damián Eneque, O. D. (2016). Implementation Of A Machine For Generating Green Thread Decline Of Plastics Waste And Sustainable Development Of Beaches Pimentel District. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 3(1), 30-36.
- ENSINGER. (2014). *Machining Recommendations for Semi-Finished Engineering Plastics*. ENSINGER.



García Villalba, L. A., Ponce Corral, C., Martínez López , E. J., & León Ordaz, J. (2016). Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET. *Cultura Científica y Tecnológica - CULCyT*, 11(54), 63-71.

GESTER. (2022). *Gester*. Recuperado el 2 de enero de 2022, de Qué son las máquinas trituradoras de plásticos y para qué sirven: <https://gester.es/blog/que-son-las-maquinas-trituradoras-de-plasticos-y-para-que-sirven/>

Gestión Solidaria. (18 de junio de 2019). *¿Cómo Identificar Los Envases De Bebidas Que Puedo Reciclar?* Recuperado el 2 de enero de 2022, de Las botellas plásticas reciclables se identifican con un símbolo universal y números explicativos. Son siete, conózcalos y recicle. Se parte del cambio.: <https://gestionsolidaria.com/2019/06/18/como-identificar-los-envases-de-bebidas-que-puedo-reciclar/>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Lavender Law , K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sciende Advances*, 3, 1-5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Gonzales Vazquez , E., Martínez Suárez, J. L., Ferro Cabanzo, J., & Vega Contreras, A. (2013). Propuesta para el aprovechamiento del PET en la Universidad Tecnológica de Tehuacán. *Entorno Académico*, 10(11), 162-168.

Groover, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. John Wiley & Sons, Inc.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill.

Hibbeler, R. C. (2016). *Ingeniería Mecánica - Estática*. Pearson.

Hibbeler, R. C. (2017). *Mechanics of Materials*. Pearson.

Hidalgo Aguilera, L., Imbaquingo, J., & Mideros, D. (2017). Design and implementation of an automatically controlled plastic bottles cutting recycling

machine. *Enfoque UTE*, 8(5), 89-102.  
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n5.183>

Hidalgo Sánchez, D. A. (2020). *Diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador*. Repositorio de la Universidad Internacional SEK.

INEI. (2020). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2018 - 2020 (Boletín Especial N°26)*. INEI.

LIBERA - Unidos contra la Basuralidad. (2018). *Impacto del abandono del plástico en la naturaleza*. SEO BirdLife.

Luque Mendoza, E. Y. (2019). *Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET*. Repositorio de la Universidad Tecnológica del Perú.

Martínez Gaona, V. Y. (2017). *Estudio de la degradabilidad del PET (Polietileno Tereftalato) dosificado con un Biopolímero de la fibra de banano*. Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

Millones Hernández, J. L. (2014). *Diseño de un molino de cuchillas de 300 kg/h para la molienda de plásticos Sólidos HDPE*. Grupo DIMARSA SAC.-Puente Piedra. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.

Monteza Leiva, W. (2019). *Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas de 100 kg/h para optimizar su transporte y almacenamiento en la empresa recicladora planeta verde EIRL - Chiclayo*. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

Morán, S. (23 de junio de 2020). *Plan V*. Recuperado el 6 de enero de 2022, de Ecuador, ahogado en basura, está lejos de cumplir las metas de los ODS al 2030: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/ecuador-ahogado-basura-esta-lejos-cumplir-metas-ods-al-2030#:~:text=en%20alg%C3%BAn%20momento%3F-,Las%20naciones%20del%20mundo%20se%20propusieron%20hacia%20el%202030%20reducir,%2C%20reducci%C3%B3n%2C%20reciclado>

- Moyano Arevalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., & Tenicota García, A. G. (2020). Design and selection of blades for the tire crushing process and manufacturing cost analysis. *Conciencia Digital*, 3(1.1), 29-43. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i1.1.1130>
- Muñetón , G., Vanegas, J., Valencia, M., & Restrepo, J. (2017). Brechas entre hábito y actitud en el consumo de bebidas empaçadas en PET. *Revista producción más limpia*, 12(2), 118-130. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a10>
- Nadales Díaz, E. V. (2017). Fortalecimiento de la Cultura del Reciclaje y la Reutilización desde la Axiología Ambiental. *Revista Scientific*, 2, 133-153. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.0.0.8.133-153>
- Namuche Ramos, L. M., Fiestas Antón, J. Á., García Cruz, F. D., Jiménez Chuquihuanga, C., & Roque Martínez, I. (2019). *Diseño de una planta de fabricación de ladrillo a partir de plástico reciclado en el parque industrial Piura Futura*. Repositorio de la Universidad de Piura.
- Naranjo Vargas, E. M., Moyano Arévalo, J. R., & Santillán Mariño, C. J. (2021). Design and construction of a prototype of a PET plastic bottle recycling machine. *Conciencia Digital*, 4(1.2), 147-161. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1585>
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas Un enfoque integrado*. Prentice Hall.
- Ormaza Andrade, J. E., Neira Neira, M. L., Giler Escandón, L. V., & Quevedo Vázquez, J. O. (2020). Máquina Bio-Recicladora de plástico PET: Un emprendimiento viable. Caso Azogues - Ecuador. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 22(2), 395-409. <https://doi.org/10.36390/telos222.11>
- Porras Solorzano, J. P. (2018). *Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP*. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Prado, R., Angaspilco Saez, Jauregui Rojas, M., Rodríguez Hurtado, J., Sosa Macuyama, & Yepez Ventura. (2019). Implementation of a plastic shredding machine. *Pueblo Continente*, 30(1), 85-91. <https://doi.org/10.22497/PuebloCont.301.30109>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2019). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. *Geo 6: Planeta Sano, personas sanas*.
- Sandoval Merodio, C. G. (2013). *Diseño de los elementos de una trituradora de PET*. Repositorio del Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- SIGERSOL. (2012). *INFORME ANUAL 2012*. Ministerio del Ambiente.
- SIGERSOL. (2014). *Informe Anual 2014*. Ministerio del Ambiente.
- Twenergy. (2021). *Reciclaje*. Recuperado el 6 de enero de 2022, de Cómo reciclar PET: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/reciclaje/como-reciclar-pet-388/>

## ANEXOS

### ANEXO 1: FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSMISIÓN POR FAJAS EN “V”

FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSMISION POR FAJAS EN V

MAQUINAS MOVIDAS	CLASE 1	CLASE 2
Agitadores de líquidos: .....	1,1	1,2
Agitadores de semilíquidos .....	1,2	1,3
Batidoras en la industria papelera .....	1,3	1,5
Bombas centrífugas .....	1,1	1,2
Bombas reciprocantes.....	1,3	1,5
Bombas rotativas de desplazamiento positivo .....	1,2	1,3
Chancadoras de mandíbula de rodillos giratorios. ....	1,4	1,6
Compresoras centrífugas .....	1,1	1,2
Compresoras reciprocantes .....	1,3	1,5
Cribas giratorias.....	1,3	1,5
Elevadores de cangilones .....	1,3	1,5
Excitadores .....	1,3	1,5
Extractores .....	1,1	1,2
Generadores .....	1,2	1,3
Líneas de ejes (ejes de transmisión) .....	1,2	1,3
Maquinaria de imprenta .....	1,2	1,3
Maquinarias de lavandería .....	1,2	1,3
Maquinaria para aserraderos .....	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de ladrillos .....	1,3	1,5
Maquinaria para fabricación de cauchos:		
calandrias, mezcladoras, extrusores .....	1,4	1,6
Maquinaria textil .....	1,3	1,5
Máquinas herramientas .....	1,2	1,3
Mezcladoras de masa en la industria panificadoras .....	1,2	1,3
Molino de barras, de bolas, de tubos .....	1,4	1,6
Molinos de martillos .....	1,3	1,5
Prensas punzadoras.....	1,2	1,3
Pulverizadores .....	1,3	1,5
Sopladores .....	1,1	1,2
Sopladores de desplazamiento positivo .....	1,3	1,5
Transportadores de artesas, de paletas, de tornillo .....	1,3	1,5
Transportadores de fajas para arenas granos, etc .....	1,2	1,3
Transportadores para trabajos livianos .....	1,1	1,2
Ventiladores hasta 10 HP .....	1,1	1,2
Ventiladores mayores de 10 HP .....	1,2	1,3
Winches, montacargas, elevadores .....	1,4	1,6
Zarandas vibratorias .....	1,2	1,3

## ANEXO 2: SELECCIÓN DE LA SECCIÓN DE FAJA EN "V"

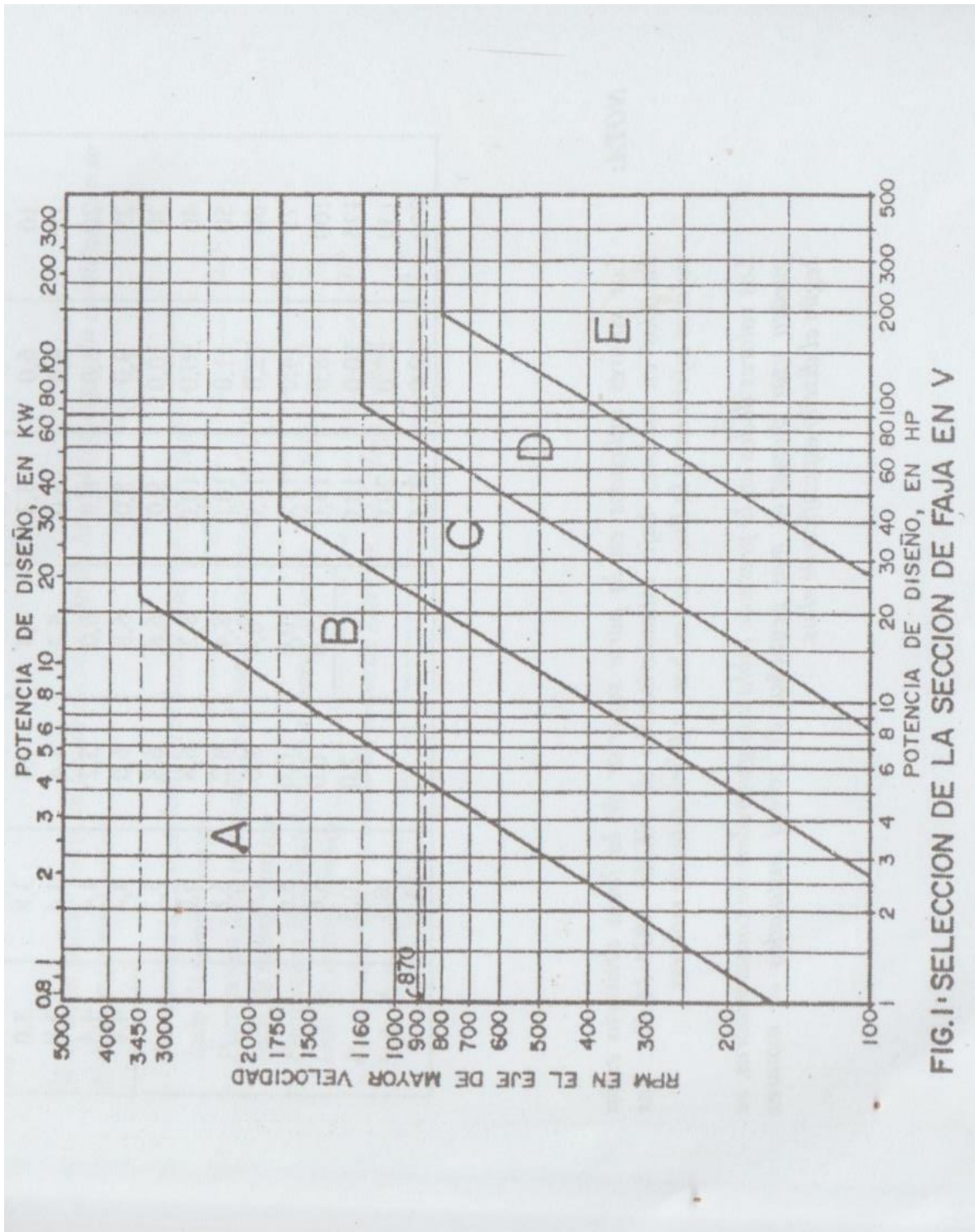


FIG.1-SELECCION DE LA SECCION DE FAJA EN V



### ANEXO 3: DIÁMETRO EXTERIOR MÍNIMO PARA POLEAS PARA FAJAS EN “V”

DIAMETRO EXTERIOR MINIMO RECOMENDADO DE POLEAS PARA FAJAS EN V A UTILIZAR EN MOTORES ELECTRICOS

HP MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
0,5	2,5	2,5	2,2			
0,75	3,0	2,5	2,4	2,2		
1	3,0	2,5	2,4	2,4	2,2	
1,5	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4	2,2
2	3,6	3,0	3,0	2,4	2,4	2,4
3	4,5	3,6	3,0	3,0	2,4	2,4
5	4,5	4,5	3,8	3,0	3,0	2,4
7,5	5,3	4,5	4,4	3,8	3,0	3,0
10	6,0	5,3	4,4	4,4	3,8	3,0
15	6,9	6,0	5,2	4,4	4,4	3,8
20	8,0	6,9	6,0	5,2	4,4	4,4
25	9,0	8,0	6,8	6,0	4,4	4,4
30	10,0	9,0	6,8	6,8	5,2	
40	10,0	10,0	8,2	6,8	6,0	
50	11,0	10,0	8,4	8,2	6,8	
60	12,0	11,0	10,4	8,0	7,4	
75	14,0	13,0	10,0	10,0	8,6	
100	18,0	15,0	12,0	10,0	8,6	
125	20,0	18,0		12,0	10,5	
150	22,0	20,0			10,5	
200	22,0	22,0			13,2	

**NOTA:** Los valores indicados en la parte superior de la línea divisoria están basados en motores bajo estandarización de NEMA MG1-14.43a. Los valores inferiores a la línea son en base a fabricantes de motores.

Los valores dados en la presente tabla son generalmente conservadores, se pueden usar diámetros más pequeños de poleas instalados en motores según el diseño específico de ellos.

## ANEXO 4: POLEAS ESTÁNDARES PARA FAJAS EN “V”

POLEAS ESTÁNDARES PARA FAJAS EN "V"								
(En Pulgs.)								
SECCION A		SECCION B		SECCION C		SECCION D		SEC.E
3,0	6,2	4,6	9,4	7,0	14,0	12,0	27,0	21,0
3,2	6,4	4,8	11,0	7,5	16,0	13,0	33,0	21,6
3,4	7,0	5,0	12,4	8,0	18,0	13,4	40,0	22,0
3,6	7,6	5,2	13,6	8,5	20,0	13,5	48,0	22,8
3,8	8,2	5,4	15,4	9,0	24,0	14,0	58,0	23,2
4,0	9,0	5,6	18,4	9,4	30,0	14,2		24,0
4,2	10,6	5,8	20,0	9,5	36,0	14,5		27,0
4,4	12,0	6,0	25,0	9,6	44,0	14,6		31,0
4,6	15,0	6,2	30,0	9,8	50,0	15,0		35,0
4,8	18,0	6,4	38,0	10,0		15,4		40,0
5,0	19,6	6,6		10,2		15,5		46,0
5,2	24,6	6,8		10,5		16,0		52,0
5,4	29,6	7,0		10,6		18,0		58,0
5,6	37,6	7,4		11,0		18,4		66,0
5,8		8,0		12,0		20,0		74,0
6,0		8,6		13,0		22,0		84,0



## ANEXO 5: LONGITUD DE FAJA Y FACTOR POR LONGITUD DE FAJA

LONGITUD DE FAJA Y FACTOR POR LONGITUD DE FAJA								
SECCION A			SECCION B			SECCION C		
FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>	FAJA Nº	LONG. PASO PULG.	K <sub>L</sub>
A26	27,3	0,81	B35	36,8	0,81	C51	53,9	0,80
A31	32,3	0,84	B38	39,8	0,83	C60	62,7	0,82
A33	34,3	0,85	B42	43,8	0,85	C68	70,9	0,85
A35	36,3	0,87	B46	47,8	0,87	C75	77,9	0,87
A36	37,3	0,87	B51	52,8	0,89	C81	83,9	0,89
A38	39,3	0,88	B53	54,8	0,89	C85	87,9	0,90
A40	41,3	0,89	B55	56,8	0,90	C90	92,9	0,91
A42	43,3	0,90	B58	59,8	0,91	C96	98,9	0,92
A43	44,3	0,90	B60	61,8	0,92	C100	102,9	0,92
A46	47,3	0,92	B62	63,8	0,92	C105	107,9	0,94
A48	49,3	0,93	B64	65,8	0,93	C112	114,9	0,95
A51	52,3	0,94	B66	67,8	0,93	C120	122,9	0,97
A53	54,3	0,95	B68	69,8	0,95	C124	126,9	0,97
A55	56,3	0,96	B71	72,8	0,95	C128	130,9	0,98
A58	59,3	0,97	B75	76,8	0,97	C136	138,9	0,99
A60	61,3	0,98	B78	79,8	0,97	C144	146,9	1,00
A62	63,3	0,98	B81	82,8	0,98	C158	160,9	1,02
A64	65,3	0,99	B83	84,8	0,98	C162	164,9	1,03
A66	67,3	0,99	B85	86,8	0,99	C173	175,9	1,04
A68	69,3	1,00	B90	91,8	1,00	C180	182,9	1,05
A71	72,3	1,01	B93	94,8	1,01	C195	197,9	1,07
A75	76,3	1,02	B97	98,8	1,02	C210	212,9	1,08
A78	79,3	1,03	B103	104,8	1,03	C225	225,9	1,10
A80	81,3	1,04	B105	106,8	1,04	C240	240,9	1,11
A85	86,3	1,05	B112	113,8	1,05	C255	255,9	1,12
A90	91,3	1,06	B120	121,8	1,07	C270	270,9	1,14
A96	97,3	1,08	B128	129,8	1,08	C300	300,9	1,16
A105	106,3	1,10	B136	137,8	1,09	C330	330,9	1,19
A112	113,3	1,11	B144	145,8	1,11	C360	360,9	1,21
A120	121,3	1,13	B158	159,8	1,13	C390	390,9	1,23
A128	129,3	1,14	B173	174,8	1,15	C420	420,9	1,24
			B180	181,8	1,16			
			B195	196,8	1,18			
			B210	211,8	1,19			
			B240	240,8	1,22			
			B270	270,3	1,25			
			B300	300,3	1,27			

## ANEXO 6: FACTOR POR ÁNGULO DE CONTACTO

FACTOR POR ANGULO DE CONTACTO					
$\frac{D-d}{C}$	$\theta$	$K_{\theta}$	$\frac{D-d}{C}$	$\theta$	$K_{\theta}$
0,00	180°	1,00	0,80	133	0,87
0,10	174	0,99	0,90	127	0,85
0,20	169	0,97	1,00	120	0,82
0,30	163	0,96	1,10	113	0,80
0,40	157	0,94 <sup>*</sup>	1,20	106	0,77
0,50	151	0,93	1,30	99	0,73
0,60	145	0,91	1,40	91	0,70
0,70	139	0,89	1,50	83	0,65

## ANEXO 7: POTENCIA ADICIONAL POR RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

POTENCIA ADICIONAL POR RELACION DE TRANSMISION					
RELACION DE TRANSMISION	SECCION DE FAJA				
	A	B	C	D	E
0,00 a 1,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,02 a 1,04	0,00180	0,00472	0,0131	0,0466	0,0890
1,05 a 1,08	0,00360	0,00944	0,0263	0,0931	0,1780
1,09 a 1,12	0,00539	0,01415	0,0394	0,1397	0,2670
1,13 a 1,18	0,00719	0,01887	0,0525	0,1863	0,3560
1,19 a 1,24	0,00899	0,02359	0,0656	0,2329	0,4450
1,25 a 1,34	0,01079	0,02831	0,0788	0,2794	0,5340
1,35 a 1,51	0,01259	0,03303	0,0919	0,3260	0,6230
1,52 a 1,99	0,01439	0,03774	0,1050	0,3726	0,7120
2,00 ó más	0,01618	0,04246	0,1182	0,4191	0,8010

NOTA: Los valores de la tabla multiplicarlo por: #RPM/100

## ANEXO 8: POTENCIA QUE PUEDEN TRANSMITIR LAS FAJAS SECCIÓN "B"

POTENCIA QUE PUEDEN TRANSMITIR LAS FAJAS SECCION "B"									
RPM DEL EJE RAPIDO	HP POR FAJA REFERIDO A LA POLEA DE DIAMETRO MENOR DE								
	4,6"	4,8"	5,0"	5,2"	5,4"	5,6"	5,8"	6,0"	6,2"
870	2,18	2,39	2,59	2,79	2,99	3,19	3,39	3,59	3,79
1160	2,70	2,96	3,22	3,48	3,74	3,99	4,25	4,50	4,75
1750	3,58	3,94	4,30	4,66	5,01	5,35	5,70	6,03	6,37
200	0,68	0,73	0,79	0,84	0,90	0,95	1,00	1,06	1,11
400	1,19	1,29	1,39	1,49	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
600	1,64	1,79	1,93	2,08	2,22	2,37	2,51	2,66	2,80
800	2,05	2,24	2,43	2,61	2,80	2,99	3,17	3,36	3,54
1000	2,42	2,65	2,88	3,11	3,34	3,56	3,79	4,01	4,23
1200	2,77	3,04	3,31	3,57	3,83	4,10	4,36	4,61	4,87
1400	3,09	3,39	3,70	4,00	4,29	4,59	4,88	5,17	5,46
1600	3,38	3,72	4,05	4,39	4,72	5,04	5,36	5,68	6,00
1800	3,64	4,01	4,38	4,74	5,10	5,45	5,80	6,15	6,48
2000	3,88	4,28	4,67	5,06	5,44	5,82	6,19	6,55	6,91
2200	4,08	4,51	4,93	5,34	5,74	6,14	6,53	6,91	7,28
2400	4,26	4,71	5,15	5,58	6,00	6,41	6,81	7,20	7,59
2600	4,41	4,87	5,33	5,77	6,21	6,63	7,04	7,44	7,82
2800	4,52	5,00	5,47	5,92	6,37	6,79	7,21	7,60	7,99
3000	4,60	5,09	5,57	6,03	6,47	6,90	7,31	7,70	8,08
3200	4,64	5,14	5,62	6,08	6,53	6,95	7,35	7,73	8,09
3400	4,65	5,15	5,63	6,09	6,52	6,93	7,32	7,68	8,02
3600	4,62	5,12	5,59	6,04	6,46	6,85	7,22	7,55	7,85
3800	4,55	5,04	5,50	5,93	6,33	6,70	7,04	7,34	7,60
4000	4,44	4,92	5,36	5,77	6,14	6,48	6,78	7,03	7,25
4200	4,28	4,74	5,16	5,54	5,88	6,18	6,43		
4400	4,08	4,52	4,91	5,25	5,55	5,80			
4600	3,83	4,24	4,59	4,90					
4800	3,53	3,90	4,22						
5000	3,19	3,51							

POTENCIA QUE PUEDEN TRANSMITIR LAS FAJAS SECCION "B"									
RPM DEL EJE RAPIDO	HP POR FAJA REFERIDO A LA POLEA DE DIAMETRO MENOR DE								
	6,4"	6,6"	6,8"	7,0"	7,4"	7,6"	8,0"	8,6"	9,4
870	3,98	4,18	4,37	4,57	4,95	5,14	5,52	6,08	6,81
1160	4,99	5,24	5,48	5,73	6,21	6,44	6,91	7,60	8,50
1750	6,70	7,02	7,34	7,66	8,28	8,58	9,16	10,0	11,1
200	1,16	1,22	1,27	1,32	1,43	1,48	1,58	1,74	1,94
400	2,10	2,19	2,29	2,39	2,59	2,68	2,88	3,17	3,55
600	2,94	3,08	3,22	3,36	3,64	3,78	4,06	4,47	5,02
800	3,72	3,91	4,09	4,27	4,62	4,80	5,15	5,68	6,36
1000	4,45	4,67	4,89	5,10	5,53	5,74	6,17	6,79	7,60
1200	5,13	5,38	5,63	5,88	6,37	6,61	7,09	7,80	8,71
1400	5,75	6,03	6,31	6,59	7,13	7,40	7,93	8,70	9,69
1600	6,31	6,62	6,92	7,23	7,82	8,11	8,67	9,49	10,5
1800	6,82	7,15	7,47	7,79	8,42	8,72	9,31	10,2	11,2
2000	7,27	7,61	7,95	8,28	8,93	9,24	9,85	10,7	11,7
2200	7,65	8,00	8,35	8,69	9,35	9,66	10,3	11,1	12,0
2400	7,96	8,32	8,67	9,01	9,66	9,97	10,5	11,3	12,2
2600	8,20	8,56	8,90	9,24	9,87	10,2	10,7	11,4	12,1
2800	8,36	8,71	9,05	9,36	9,95	10,2	10,7	11,3	
3000	8,43	8,77	9,09	9,39	9,92	10,2	10,6		
3200	8,43	8,74	9,03	9,29	9,75	9,94			
3400	8,32	8,61	8,86	9,08					
3600	8,13	8,37	8,57						
3800	7,83								

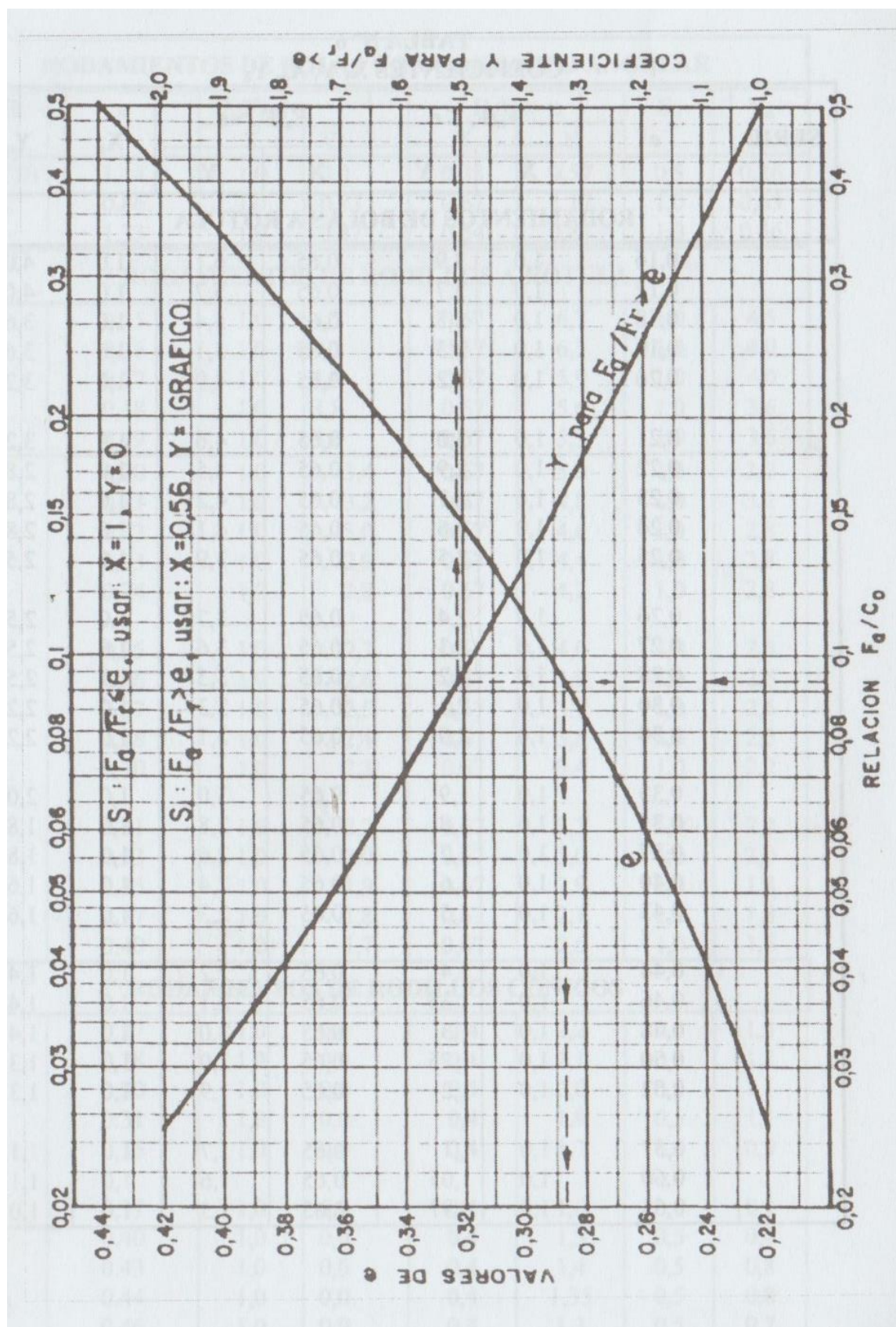


## ANEXO 9: FACTORES DE MOMENTO Y DE TORSIÓN PARA EL CÁLCULO DE EJES. FÓRMULA ASME

### MOMENTO Y DE TORSIÓN EN EL CALCULO POR RESISTENCIAS DE EJES. FORMULA DE LA ASME

TIPO DE CARGA	Km	Kt
<b>EJE DE ESTACIONARIO</b>		
- Carga aplicada gradualmente	1,0	1,0
- Carga aplicada súbitamente	1,5 - 2,0	1,5 - 2,0
<b>EJE GIRATORIO</b>		
- Carga aplicada gradualmente.....	1,5	1,0
- Carga constante.....	1,5	1,0
- Carga súbitamente aplicada con choques menores .....	1,5 - 2,0	1,0 - 1,5
- Carga súbitamente aplicada con choques fuertes .....	2,0 - 3,0	1,5 - 3,0

# ANEXO 10: COEFICIENTES "X" E "Y" PARA RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS





# ANEXO 11: CATÁLOGO DE RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS

## RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS

RODAM N°	d mm	D mm	B mm	d <sub>i</sub> mm	D <sub>i</sub> mm	R mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
SERIE 618										
618/4	4	9	2,5	5,4	7,5	0,3	0,355	0,156	45000	53000
5	5	11	3,0	6,8	9,2	0,3	0,444	0.216	40000	48000
6	6	13	3,5	7,9	11,1	0,3	0,630	0.315	38000	45000
7	7	14	3,5	8,9	12,2	0,3	0,695	0.355	38000	45000
8	8	16	4,0	10,1	13,9	0,4	0,930	0.510	36000	43000
9	9	17	4,0	11,1	14,9	0,4	1,02	0.560	34000	40000
61800	10	19	5,0	13	16	0,5	1,08	0.630	32000	38000
01	12	21	5,0	15	18	0,5	1,12	0.710	30000	36000
02	15	24	5,0	18	21	0,5	1,22	0.780	26000	32000
03	17	26	5,0	20,2	23	0,5	1,32	0.915	24000	30000
04	20	32	7,0	24	28	0,5	2,04	1.4	19000	24000
61805	25	37	7,0	29	33	0,5	2,28	1.70	17000	20000
06	30	42	7,0	33,8	38,2	0,5	2,28	1.80	15000	18000
07	35	47	7,0	38,8	43,2	0,5	2,36	2.00	13000	16000
08	40	52	7,0	43,8	48,2	0,5	2,45	2.20	11000	14000
09	45	58	7,0	48,7	54,3	0,5	4,65	3.80	9500	12000
61810	50	65	7,0	54,7	60,3	0,5	4,80	4.25	9000	11000
11	55	72	9,0	60,2	66,8	0,5	6,40	5.60	8500	10000
12	60	78	10	65,6	72,4	0,5	6,70	6.10	7500	9000
13	65	85	10	71,1	78,9	1,0	9,00	8.30	7000	8500
14	70	90	10	76,1	83,9	1,0	9,30	9.15	6700	800
61815	75	95	10	81,1	88,9	1,0	9,65	9.80	6300	7500
16	80	100	10	86,1	93,9	1,0	9,50	9.80	6000	7000
17	85	110	13	92,5	103	1,5	14,60	15.00	5300	6300
18	90	115	13	97,5	108	1,5	15,00	15.60	5300	6300
20	100	125	13	107	118	1,5	15,30	17.00	4800	5600
61822	110	140	16	119	131	1,5	21,60	23.60	4300	5000
24	120	150	16	129	141	1,5	22,40	25.00	3800	4500
26	130	165	18	140	156	2,0	29,00	32.50	3600	4300
28	140	175	18	151	164	2,0	30,50	35.50	3400	4000
30	150	190	20	163	178	2,0	37,50	43.00	3000	3600
61832	160	200	20	173	188	2,0	38,00	45.00	2800	3400
34	170	215	22	184	202	2,0	47,50	56.00	2600	3200
36	180	225	22	194	212	2,0	48,00	57.00	2400	3000
38	190	240	24	206	225	2,5	57,00	69.50	2200	2800
40	200	250	24	216	235	2,5	58,50	72.00	2200	2800
61844	220	270	24	236	255	2,5	60,00	78.00	1900	2400
48	240	300	28	259	282	3,0	83,00	106.0	1800	2200
52	260	320	28	279	302	3,0	85,00	114.0	1700	2000
56	280	350	33	302	329	3,0	106,0	140.0	1600	1900
60	300	380	28	326	356	3,5	132,0	173.0	1400	1700
61864	320	400	38	346	375	3,5	134,0	180.0	1300	1600
68	340	420	38	366	395	3,5	137,0	196.0	1200	1500
72	360	440	38	386	417	3,5	140,0	200.0	1100	1400
76	380	480	46	412	449	3,5	190,0	280.0	1000	1300



RODAM Nº	D mm	D mm	B mm	d <sub>1</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	r mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
61880	400	500	46	432	471	3.5	190.0	290.0	1000	1300
84	420	520	46	452	491	3.5	193.0	300.0	950	1200
88	440	540	46	472	510	3.5	196.0	315.0	900	1100
92	460	580	56	498	542	4.0	245.0	405.0	900	1100
96	480	600	56	518	564	4.0	250.0	425.0	850	1000
618/500	500	620	56	538	582	4.0	255.0	440.0	800	950
530	530	650	56	568	614	4.0	255.0	455.0	750	900
560	560	680	56	598	644	4.0	265.0	490.0	700	850
600	600	730	60	642	688	4.0	280.0	530.0	670	800
SERIE 619										
61936	180	250	33	202	228	3.0	88.00	95.00	2200	2800
38	190	260	33	212	238	3.0	90.00	100.0	2200	2800
40	200	280	38	226	254	3.5	114.0	125.0	2000	2600
44	220	300	38	246	274	3.5	118.0	132.0	1900	2400
48	240	320	38	266	294	3.5	122.0	146.0	1800	2200
61952	260	360	46	292	328	3.5	163.0	200.0	1600	1900
56	280	380	46	312	348	3.5	166.0	212.0	1500	1800
60	300	420	56	338	382	4.0	208.0	280.0	1300	1600
64	320	440	56	358	402	4.0	212.0	290.0	1200	1500
68	340	460	56	378	422	4.0	220.0	310.0	1100	1400
61872	360	480	56	398	442	4.0	224.0	325.0	1100	1400
76	380	520	65	425	475	5.0	260.0	400.0	1000	1300
80	400	540	65	445	495	5.0	265.0	415.0	950	1200
SERIE 160										
16002	15	32	8	19.2	26.8	0.5	4.00	2.24	22000	28000
03	17	35	8	22.2	29.8	0.5	4.65	2.80	19000	24000
04	20	42	8	26.5	34.5	0.5	5.40	3.40	18000	22000
05	25	47	8	32.9	40.9	0.5	5.85	4.00	14000	17000
06	30	55	8	37.7	47.3	0.5	8.65	5.85	12000	15000
16007	35	62	9	43.7	53.3	0.5	9.50	6.95	10000	13000
08	40	68	9	49.4	58.6	0.5	10.20	7.80	9500	12000
09	45	75	10	55	65	0.5	12.00	9.30	9000	11000
10	50	80	10	60	70	1.0	12.50	1.00	2500	10000
11	55	90	11	67	78	1.0	15.00	12.20	7500	9000
16012	60	95	11	72	83	1.0	15.30	13.20	6700	8000
13	65	100	11	76.5	88.5	1.0	16.30	14.60	6300	7500
14	70	110	13	83.3	96.7	1.0	21.60	19.00	6000	7000
15	75	115	13	88.3	102	1.0	22.00	20.00	5600	6700
16	80	125	14	95.3	110	1.0	25.50	23.60	5300	6300
16017	85	130	14	100	115	1.0	26.00	25.00	5000	6000
18	90	140	16	106	124	1.5	32.00	29.00	4800	5600
19	95	145	16	111	129	1.5	32.50	31.50	4500	5300
20	100	150	16	116	134	1.5	34.00	32.50	4300	5000
21	105	160	18	123	142	1.5	40.00	38.00	4000	4800



RODAM Nº	d mm	D mm	B mm	d <sub>1</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	r mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
16022	110	170	19	130	150	1.5	44.00	42.50	3800	4500
24	120	180	19	139	161	1.5	47.50	47.50	3400	4000
26	130	200	22	153	177	2.0	61.00	61.00	3200	3800
28	140	210	22	163	187	2.0	62.00	64.00	3000	3600
30	150	225	24	174	201	2.0	71.00	73.50	2600	3200
16032	160	240	25	185	215	2.5	76.50	80.00	2400	3000
34	170	260	28	200	230	2.5	91.50	96.50	2200	2800
36	180	280	31	213	247	3.0	106.0	112.0	2000	2600
38	190	290	31	223	257	3.0	114.0	125.0	2000	2600
40	200	310	34	236	274	3.0	129.0	143.0	1900	2400
16044	220	340	37	261	299	3.5	134.0	153.0	1800	2200
48	240	360	37	281	319	3.5	137.0	160.0	1700	2000
52	260	400	44	306	354	4.0	183.0	232.0	1500	1800
56	280	420	44	326	374	4.0	186.0	245.0	1400	1700
60	300	460	50	352	408	5.0	220.0	305.0	1200	1500
16064	320	480	50	372	428	5.0	216.0	305.0	1100	1400
68	340	520	57	398	462	5.0	265.0	390.0	1000	1300
72	360	540	57	418	482	5.0	270.0	405.0	1000	1300
SERIE 60										
607	7	19	6	10.7	15.3	0.5	1.32	0.71	34000	40000
8	8	22	7	11.8	17.6	0.5	2.50	1.34	32000	38000
9	9	24	7	14.2	19.8	0.5	2.85	1.53	30000	36000
6000	10	26	8	14.4	21.4	0.5	3.55	1.96	30000	36000
01	12	28	8	16.7	23.4	0.5	3.90	2.24	26000	32000
02	15	32	9	20.6	26.7	0.5	4.30	2.50	22000	28000
03	17	35	10	23.1	29.2	0.5	4.65	2.80	19000	24000
04	20	42	12	27.2	35.1	1.0	7.20	4.50	17000	20000
6005	25	47	12	32	10.3	1.0	8.65	5.60	15000	18000
06	30	55	13	38.2	47.1	1.5	10.20	6.80	12000	15000
07	35	62	14	43.7	53.6	1.5	12.20	8.50	10000	13000
08	40	68	15	49.2	59.1	1.5	12.90	9.30	9500	12000
09	45	75	16	54.7	65.6	1.5	16.30	12.20	9000	11000
6010	50	80	16	59.7	70.6	1.5	16.60	13.20	8500	1000
11	55	90	18	66.3	79.1	2.0	21.60	17.00	7500	9000
12	60	95	18	71.3	84.1	2.0	22.80	18.30	6700	8000
13	65	100	18	76.3	89.1	2.0	23.60	19.60	6300	7500
14	70	110	20	82.2	97.6	2.0	29.00	24.50	6000	7000
6015	75	115	20	87.8	103	2.0	30.50	26.00	5600	6700
16	80	125	22	94.4	112	2.0	36.50	31.50	5300	6300
17	85	130	22	94.4	117	2.0	38.00	33.50	5000	6000
18	90	140	24	105	125	2.5	45.00	39.00	4800	5600
19	95	145	24	110	130	2.5	46.50	41.50	4500	5300
6020	100	150	24	15	135	2.5	46.50	41.50	4300	5000
21	105	160	26	122	144	3.0	56.00	51.00	4000	4800
22	110	170	28	129	152	3.0	63.00	57.00	3800	4500



RODAM N°	d mm	D mm	B mm	d <sub>i</sub> mm	D <sub>i</sub> mm	r mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
6024	120	180	28	139	162	3.0	65.50	61.00	3400	4000
26	130	200	33	152	179	3.0	81.50	78.00	3200	3800
28	140	210	33	162	189	3.0	85.00	83.00	3000	3600
30	150	225	35	174	202	3.5	96.50	96.50	260	3200
32	160	245	38	185	216	3.5	110.0	112.0	2400	3000
6034	170	260	42	198	233	3.5	129.0	134.0	2200	2800
36	180	280	46	211	250	3.5	146.0	156.0	2000	2600
38	190	290	51	221	260	3.5	150.0	166.0	2000	2600
40	200	310	56	235	277	3.5	166.0	190.0	1900	2400
44	220	340	56	257	304	4.0	190.0	228.0	1800	2200
6048	240	360	56	277	324	4.0	196.0	245.0	1700	2000
52	260	400	65	304	357	5.0	224.0	290.0	1500	1800
56	280	420	65	324	376	5.0	232.0	315.0	1400	1700
60	300	460	74	350	410	5.0	275.0	390.0	1200	1500
64	320	480	74	370	431	5.0	285.0	415.0	1100	1400
6068	340	520	82	396	462	6.0	340.0	540.0	1000	1300
72	360	540	82	416	485	6.0	355.0	570.0	1000	1300
76	380	560	82	436	502	6.0	355.0	570.071	950	1200
80	400	600	90	462	536	6.0	400.0	0.0	900	1100
84	420	620	90	482	558	6.0	405.0	720.0	900	1100
SERIE 62										
623	3	10	4	5.2	7.5	0.3	0.375	0.176	40000	48000
4	4	13	5	6.7	10.3	0.4	.695	0.335	38000	45000
5	5	16	5	8.4	12	0.5	0.865	0.440	36000	43000
6	6	19	6	9.4	14.2	0.5	1.29	0.695	32000	38000
7	7	22	7	11.8	17.6	0.5	2.50	1.34	30000	36000
9	9	26	8	14.4	21.4	0.5	3.55	1.96	26000	32000
6200	10	30	9	16.7	23.2	1.0	3.90	2.24	24000	30000
01	12	32	10	18.2	25.9	1.0	5.30	3.10	22000	28000
02	15	35	11	21.5	29.2	1.0	6.00	3.55	19000	24000
03	17	40	12	24.2	32.9	1.0	7.35	4.50	170001	20000
04	20	47	14	28.5	38.7	1.5	9.80	6.20	5000	18000
6205	25	52	15	34.0	44.2	1.5	10.80	6.95	12000	15000
06	30	62	16	40.3	52.1	1.5	15.00	10.00	10000	13000
07	35	72	17	46.9	60.6	2.0	19.60	13.70	9000	11000
08	40	80	18	52.6	67.9	2.0	23.60	16.60	8500	10000
09	45	85	19	57.5	72.9	2.0	25.50	18.60	750	9000
6210	50	90	20	62.5	78.1	2.0	27.00	19.60	7000	8500
11	55	100	21	69.0	86.6	2.5	33.50	25.00	6300	7500
12	60	110	22	75.5	94.2	2.5	36.50	28.00	6000	7000
13	65	120	23	83.3	103	2.5	43.00	34.00	5300	6300
14	70	125	24	87.0	109	2.5	47.50	37.50	5000	6000
6215	75	130	25	92.0	114	2.5	51.00	40.50	4800	5600
16	80	140	26	101	123	3.0	54.00	45.00	4500	5300
17	85	150	28	106	131	3.0	64.00	53.00	4300	5000






RODAM Nº	d mm	D mm	B mm	d <sub>1</sub> mm	D <sub>1</sub> mm	r mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
6218	90	160	30	112	139	3.0	73.50	62.00	3800	4500
19	95	170	32	118	148	3.5	83.00	69.50	3600	4300
20	100	180	34	124	157	3.5	95.00	78.00	3400	4000
21	105	190	36	131	165	3.5	102.0	90.00	3200	3800
22	110	200	38	138	174	3.5	112.0	100.0	3000	3600
6224	120	215	40	150	185	3.5	112.0	100.0	2800	3400
26	130	230	40	162	199	4.0	120.0	112.0	2600	3200
28	140	250	42	177	214	4.0	127.0	122.0	2400	3000
30	150	270	45	192	229	4.0	134.0	137.0	2000	2600
32	160	290	48	206	244	4.0	143.0	146.0	1900	2400
6234	170	310	52	217	261	5.0	163.0	180.0	1900	2400
36	180	320	52	225	275	5.0	176.0	196.0	1800	2200
38	190	340	55	238	291	5.0	196.0	232.0	1700	2000
40	200	360	58	253	304	5.0	208.0	250.0	1700	2000
44	220	400	65	282	336	5.0	228.0	290.0	1500	1800
SERIE 63										
634	4	16	5	8.4	12	0.5	0.865	0.440	36000	43000
5	5	19	6	9.4	14.2	0.5	1.29	0.695	32000	38000
6300	10	35	11	17.7	26.8	1.0	6.20	3.75	20000	26000
01	12	37	12	19.5	29.7	1.5	7.50	4.65	19000	24000
02	15	42	13	23.7	33.9	1.5	8.80	5.40	17000	20000
03	17	47	14	26.5	37.6	1.5	10.40	6.55	16000	29000
04	20	52	15	30.0	42.1	2.0	12.20	7.80	13000	16000
6305	25	62	17	36.6	50.9	2.0	17.30	11.40	11000	14000
06	30	72	19	44.7	59.9	2.0	21.60	14.60	9000	11000
07	35	80	21	49.5	66.1	2.5	25.50	18.00	8500	10000
08	40	90	23	56.1	74.7	2.5	31.50	22.40	7500	9000
09	45	100	25	62.1	83.7	2.5	40.50	30.00	6700	8000
6310	50	110	27	68.7	92.1	3.0	47.50	36.00	6300	7500
11	55	120	29	75.3	101	3.0	55.00	41.50	5600	6700
12	60	130	31	81.8	109	3.5	63.00	48.00	5000	6000
13	65	140	33	88.3	118	3.5	71.00	56.00	4800	5600
14	70	150	35	94.9	126	3.5	80.00	63.00	4500	5300
6315	75	160	37	101	135	3.5	86.50	72.00	4300	5000
16	80	170	39	108	143	3.5	95.00	80.00	3800	4500
17	85	180	41	114	152	4.0	102.0	90.00	3600	4300
18	90	190	43	121	160	4.0	110.0	98.00	3400	4000
19	95	200	45	127	169	4.0	118.0	110.00	3200	3800
6320	100	215	47	135	181	4.0	134.0	132.0	3000	3600
21	105	225	49	142	189	4.0	140.0	143.0	2800	3400
22	110	240	50	150	201	4.0	156.0	166.0	2600	3200
24	120	260	55	166	216	4.0	160.0	166.0	2400	3000
26	130	280	58	180	233	5.0	176.0	193.0	2200	2800


RODAM Nº	d mm	D mm	B mm	d <sub>i</sub> mm	D <sub>i</sub> mm	r mm	CAPAC. kN		RPM máx.	
							C	C <sub>0</sub>	Grasa	Aceite
6328	140	300	62	193	250	5.0	196.0	224.0	2000	2600
30	150	320	65	208	265	5.0	212.0	250.0	1900	2400
32	160	340	68	217	282	5.0	212.0	250.0	1800	2200
38	190	400	78	258	332	6.0	285.0	380.0	1600	1900
SERIE 64										
6403	17	62	17	32.4	47.4	2.0	17.60	11.80	12000	15000
04	20	72	19	37.1	55.6	2.0	23.60	16.60	10000	13000
05	25	80	21	45.4	63.8	2.5	27.50	19.60	9000	11000
06	30	90	23	50.3	70.7	2.5	33.50	24.00	8500	10000
07	35	100	25	57.4	80.6	2.5	42.50	31.00	7000	8500
6408	40	110	27	62.8	88.0	3.0	49.00	36.50	6700	80000
09	45	120	29	68.9	96.9	3.0	58.50	45.50	6000	70000
10	50	130	31	75.4	106	3.5	67.00	52.00	5300	6300
11	55	140	33	81.5	115	3.5	76.50	63.00	5000	6000
12	60	150	35	88.1	123	3.5	83.00	69.50	4800	5600
6413	65	160	37	94.0	132	3.5	91.50	78.00	4500	5300
14	70	180	42	103	147	4.0	110.0	104.0	3800	4500
15	75	190	45	110	156	4.0	118.0	114.0	3600	4300
16	80	200	48	116	164	4.0	125.0	125.0	3400	4000
17	85	210	52	123	173	5.0	134.0	134.0	3200	3800
18	90	225	54	132	182	5.0	140.0	146.0	3000	3600



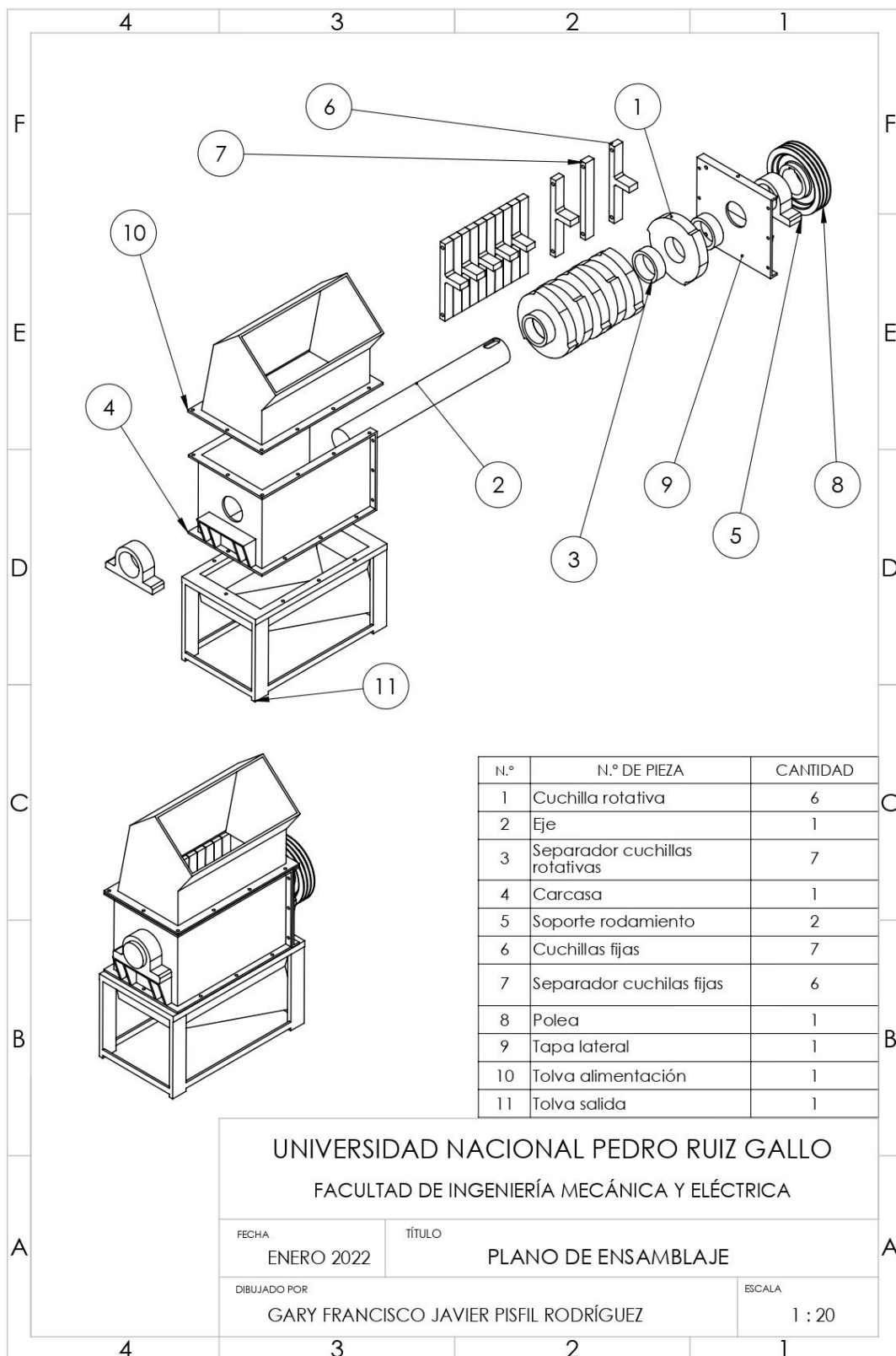
## ANEXO 12: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS – INFORME ANUAL 2012

			
<b>SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS</b>			
Informe Anual 2012			
Fecha de Impresión: 18-07-2018			
<b>A. INFORMACION GENERAL</b>			
Región: <b>Lambayeque</b> Provincia: <b>Chiclayo</b> Distrito: <b>Chiclayo</b>			
Dirección:			
Alcalde: <b>ROBERTO TORRES GONZALES</b>			
Responsable del Área de Limpieza Pública: <b>BIBIANO CARRASCO LLAJA</b>			
Teléfono: <b>(074)223620</b> Fax: <b>(074)237642</b>			
E-mail: <b>rtorres@munichiclayo.gob.pe</b>			
Población Urbana: <b>260794</b> Hab. Población Rural: <b>154</b> Hab.			
<b>A.1. PLAN DE MANEJO</b>			
El municipio cuenta con un Plan de Gestión de Residuos Sólidos aprobado mediante <b>Ordenanza Municipal</b> con número aprobado en el año <b>2012</b> .			
<b>A.2. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN</b>			
El municipio <b>SI</b> cuenta con Estudio de Caracterización aprobado el año <b>2011</b> .			
El número de muestra obtenida es de <b>102</b> viviendas.			
La generación per cápita de residuos sólidos municipales es de <b>0.45</b> kg./hab./día y la de residuos domiciliarios es de <b>0.45</b> kg./hab./día.			
La Densidad promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios compactados es de <b>178.97</b> Kg/m <sup>3</sup> y sin compactar es de <b>0.00</b> Kg/m <sup>3</sup> .			
El porcentaje de humedad de los residuos sólidos es de <b>79.10</b> %.			
La Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios es para:			
<b>Materia Orgánica</b>	<b>63.24</b>	<b>Metales</b>	<b>1.40</b>
<b>Madera, follaje</b>	<b>0.50</b>	<b>Telas, textiles</b>	<b>1.98</b>
<b>Papel</b>	<b>4.63</b>	<b>Caucho, cuero y jebe</b>	<b>0.00</b>
<b>Cartón</b>	<b>1.80</b>	<b>Pilas</b>	<b>0.03</b>
<b>Vidrio</b>	<b>2.10</b>	<b>Restos de medicinas, focos</b>	<b>0.12</b>
<b>Plástico PET</b>	<b>1.44</b>	<b>Residuos sanitarios</b>	<b>9.84</b>
<b>Plástico Duro</b>	<b>1.06</b>	<b>Material inerte</b>	<b>0.00</b>
<b>Bolsas</b>	<b>0.04</b>	<b>malezas</b>	<b>2.14</b>
<b>Tecnopor y similares</b>	<b>0.23</b>		
<b>A.3. PROGRAMA DE SEGREGACIÓN</b>			
El municipio <b>SI</b> participa en el Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios aprobado mediante <b>Decreto de Alcaldía</b> con número en el año .			
El municipio trabaja con viviendas, que corresponden a habitantes.			

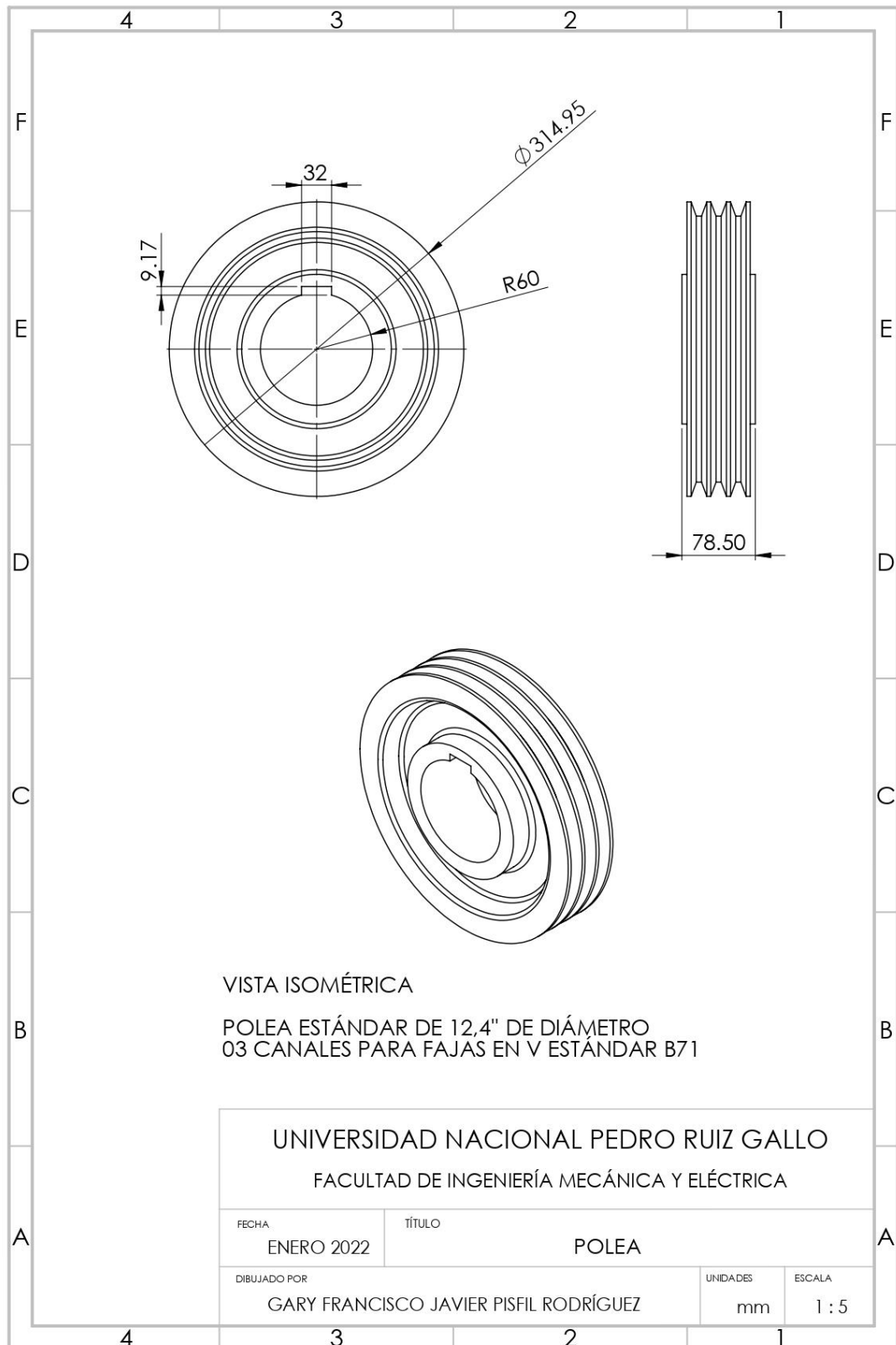
## ANEXO 13: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS – INFORME ANUAL 2014

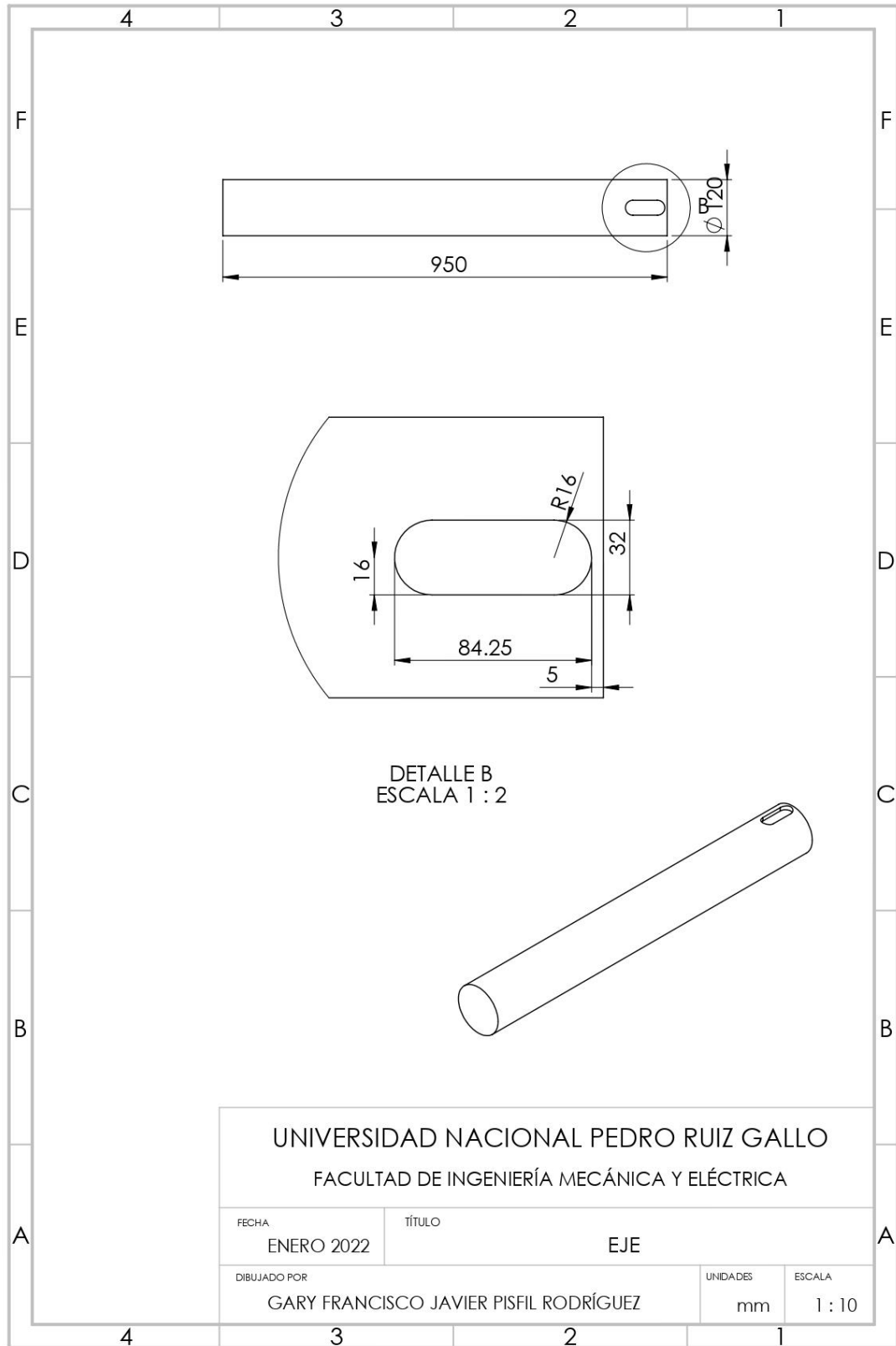
 <b>PERÚ</b>	<b>Ministerio del Ambiente</b>		
<b>SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS</b>			
<b>Informe Anual 2014</b>			
Fecha de Impresión: <b>18-07-2018</b>			
<b>A. INFORMACION GENERAL</b>			
Región: <b>Lambayeque</b> Provincia: <b>Chiclayo</b> Distrito: <b>Chiclayo</b>			
Dirección:			
Alcalde: <b>DAVID CORNEJO CHINGUEL</b>			
Responsable del Área de Limpieza Pública: <b>CARLOS BERNUY LARAONDO</b>			
Teléfono: <b>979000124</b> Fax: <b>074252741</b>			
E-mail: <b>wilmerdavidrch@hotmail.com</b>			
Población Urbana: <b>260794</b> Hab. Población Rural: <b>154</b> Hab.			
<b>A.1. PLAN DE MANEJO</b>			
El municipio cuenta con un Plan de Gestión de Residuos Sólidos aprobado mediante <b>Ordenanza Municipal</b> con número <b>016-2012 - MPCH/A</b> aprobado en el año <b>2012</b> .			
<b>A.2. ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN</b>			
El municipio <b>SI</b> cuenta con Estudio de Caracterización aprobado el año <b>2014</b> .			
El número de muestra obtenida es de <b>101</b> viviendas.			
La generación per cápita de residuos sólidos municipales es de <b>0.48</b> kg./hab./día y la de residuos domiciliarios es de <b>0.48</b> kg./hab./día.			
La Densidad promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios compactados es de <b>178.79</b> Kg/m <sup>3</sup> y sin compactar es de <b>0.00</b> Kg/m <sup>3</sup> .			
El porcentaje de humedad de los residuos sólidos es de <b>79.10</b> %.			
La Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios es para:			
<b>Materia Orgánica</b>	<b>57.02</b>	<b>Metales</b>	<b>1.11</b>
<b>Madera, follaje</b>	<b>2.43</b>	<b>Telas, textiles</b>	<b>0.94</b>
<b>Papel</b>	<b>10.30</b>	<b>Caucho, cuero y jebe</b>	<b>1.51</b>
<b>Cartón</b>	<b>3.80</b>	<b>Pilas</b>	<b>0.20</b>
<b>Vidrio</b>	<b>1.80</b>	<b>Restos de medicinas, focos</b>	<b>0.03</b>
<b>Plástico PET</b>	<b>2.65</b>	<b>Residuos sanitarios</b>	<b>0.20</b>
<b>Plástico Duro</b>	<b>5.60</b>	<b>Material inerte</b>	<b>3.41</b>
<b>Bolsas</b>	<b>1.80</b>		<b>0.00</b>
<b>Tecnopor y similares</b>	<b>2.70</b>		
<b>A.3. PROGRAMA DE SEGREGACIÓN</b>			
El municipio <b>SI</b> participa en el Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios aprobado mediante <b>Decreto de Alcaldía</b> con número en el año .			
El municipio trabaja con viviendas, que corresponden a habitantes.			

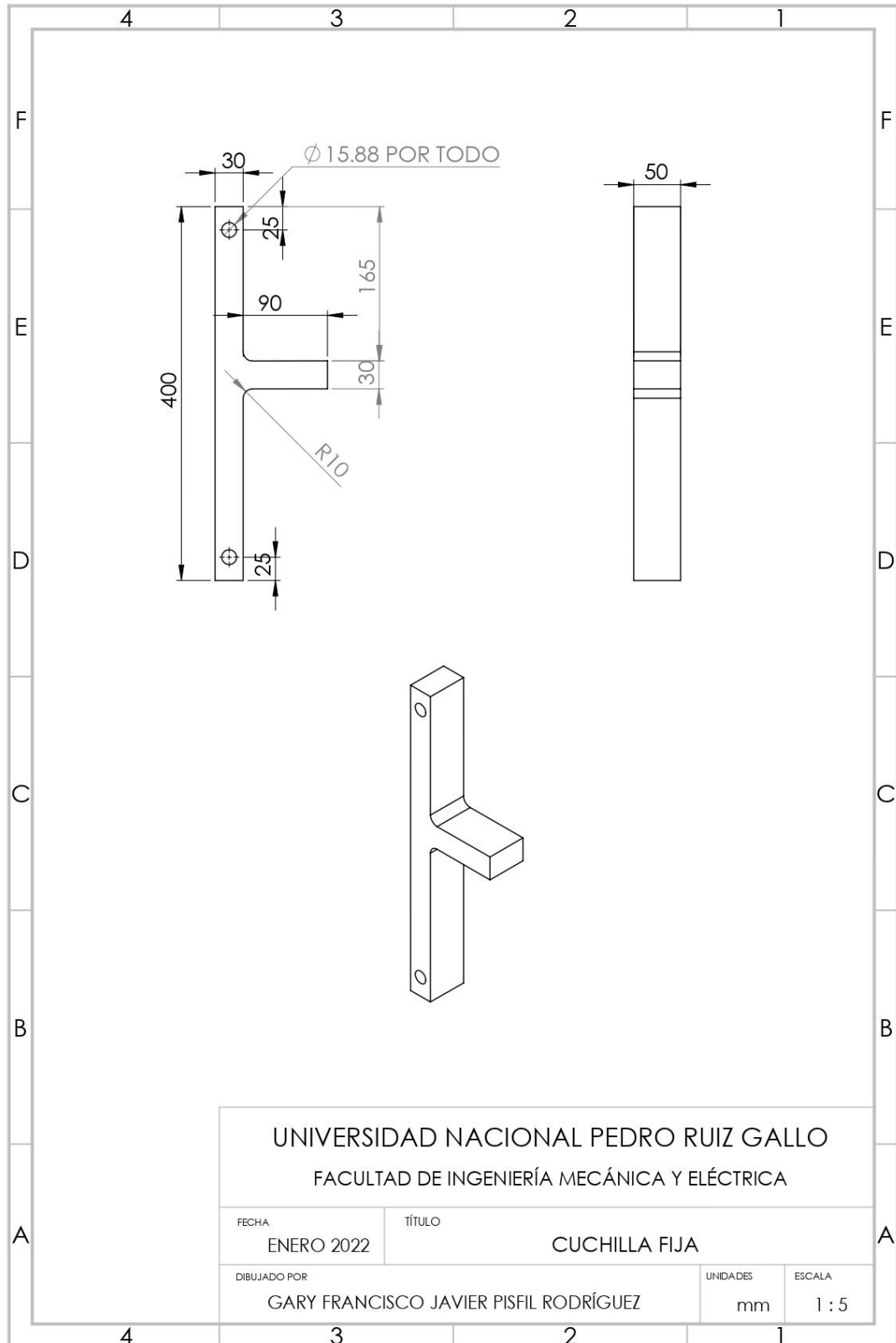
## **ANEXO 14: PLANOS DE MÁQUINA**

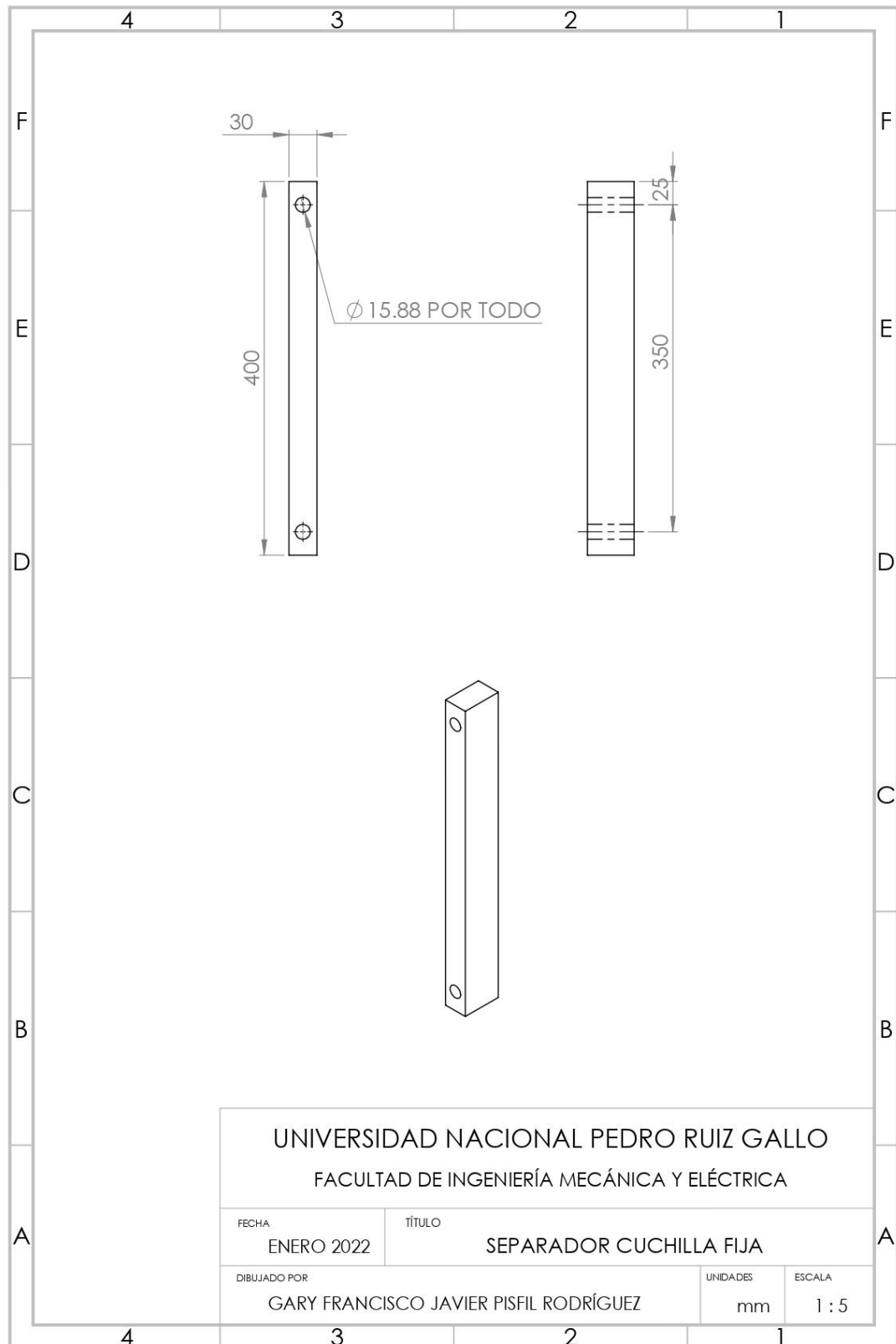


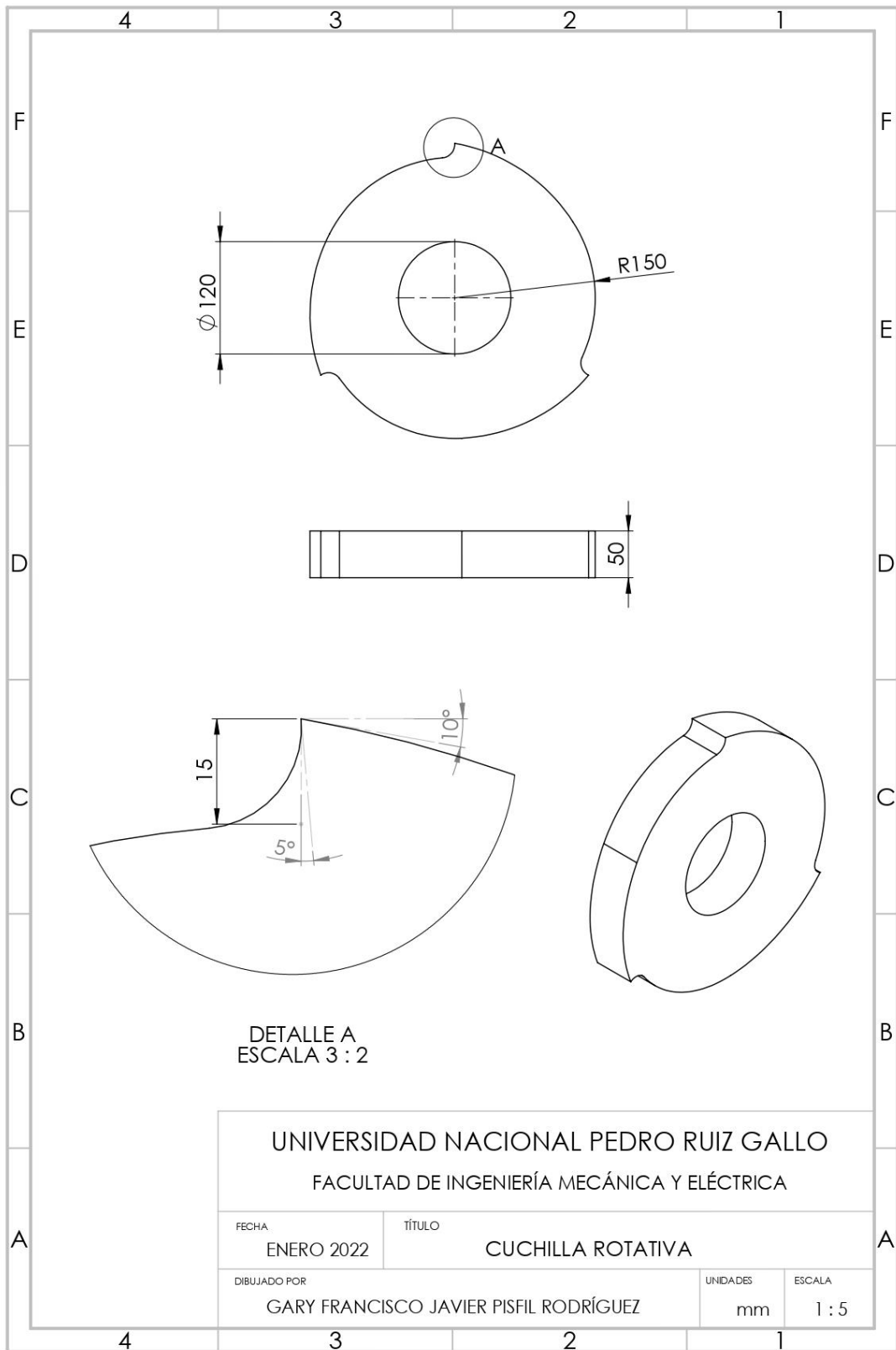


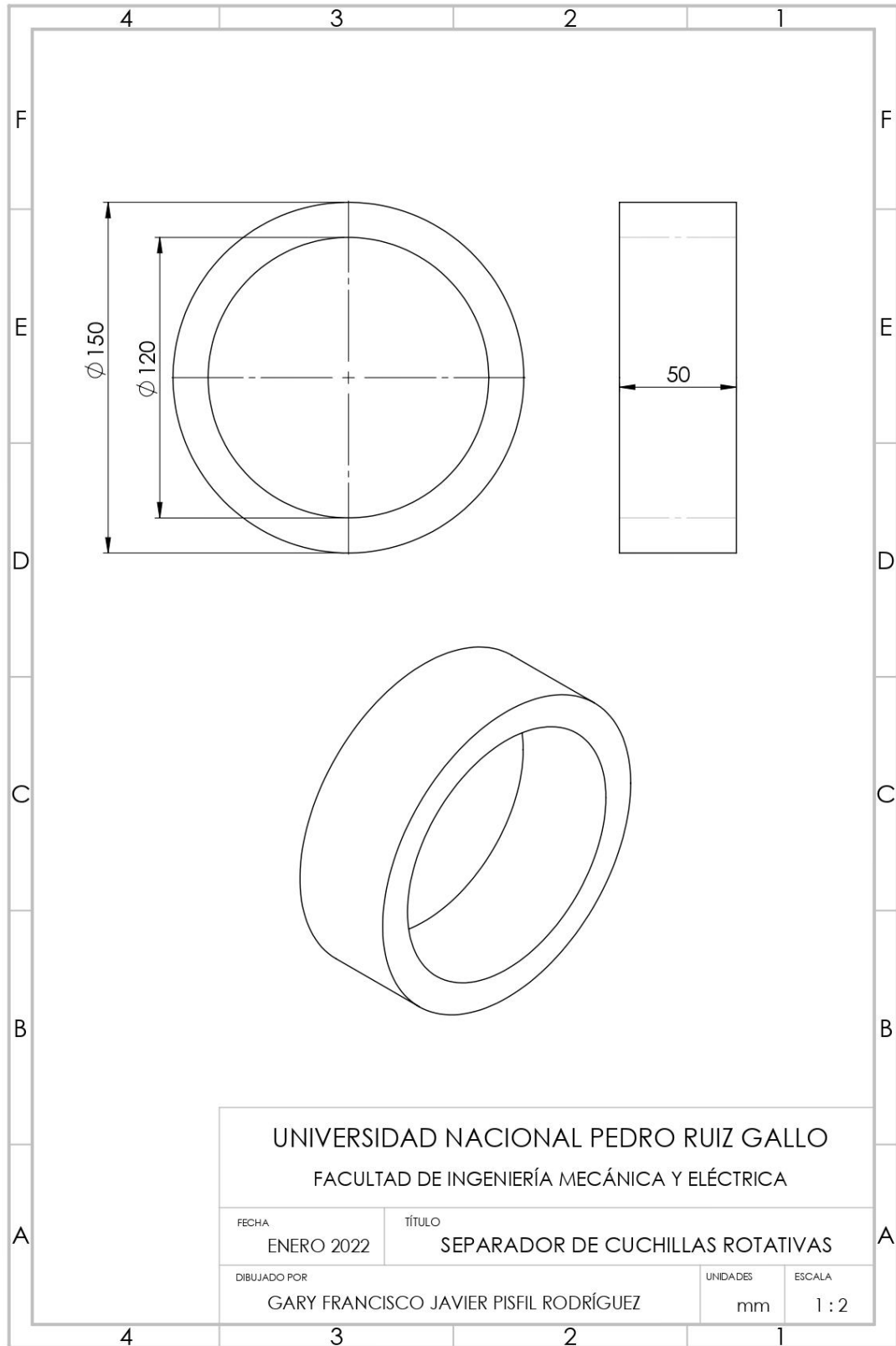












UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

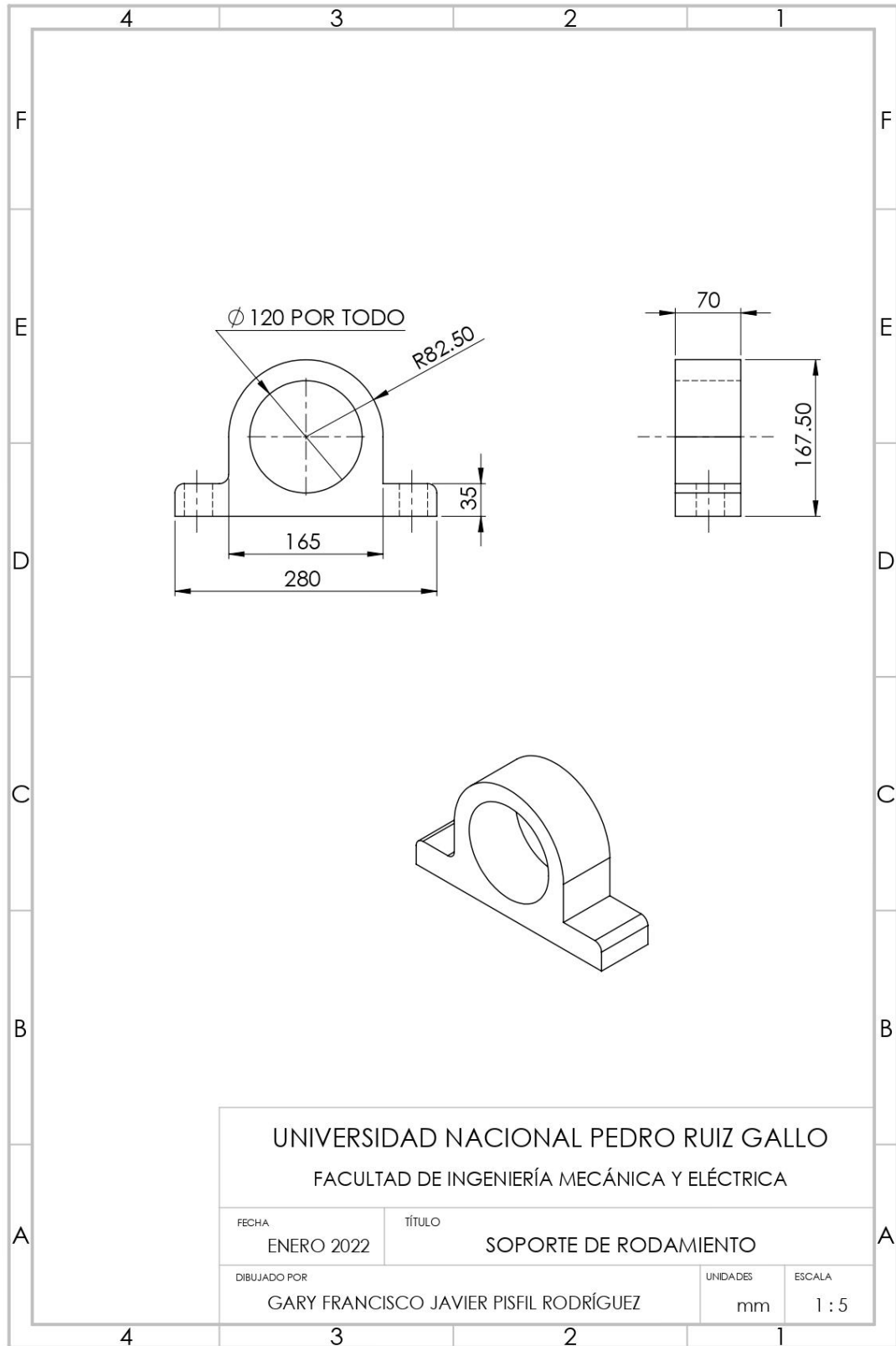
FECHA  
ENERO 2022

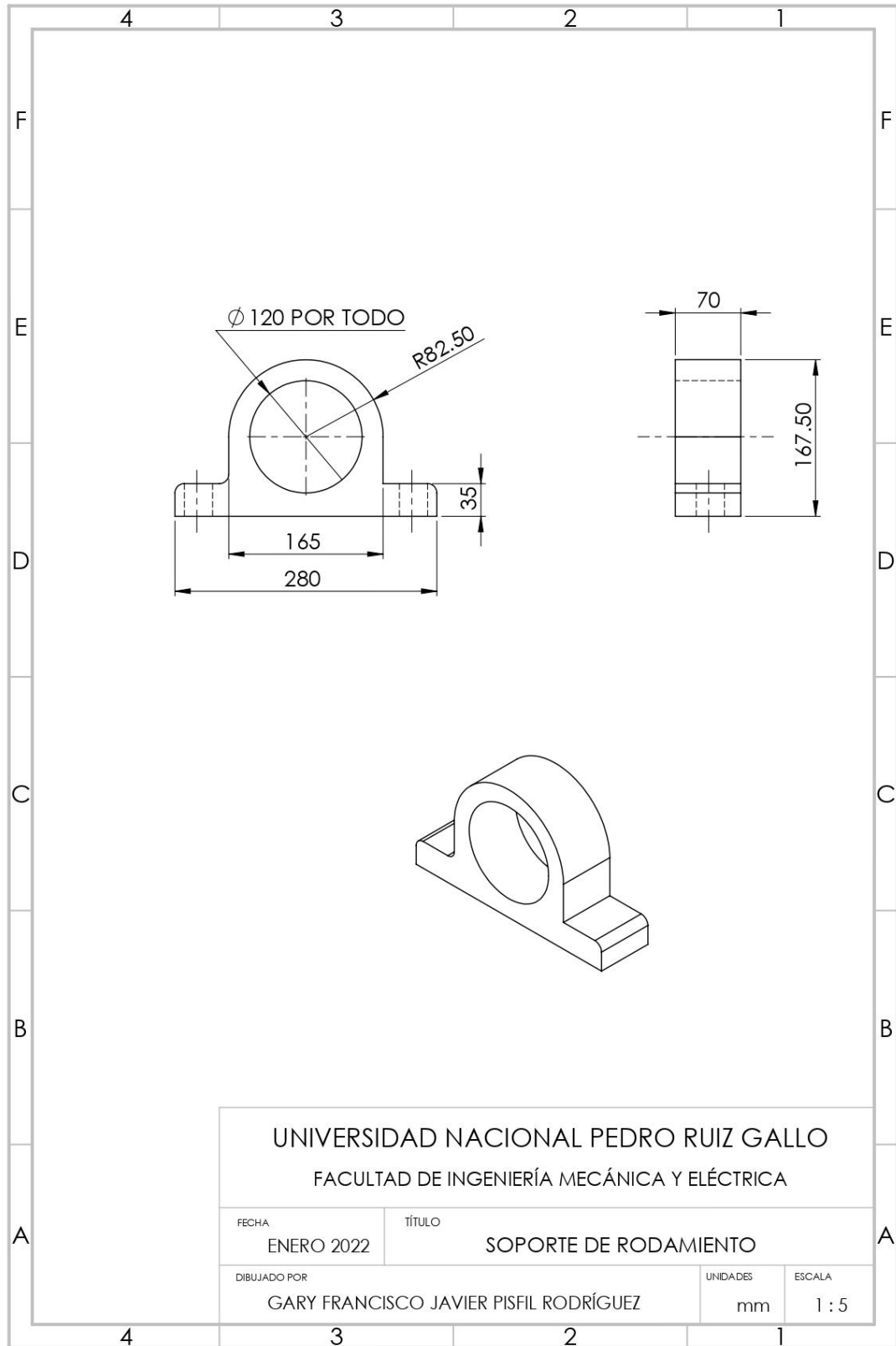
TÍTULO  
SEPARADOR DE CUCHILLAS ROTATIVAS

DIBUJADO POR  
GARY FRANCISCO JAVIER PISFIL RODRÍGUEZ

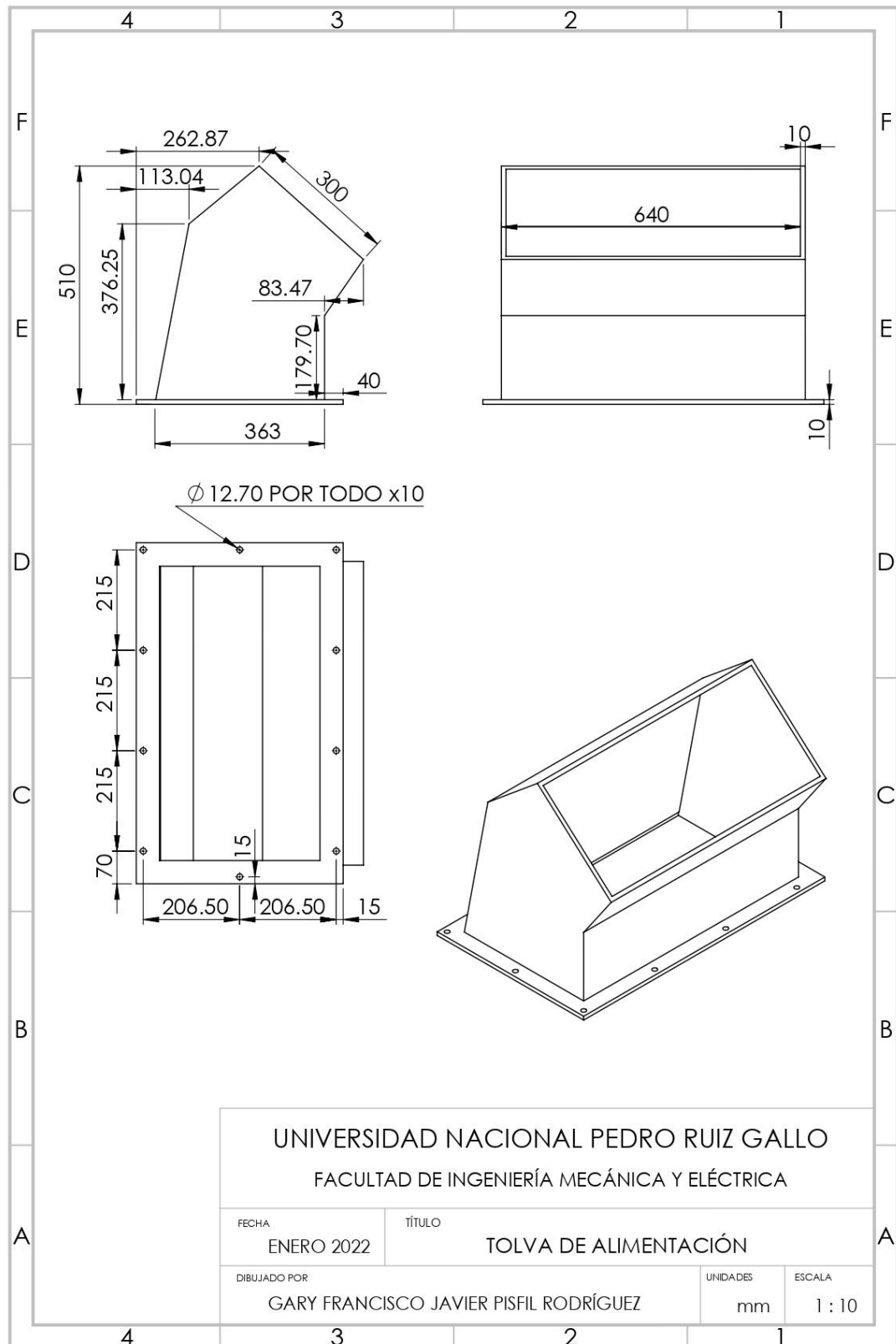
UNIDADES  
mm

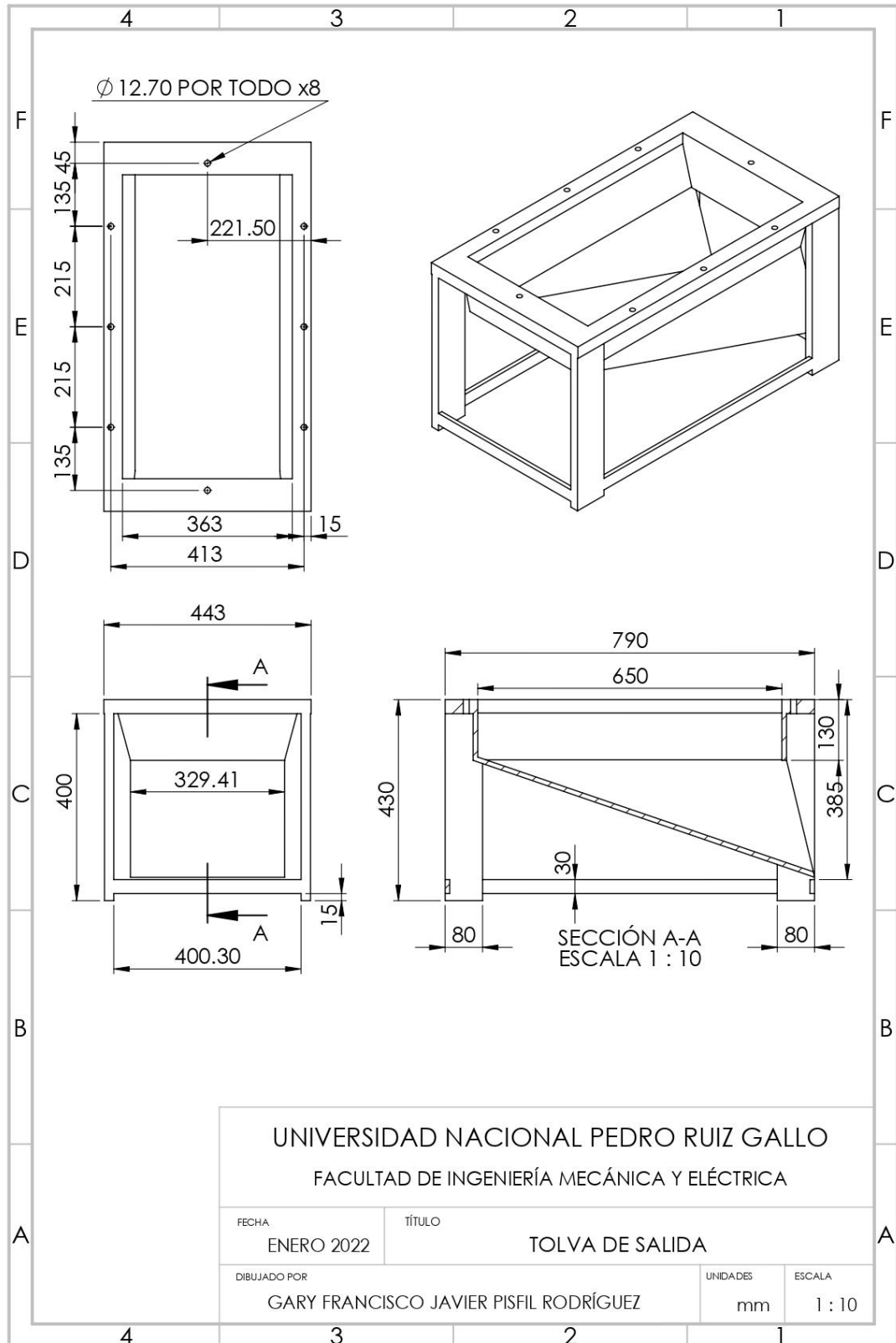
ESCALA  
1 : 2











UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

FECHA  
ENERO 2022

TÍTULO

TOLVA DE SALIDA

DIBUJADO POR

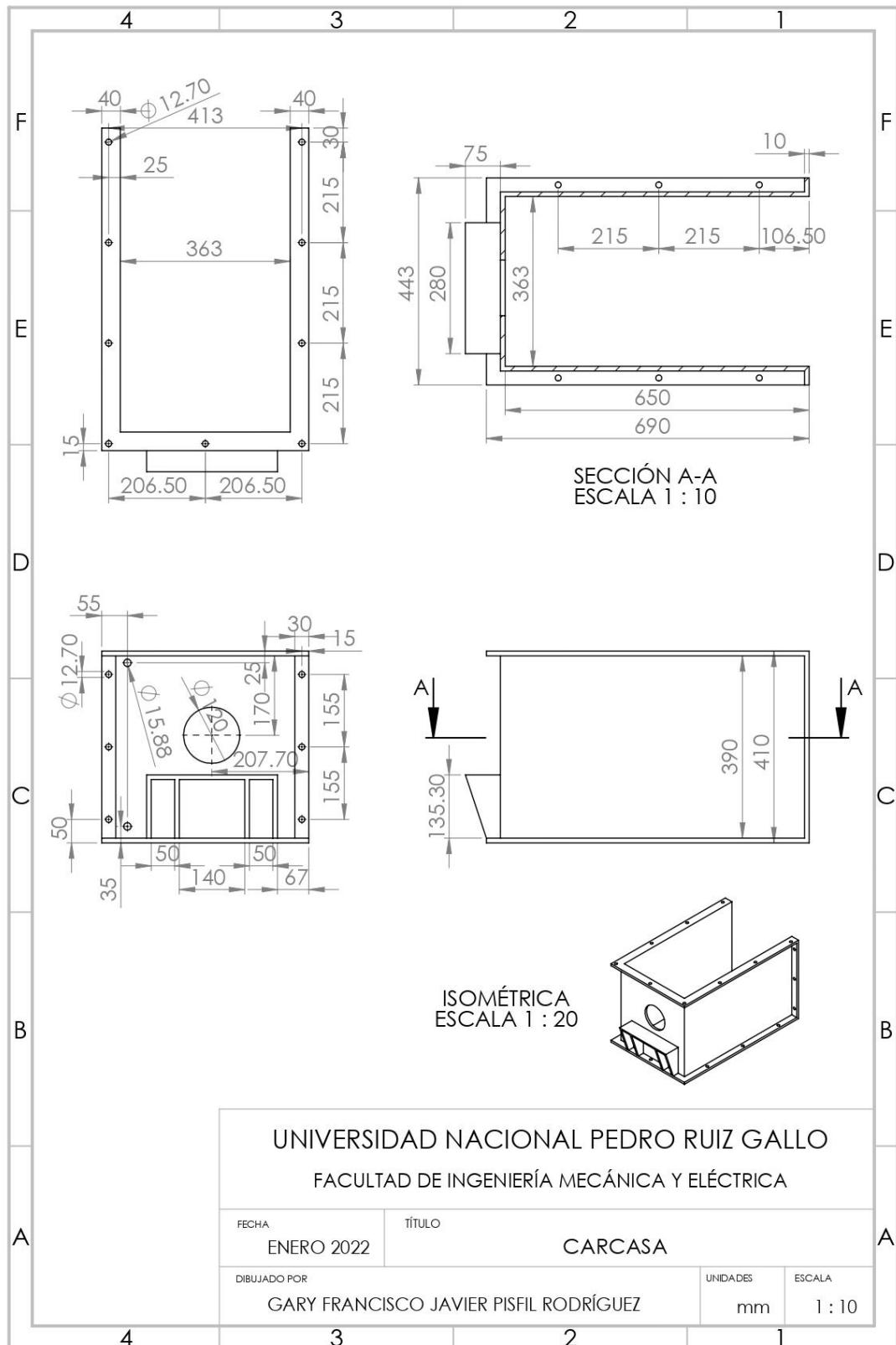
GARY FRANCISCO JAVIER PISFIL RODRÍGUEZ

UNIDADES

mm

ESCALA

1 : 10



# TESIS 3

## INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	3%
---	----------------	----

Fuente de Internet

2	repositorio.unprg.edu.pe	1%
---	--------------------------	----

Fuente de Internet

3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	1%
---	--	----

Trabajo del estudiante

4	repositorio.uasf.edu.pe	1%
---	-------------------------	----

Fuente de Internet

5	repositorio.uisek.edu.ec	<1%
---	--------------------------	-----

Fuente de Internet

6	repositorio.uss.edu.pe	<1%
---	------------------------	-----

Fuente de Internet

7	idoc.pub	<1%
---	----------	-----

Fuente de Internet

8	www.scipedia.com	<1%
---	------------------	-----

Fuente de Internet

9	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador	<1%
---	--	-----

10	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://dialnet.unirioja.es">dialnet.unirioja.es</a> Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
13	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.przedswit.org.pl">www.przedswit.org.pl</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.autonoma.edu.pe">repositorio.autonoma.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="http://repository.unab.edu.co">repository.unab.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
19	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="https://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="https://exhibirequipos.com">exhibirequipos.com</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="https://fdocuments.ec">fdocuments.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="https://librosctscafe.ctscafe.pe">librosctscafe.ctscafe.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="https://repositorio.unprg.edu.pe:8080">repositorio.unprg.edu.pe:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
29	Submitted to Universidad Tecnológica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
30	<a href="https://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="https://declara.jne.gob.pe">declara.jne.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Pisfil Rodriguez  
Título del ejercicio: TESIS  
Título de la entrega: TESIS 3  
Nombre del archivo: TESIS\_PISFIL\_RODRIGUEZ\_GARY.docx  
Tamaño del archivo: 12.86M  
Total páginas: 119  
Total de palabras: 15,184  
Total de caracteres: 80,944  
Fecha de entrega: 26-ene.-2023 06:09p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2000144897



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

II PROGRAMA DE ELABORACIÓN DE TESIS

**TESIS**

Para Optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

"DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE 400 kg/h  
CON SISTEMA DE CORTE OPTIMIZADO PARA OBTENER  
PLÁSTICO PET TRITURADO A PARTIR DE ENVASES  
RECICLADOS PARA LA CIUDAD DE CHICLAYO"

Presentado Por:

**Bach. Gary Francisco Javier Pisfil Rodríguez**

Asesor:

**Dr. Daniel Carranza Montenegro**

LAMBAYEQUE – PERÚ  
2021



ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

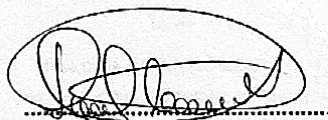
Yo, Daniel Carranza Montenegro, usuario revisor del documento titulado: "Diseño de máquina trituradora de 400 Kg/h con sistema de corte optimizado para obtener plástico PET triturado a partir de envases reciclados para la ciudad de Chiclayo."

Cuyo autor es, Gary Francisco Javier Pisfil Rodríguez, identificado con documento de identidad N°72490115., declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 11%, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque 01 de febrero de 2024



Daniel Carranza Montenegro  
DNI: 16477153

ASESOR

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital



**ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL N°005-2023-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 10:00 a.m. del día lunes 06 de febrero de 2023, Se reunieron vía plataforma virtual <http://meet.google.com/xoa-bibz-erq>, los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°036-2023-D-VIRTUAL-FIME, de fecha 03 de febrero de 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

Dr. Ing. FREDY DÁVILA HURTADO  
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA  
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO

**PRESIDENTE**  
**SECRETARIO**  
**MIEMBRO**  
**ASESOR**

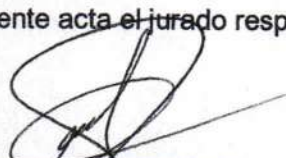
Se recibió la Tesis titulada:

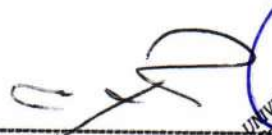
**"DISEÑO DE MÁQUINA TRITURADORA DE 400kg/h CON SISTEMA DE CORTE OPTIMIZADO PARA OBTENER PLÁSTICO PET TRITURADO A PARTIR DE ENVASES RECICLADOS PARA LA CIUDAD DE CHICLAYO"**

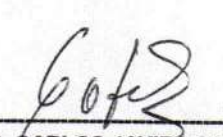
Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **PISFIL RODRIGUEZ GARY FRANCISCO JAVIER**. Finalizada la sustentación virtual de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota (16) en la escala vigesimal, mención **BUENO**.

Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

  
Dr. Ing. FREDY DÁVILA HURTADO  
PRESIDENTE

  
M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
SECRETARIO

  
M.Sc. ING. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA  
MIEMBRO

  
Dr. Ing. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO  
ASESOR

  
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ  
Decano