

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de una trituradora para obtener hojuelas de
PET reciclado en el Valle del Mantaro**

Yofre Luis Zevallos Arzapalo
William Sadan Palomino Garcilazo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Nilton Javier Arzapalo Marcelo
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 28 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de una Trituradora para Obtener Hojuelas de PET Reciclado en el Valle del Mantaro

Autores:

1. Yofre Luis Zevallos Arzapalo – EAP. Ingeniería Mecánica
2. William Sadan Palomino Garcilazo – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Víctor y Elsa, por ese inmenso apoyo que me brindan constante mente para cumplir mis propósitos y anhelos con humildad y deseo de superación profesional

Yofre

A los docentes de la Facultad de Ingeniería mecánica por brindarme sus enseñanzas y conocimientos para forjarme como profesional digno con ética y valores en mi vida diaria.

William

DEDICATORIA

A mis padres, por todo el apoyo que me brindan día a día.

Yofre

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica por brindarme sus enseñanzas y conocimientos para forjarme como profesional digno con ética y valores en mi vida diaria.

William

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Índice de contenidos.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de tablas	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Introducción.....	x
Capítulo I	12
Planteamiento del estudio	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Planteamiento del problema.	12
1.1.2. Formulación del problema	13
1.1.2.1. Problema general.....	13
1.1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	14
1.3.1. Justificación teórica	14
1.3.2. Justificación práctica	15
1.3.3. Importancia de la investigación.....	15
1.4. Viabilidad de la investigación.....	16
1.5. Limitaciones del estudio	17
Capítulo II.....	18
Marco teórico	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Trituración.....	22
2.2.1.1. Definición	22
2.2.1.2. Máquina trituradora de plástico.....	23
2.2.1.3. Tipos de máquinas trituradoras de plástico.....	23
2.2.2. PET.....	24
2.2.2.1. Definición	24

2.2.2.2. Propiedades mecánicas del PET.....	25
2.2.2.3. Plástico triturado o picado	26
2.2.3. Diseño mecánico	27
2.2.3.1. Definición	27
2.2.3.2. Herramientas de software para el diseño mecánico.....	28
2.2.3.3. Modelamiento matemático para el diseño	29
2.2.3.4. Norma VDI 2221.....	31
Capítulo III	32
Hipótesis y variables	32
3.1. Hipótesis	32
3.1.1. Hipótesis de la investigación.....	32
3.1.2. Variables y operacionalización.....	32
3.2. Variables y operacionalización	33
3.2.1. Variables	33
3.2.1.1. Trituradora	33
3.2.1.2. Hojuelas de PET.....	33
3.2.2. Operacionalización	33
Capítulo IV.....	34
Método.....	34
4.1. Alcances de la investigación	34
4.1.1. Tipo de investigación.....	34
4.1.2. Nivel de investigación	34
4.2. Diseño de investigación	35
4.2.1. Método general o teórico de la investigación.....	35
4.2.2. Diseño experimental de la investigación	35
4.2.3. Diseño o enfoque de análisis de información.....	36
4.3. Población y muestra	37
4.3.1. Población de la investigación	37
4.3.2. Muestra de la investigación.....	37
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	38
4.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	38
4.4.2. Instrumentos de recolección de datos	38
Capítulo V	40
Diseño de una trituradora.....	40
5.1. Diseño por metodología.....	40
5.1.1. Comprensión de la solución	40
5.1.1.1. Estado de la tecnología	40

5.1.1.2. Lista de exigencias	41
5.1.2. Concepto de solución.....	42
5.1.2.1. Abstracción de la solución	42
5.1.2.2. Estructura de funciones de la solución	43
5.1.2.3. Concepto de solución	44
5.1.2.4. Matriz morfológica.....	45
5.1.2.5. Descripción de soluciones	46
5.1.2.6. Selección de la solución óptima	48
5.1.3. Elaboración del proyecto	51
5.1.3.1. Diseño preliminar	51
5.1.3.2. Diseño definitivo	52
5.2. Desarrollo matemático.....	52
5.2.1. Cálculo de potencia y trituración.....	52
5.2.2. Cálculo de los elementos de transmisión de potencia.....	56
5.2.3. Selección de rodamientos.....	69
5.2.4. Cálculo de la estructura.....	70
5.3. Discusión de resultados	73
Conclusiones.....	77
Recomendaciones	78
Lista de referencias	79
Anexo.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de corte en dos dimensiones	29
Figura 2. Caja negra de la solución.....	43
Figura 3. Caja blanca de la solución	44
Figura 4. Bosquejo de la solución 1	47
Figura 5. Bosquejo de la solución 2.....	48
Figura 6. Bosquejo de la solución 3.....	48
Figura 7. Dispersión para las soluciones	51
Figura 8. Distribución de componentes en la transmisión de potencia	57
Figura 9. Potencia de diseño transmitida en función de la velocidad del piñón	59
Figura 10. Figura de factor de J de geometría	61
Figura 11. Factor de espesor de borde	62
Figura 12. Factor de geometría I.....	64
Figura 13. Distribución de piezas sobre el eje	65
Figura 14. Diagramas de cargas, cortante y momento flexionante	66
Figura 15. Distribución de cargas en la estructura.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades técnicas del PET	26
Tabla 2. Variable Trituradora	33
Tabla 3. Variable Hojuelas de PET.....	33
Tabla 4. Lista de exigencias del proyecto	41
Tabla 5. Matriz morfológica de la máquina	45
Tabla 6. Evaluación técnica para las alternativas del proyecto	49
Tabla 7. Evaluación económica para las alternativas del proyecto.....	50
Tabla 8. Comparación del motorreductor.....	57
Tabla 9. Factores de carga sugeridos	62
Tabla 10. Tamaños sugeridos	62
Tabla 11. Cálculo para la deflexión máxima	72

RESUMEN

Debido a la alta generación de residuos sólidos dentro de la región centro del Perú, la industria del reciclaje se ha visto en alza, aumentando sus niveles de producción. Regularmente, esta industria solamente producía fardos de botellas plásticas PET para venderlos, sin embargo, se han visto en la posibilidad de producir hojuelas PET que pueden venderse por mayores precios, generando un mayor ingreso. Así, dicha industria se encuentra en la búsqueda de una máquina para suplir la producción de hojuelas de PET; aunque adquirir este producto de importación resulta caro. Por ello se realiza el pedido del diseño de una máquina trituradora de PET.

A partir de un diseño basado en la norma VDI 2221, el proyecto ha dado como resultado la posibilidad de la fabricación de una máquina de trituración de PET que puede conseguir hojuelas de diámetros entre 10 mm y 12 mm. Esta máquina transmite potencia desde un motor eléctrico de II polos de 7,5 HP a 3510 rpm, seguida de un reductor de velocidad de tornillo sinfín de 60:1 hasta un eje de acero SAE 4140. Dicho eje mueve a otro por medio de engranes de 30 dientes módulo 4 fabricados en acero SAE 4140 para conseguir que un grupo de cuchillas de acero 1045 con un diámetro de 18 cm Trituren el plástico PET. La estructura que soporta a todos estos componentes está construida en acero ASTM A36.

Palabras claves: diseño, PET, trituradora

ABSTRACT

Due to the high generation of solid waste within the central region of Peru, the recycling industry has been on the rise, increasing its production levels. Regularly, this industry only produced bales of PET plastic bottles to sell, however, they have seen the possibility of producing PET flakes that can be sold for higher prices, changing a higher income. Thus, said industry is searching for a machine to supply the production of PET flakes; although acquiring this imported product is expensive. For this reason, the request for the design of a PET crushing machine is made.

Starting from a design based on the VDI 2221 standard, the project has resulted in the feasible possibility of manufacturing a PET crushing machine that can obtain flakes with diameters between 10mm and 12mm. This machine transmits power from a 7.5 HP 3510 rpm II pole electric motor, followed by a 60:1 worm speed reducer to an SAE 4140 steel shaft. Said shaft moves another by means of gears. with 30 module 4 teeth made of SAE 4140 steel to get a group of 1045 steel blades with a diameter of 18 cm to crush the PET plastic. The structure that supports all these components is made of ASTM A36 steel.

Keywords: crusher, design, PET

INTRODUCCIÓN

La disposición de desechos sólidos se ha convertido en un gran problema de magnitud mundial. Dentro de estos residuos es posible encontrar diversas composiciones de desechos que requieren un trato especial debido al alto tiempo de descomposición natural, como es el caso del PET; que puede tardar hasta 1000 años en descomponerse. Cabe mencionar, que el Perú llega a producir hasta 3 500 000 000 de botellas de PET, que terminan convirtiéndose en residuos, muchas veces, terminando en ríos.

La industria del reciclaje es el principal encargado de manejar adecuadamente los desechos sólidos. Sin embargo, se ha visto que los desechos en la región centro de país, no hace una disposición correcta. La magnitud de residuos que Junín puede llegar a producir equivale hasta 479 toneladas de basura al año. Esta industria busca adquirir una máquina que pueda producir hojuelas de PET, ya que es un material que puede comercializarse.

La presente investigación engloba este problema para llegar a conseguir el diseño de una máquina que pueda competir comercialmente con sus similares dentro del mercado nacional. A través de las siguientes páginas se podrá determinar información específica dentro de diversos capítulos, tales como:

El capítulo I presenta una exposición del problema, a través de apartados que explican el planteamiento y formulación del problema. A partir de ello se plasman los objetivos de la investigación, además de una justificación, viabilidad y limitaciones del desarrollo.

El capítulo II resume la teoría utilizada para conseguir los objetivos planteados. De dicha teoría, se consigue desmenuzar la información necesaria para escribir las hipótesis. También se cuenta con datos auxiliares que permitan desarrollar de manera más eficiente la tesis.

El capítulo III conforma el conjunto de información correspondiente las hipótesis que permiten idealizar una idea y describir las dimensiones e indicadores de las variables. Dentro de este modelo descrito para las variables se desarrolla la investigación en los capítulos posteriores.

El capítulo IV representa la descripción de los alcances de la metodología bajo los cuales se rige la investigación. En adición, se cuenta con una descripción para la población y muestra, además de un listado de las técnicas e instrumentos por utilizar.

El capítulo V engloba el resumen del desarrollo de la investigación. Este capítulo se divide a partir del dimensionamiento dado a los apartados anteriores. Estas páginas dan como resultado el cumplimiento de los objetivos.

Finalmente, se tienen las conclusiones y recomendaciones dadas. Además, se pueden encontrar los anexos donde se disponen tablas y figuras adicionales para un mejor entendimiento del desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema.

En el Perú, se producen aproximadamente 3 500 000 000 de botellas de plástico PET al año. De esta cantidad, es sabido que menos de la mitad alcanza a reciclarse o a disponerse adecuadamente. Entonces, se refleja un grave problema de disposición de desechos sólidos. A esto debe de agregársele también los desechos industriales generados por las fábricas, que puede alcanzar a generar hasta 260 toneladas adicionales de residuos sólidos durante un año alcanzando un total de hasta 19 000 toneladas de basura (1).

En Junín, se producen 479 toneladas de basura al año, además, el Ministerio del Ambiente considera que la ciudad de Huancayo se encuentra entre las ciudades del país que generan mayores proporciones de residuos sólidos. Entre los residuos que mayor dificultad tiene para degradarse están los plásticos y el vidrio. El plástico, por ejemplo, considera diferentes tipos, donde unos pueden tardar más tiempo que otros en degradarse por completo. En el caso del PET, este puede tardar hasta 1000 años en desaparecer.

La disposición de desechos se ha convertido en un problema para el mundo a lo largo del último siglo. Es posible evidenciar eso con consecuencias como el calentamiento global o la falta de espacios para concentrar la basura. Minam (2) da un acercamiento de que esto ocurre en esta localidad, al explicar que la OEFA denunció a la Municipalidad Provincial de El Tambo y a la Municipalidad Provincial de Huancayo por una mala disposición de desechos sólidos.

Queda claro que disponer de la basura se ha convertido en un problema para la sociedad, por lo que es necesario buscar alternativas para estos desechos. Una alternativa puede ser el tratamiento de materiales que pueden convertirse en otros productos o de aquellos que pueden reutilizarse. En los últimos años se ha visto que se han generado ecotiendas para intercambiar este tipo de materiales por insumos (3).

Cuando se habla de reciclaje, transformación o reutilización es posible considerar materiales como el vidrio o el plástico. Si se habla del vidrio, es posible aplicarlo para diferentes fines, como agregado para la generación de nuevos envases de vidrio, hasta agregado de concreto. Si se considera el plástico, al igual que el material anterior, su reciclaje permite obtener materiales que pueden aplicarse en diferentes industrias. En Huancayo, se ha usado el plástico reciclado para obtener productos de tela sintética (4).

La industria del reciclaje de plástico en Huancayo ha visto que, durante los últimos años, se ha incrementado la cantidad de plástico que podían conseguir. Este plástico era prensado en fardos que luego eran enviados a la capital para su tratamiento y transformación en hojuelas de plástico que podían ser comprados por industrias asiáticas para generar fibras sintéticas de plástico PET. Entendiendo esta premisa, la industria del reciclaje regional ha considerado adquirir una máquina trituradora para realizar dicho proceso y no requerir de intermediarios para generar ingresos a partir del reciclaje.

En la búsqueda de una máquina que cumpla con sus necesidades, observaron que los precios habían aumentado debido a diferentes circunstancias. Debido al incremento del precio de estas máquinas, se ha considerado buscar nuevas alternativas, como un diseño oriundo de la región que pueda estar destinado a cumplir con los requerimientos de esta industria. Así, se ha previsto diseñar una máquina trituradora que pueda cumplir con los estándares previstos por dicho cliente.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuáles serían las características de diseño de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro?

1.1.2.2. Problemas específicos

¿Cuáles serían las características del sistema de trituración de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro?

¿Cuáles serían las características del sistema de transmisión de potencia de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro?

¿Cuáles serían las características del sistema de soporte de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar las características de diseño de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar las características del sistema de trituración de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro.

Determinar las características del sistema de transmisión de potencia de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro.

Determinar las características del sistema de soporte de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro.

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

El reciclaje de diversos materiales resulta de gran importancia al registrar una economía circular entorno a desechos que podrían dañar nuestro medio ambiente. Por ejemplo, al tratarse de un material como el PET, que puede tardar hasta 1000 años en degradarse por completo. Se considera, además, la proporción de generación de desechos que, siendo elevada dentro de la sociedad, representa un imperativo el conseguir métodos y alternativas para poder reutilizar materiales como este.

Valderrama et al. (5) contrasta la información descrita al resaltar la importancia de planificar o asegurar economías circulares para materiales como el PET. Este tipo de economía permite disminuir el volumen de desechos que se envían a botaderos; además, también permiten generar ingresos a partir de su reutilización. Al tratarse de polietileno de alta densidad, es posible reciclarlo para diversos fines; por lo que es posible su reciclaje por medio de prensado o trituración.

Al obtener un nuevo producto a partir del reciclaje de PET, se consigue generar un ingreso a partir del reciclaje de dicho material. Esto ejemplifica la economía circular que Valderrama et al. (5) explica. Dentro del mercado, existen muchos fines para este producto, que puede aplicarse en la fabricación de nuevos envases, moldes; e incluso en la industria de los textiles.

1.3.2. Justificación práctica

El uso de hojuelas de plástico PET tiene diversos fines que pueden incluir desde la fabricación de nuevos tipos de plástico, hasta su conversión en fibras para la industria de la ropa. Existen diversos fines para el reciclaje de este material, sin embargo, para ello, es necesario convertir el desecho PET en un material comerciable. Este material se consigue a partir de la trituración de los desechos seleccionados en hojuelas pequeñas (6).

Las dimensiones que las hojuelas más comerciales tienen, y las de mejor calidad, son aquellas que poseen un diámetro medio de 9.5 milímetros, o 3/8 de pulgada. Es recomendable que estas dimensiones no bajen de 7 milímetros ni suba de 12 milímetros, pues la calidad podría verse comprometida. Estas hojuelas son conseguidas a partir de trituradoras que utilizan cuchillas de diferentes tipos.

Para el diseño se plantea evaluar diversas soluciones, de tal modo que se pueda seleccionar la más eficiente. Con base en esta premisa, es posible utilizar la norma VDI 2221, que permite analizar los requerimientos del cliente y combinarlos con alternativas de solución para los procesos que debe de suplir la máquina. Finalmente, se podrá contar un diseño específico, eficiente y dirigido directamente al cliente para quien se diseña la máquina.

Por medio de *software* y conocimientos de dibujo técnico, será posible obtener el producto final de la investigación: Planos de fabricación, estos planos de fabricación contendrán la información necesaria, de dimensiones, material, uniones, acabados superficiales, entre otros. Así, será posible contrastar los resultados de la presente investigación con los antecedentes y otros estudios.

1.3.3. Importancia de la investigación

La industria del reciclaje genera ingresos a partir de materiales que comúnmente son considerados como desechos. Estos ingresos pueden venir de diversos materiales, uno de ellos es el plástico PET. El reciclaje de PET tiene diversos métodos y fines. Es posible convertir el plástico PET en hilos a partir de su fibra sintética, e incluso utilizarlo como agregado para la fabricación de nuevos plásticos o inclusive como agregado para concretos.

El reciclaje del PET tiene procesos diversos, iniciando desde la selección de los tipos de plástico para obtener el material necesario. Luego, a partir de procesos como la trituración o el prensado, se pueden obtener ladrillos que pueden ser enviados a fábricas de reciclaje más especializadas. Sin embargo, es posible comerciar las hojuelas de plástico PET que provienen de una trituración específica que permite obtener retazos pequeños con diámetros de hasta media pulgada.

Al obtener las hojuelas de plástico, el desecho que inicialmente eran botellas y otros accesorios fabricados de PET; se convierte en un bien que, al venderse, genera ingresos. El comercio de este material es bastante común en países como China, donde la fibra sintética es un material necesario y rentable. Para esto es necesario el uso de una trituradora, sin embargo, la industria del reciclaje del valle del Mantaro considera que las alternativas de compra poseen un precio bastante alto.

Por ello, se plantea diseñar una máquina que permita conseguir estas hojuelas de plástico PET. Además, considerando un diseño específico para dicha industria, se podrán aplicar los requerimientos específicos para que la máquina pueda producir de manera más eficiente.

1.4. Viabilidad de la investigación

Diversos autores dentro del apartado de antecedentes han podido diseñar un prototipo para este tipo de máquinas. Si bien los requerimientos han sido distintos, se ha demostrado que el diseño de una máquina de este calibre es posible. A partir de teorías de diseño y experiencias recopiladas por parte de la industria del reciclaje del valle del Mantaro, es posible obtener un diseño específico y eficiente.

Con respecto a la información necesaria, el uso de internet permitirá reconocer las bases teóricas para el cálculo general. Esto significa que es posible calcular matemáticamente las dimensiones a partir de información teórica recogida de la industria y de libros o investigaciones anteriores. A partir de esta premisa, se selecciona una filosofía de diseño, así como, de los esquemas matemáticos más adecuados.

Para la construcción de los planos, es posible utilizar *softwares* especializados que permitan obtener dibujos de calidad que puedan ser publicados y contrastados con otras investigaciones. Los materiales utilizados en dichos planos fueron seleccionados a partir del comercio de dichos elementos dentro del mercado nacional. Finalmente, la configuración de

las piezas y componentes está orientada a aplicar una fabricación simple o de menor consumo energético.

1.5. Limitaciones del estudio

El presente estudio analiza el diseño de una máquina trituradora para facilitar el reciclaje de PET. Esto implica que se desarrolla un análisis para determinar la mejor configuración de los sistemas que componen la máquina. Por ende, no se realiza un estudio para terminar la aplicación del reciclaje del polietileno de alta densidad.

También es posible observar que el planteamiento de la investigación es específico al determinar que solo se conseguirán planos de fabricación. Esto tiene como contraste el producto final del presente estudio, pues representa una alternativa para la posible fabricación de una máquina de trituración de PET.

Finalmente, no se aplican métodos de estadística inferencial ni descriptiva para contrastar las hipótesis. Esto no implica que aceptar o negar las hipótesis planteadas no tengan valor inferencial. Ya que la investigación considerada en este documento tiene un planteamiento teórico; su desarrollo, si bien es numérico, no se requiere de estadística al no considerar tratamientos que varíen las variables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Los investigadores Gamarra et al. (7) presentan su investigación «Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET» donde desarrollaron un prototipo a partir de la norma VDI 2221 para mejorar el rendimiento de una máquina de trituración con respecto a la calidad de las hojuelas de PET que dicha máquina podía producir. Al hacer uso de la filosofía de diseño del VDI 2221, pudieron ordenar las funciones de la máquina para determinar que el punto de mayor importancia para el rendimiento de triturador era el órgano de corte, es decir, las cuchillas. Enfocándose en la mejora de este componente se planteó un análisis estadístico mediante Anova para comparar cuatro posibles diseños de cuchillas para determinar qué mayor rendimiento de calidad y flujo másico de material de hojuelas de PET podía generar. El dato más relevante que los autores evaluaron fue la velocidad de obtención de material, que se dio en $\frac{kg}{h}$; obteniendo un rendimiento de trituración de $21,72 \frac{kg}{h}$ haciendo uso de una herramienta portacuchilla con tres accesorios para realizar el picado del PET. Dicha herramienta tuvo una forma simétrica radial a partir de un ala en forma de «S» que es coronada por una cuchilla; sendas configuraciones conforman este órgano de trabajo de tres alas. Finalmente, se concluye que la mejor herramienta de trabajo se trata de un órgano sujetador de cuchillas para obtener hojuelas de PET. Por otro lado, su eficiencia depende del agarre que las cuchillas puedan tener con el material que se desea picar.

Cajusol (1) expone la tesis «Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo” – Tucume, Lambayeque» donde plantea que es necesario, como primer paso, recolectar información acerca de las necesidades de la empresa; es decir, determinar mediante una encuesta cuáles son los requerimientos que necesita para la

máquina. Esto se logró mediante dicha encuesta que constó de preguntas acerca de la producción que esperaban alcanzar y del material diario que se procesa, entre otras interrogantes. Luego de la búsqueda de información empírica a partir de la encuesta, se pasó a recolectar información acerca del diseño, configuraciones y materiales que podrían incluirse a la máquina. El investigador halló que el acero SAE 1045 era el más comercial y el más fácil de manipular para trabajar componentes macizos como los ejes. Con respecto a la armadura de la máquina, se propuso utilizar el acero ASTM A36. Por último, las recomendaciones con respecto a la configuración de las cuchillas, éstas debían poseer un ángulo de abertura de entre 8° y 10°; mientras que el ángulo de ataque debía estar en el límite de 4° a 6°; finalmente, el ángulo de corte, tenía límites entre 70° y 80°. El diseñador planteó diversas alternativas a partir de estas premisas, hallando que el mejor diseño utilizaba un motor eléctrico como generador de potencia cuyas revoluciones por minuto eran disminuidas por un reductor de tornillo sinfín para transmitir dicha potencia a un eje de portaherramienta que sujeta a las cuchillas.

Caviedes (8) en su tesis «Diseño de una máquina trituradora para plástico PET» comprende el desarrollo de una máquina para triturar plástico PET con una alimentación de 20 kilogramos de material por día con un tamaño de hojuela de media pulgada de diámetro, siendo estos los principales requerimientos para la tesis. Otros puntos considerados fueron el material con el que se iba a construir la máquina, que debía ser accesible dentro del mercado donde se iba a construir la máquina; el costo de la máquina, conectado con el material, su mantenimiento y su costo de producción. Por último, la admisión del tipo de plástico PET, puesto que la máquina debía admitir botellas comerciales de hasta 2 litros de capacidad. Con base en dichos requerimientos se plantearon ciertas alternativas, por lo que se consideró un diseño conceptual que iniciaba con el ingreso de fardos del plástico PET hacia una tolva de alimentación, para luego pasar al espacio de trituración que es suministrado por potencia, por medio de unas correas. Luego, el material picado se dirige a una tolva de salida que, por medio de un tornillo sinfín, conduce el producto hacia su almacenaje. Esta configuración utiliza un motor de tornillo sinfín para reducir las revoluciones iniciales en 30/1 hasta una polea que conduce a otra similar por medio de una correa en V tipo A; finalmente, para transmitir la potencia hacia un eje de acero SAE 1040 con cuchillas de largo de 280 mm.

Hernández y Fonseca (9) desarrollaron la tesis «Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E. S. P.», donde observan el fenómeno de corte desde un punto de vista más profundo, al comparar ensayos tipo Charpy e Izod para considerar cuál era el mejor método para triturar el plástico PET. Luego, consideraron realizar un diagrama de operaciones y procesos para determinar los procesos que el diseño debía de respetar para conseguir una configuración eficiente. Mediante un esquema QFD (*Quality*

Function Deployment) se pudieron integrar los requerimientos del cliente en conjunto con los procesos por resolver. Así, luego de considerar las posibles alternativas para la selección de los componentes, se pasó a resolver matemáticamente la máquina. Se planteó una capacidad de trabajo de 51 toneladas por hora para garantizar que el proceso pudiera suplir las necesidades establecidas en la fase de concepción del diseño. La potencia, proveniente de un motor eléctrico fue transmitida por un sistema de reducción de velocidad compuesta de dos etapas, la primera, diseñada para funcionar por medio de dos poleas conectadas por doce correas; y la segunda, donde el eje de cuchillas recibe la potencia, a partir de dos engranajes rectos. Las cuchillas de corte utilizan cuatro salientes con una profundidad de corte de 30° y un radio de 15 cm.

Luque (10) presentó la investigación «Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET» donde muestra un listado inicial de los requerimientos que el cliente impuso para el diseñador, entre estos, se limitó el tamaño de la hojuela de PET a un diámetro máximo de 10 mm; también, se especificó que el desemboque de la producción del material esté orientado hacia un contenedor, el uso de un motor eléctrico para conseguir la potencia requerida y el uso de una tolva de alimentación para ingresar el material. Se plantearon alternativas de solución, la primera, a partir de un triturador de martillos, la segunda a partir de un triturador con cuchillas montadas sobre un eje; y la última, una trituradora con cuchillas rotatorias. Para seleccionar la mejor solución se realizó una comparativa analizando la velocidad necesaria del mecanismo para trabajar, la uniformidad teórica de la producción de la hojuela de PET, la cantidad desperdiciada por el impacto, y el costo de los componentes. Dicha comparativa se realizó de manera muy similar a la propuesta en la norma VDI 2221. Finalmente, el investigador halló que el mejor diseño era utilizar cuchillas rotatorias de 114 mm de largo sobre un eje con 38 mm de diámetro recibiendo la potencia de un motor eléctrico de 5 HP. Así, también, el autor especificó que el bastidor y las tolvas, de alimentación y recepción, deben de ser construidos a partir de acero ASTM A36.

Miranda (11) expone su investigación «Diseño de una máquina trituradora de plástico para la fábrica La Paz» donde planteó, la necesidad de tener una máquina que pueda disminuir el tamaño de botellas de plástico de uso comercial para que puedan ser tratadas y comercializadas. A partir de esta idea, se consideró inicialmente determinar los parámetros de diseño, que son esencialmente, los requerimientos con los que se debe de diseñar la máquina. A partir de la medición tomada dentro de la empresa, se diseñó la máquina, se pudo calcular la capacidad de diseño necesaria, que equivale a 300 kg/h. Bajo estas condiciones se desarrolló un análisis de los sistemas que componen a la máquina, de la que se resaltan: sistema de alimentación, el de trituración, de clasificación, estructural y eléctrico. El diseño final tuvo una tolva de acero AISI 1010 de espesor de 1 mm con una capacidad de carga de 20 cm x 50 cm.

El sistema de trituración utiliza un rodillo como herramienta sobre el cual van montados unas cuchillas de 10 cm de ancho por 40 cm de largo con un espesor de 1 cm; el material de las cuchillas es acero AISI 1095. La transmisión de potencia parte de un motor eléctrico por medio de correas trapezoidales en V tipo C. Para el sistema de clasificación se consideró un tamiz de 2500 cm^2 fabricado con acero AISI 1010 de 1 mm de espesor. La estructura está compuesta de un marco fabricado en acero AISI 1010 con perfiles angulares de 1 pulgada por 1/8". Mientras que el motor considerado posee una potencia de 12.5 HP con un voltaje de 380 V.

Sánchez (12) realiza la investigación «Estudio de factibilidad para la aplicación de una máquina trituradora de plástico en la empresa MG Gestores Ambientales» donde, el diseño parte de la premisa de tener que procesar 5 toneladas de plástico semanalmente, por lo que se consideró esta cantidad como el flujo másico de entrada para la máquina. Aunque para estudiar la viabilidad de la adquisición de una máquina trituradora, se planteó buscar una máquina que pudiera duplicar esta producción, es decir, 10 toneladas de plástico semanalmente. Con esta condición se realizó el cálculo necesario, encontrándose que un kilogramo de material tratado puede venderse en 90 centavos de dólar. Consiguiendo 20 centavos adicionales a como se venía trabajando anteriormente. La máquina consiguió aumentar la producción mensual en aproximadamente 310 kilogramos, lo que significó un 20 % de aumento de demanda en la producción, aproximadamente. Para constatar que la adquisición de la máquina fuera rentable, se evaluó mediante una aplicación de tasa TIR, consiguiendo 78,91 %. Mientras que, al evaluar para un VAN, se obtuvo, 223 522.44 dólares de retorno en 19 meses. Esto evidencia que la adquisición de una máquina trituradora de plástico para empresas productoras de hojuelas de plástico es rentable.

Vela et al. (13) presentan la tesis «Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET» donde estimaron que existe la posibilidad de mejorar el reciclaje del plástico PET formado dentro de la universidad a la que pertenecen. Si bien ya existe un plan de reciclaje inicial, por medio de una investigación exploratoria, se dieron cuenta que existe una apertura a mejorar este proceso mediante la trituración de los desechos. El estudio se plantea a partir del diseño de una trituradora que pueda cumplir con el trabajo indicado, a partir de una elección de un modelo conveniente, se desarrolló la construcción de la trituradora, así como, de la redacción de un manual de uso y seguridad para la máquina. Los investigadores proponen utilizar un eje hexagonal sobre el cual irán montados una serie de cuchillas de doble punta. Para dar una distribución más conveniente, la distribución de las cuchillas está dada de manera radial con un giro en el agujero del hexágono interior, con lo que se obtiene una espiral de cuchillas. También, se aplican espaciadores para generar una luz donde las cuchillas habrán de intercalar sus agarres para con el material. Finalmente, estos componentes son acoplados dentro de un bastidor a

partir de dos ejes a ambos lados del mismo, que permiten una sujeción. La energía es transmitida a partir de un motor eléctrico con reductor de velocidad, y el suministro de material proviene de una tolva de alimentación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Trituración

2.2.1.1. Definición

Un proceso de trituración se trata de una actividad mediante la cual se reduce el tamaño de ciertos materiales. Dependiendo al margen entre dimensiones, se pueden tener diferentes especificaciones para el tipo de proceso de trituración. La trituración primaria, por ejemplo, corresponde a la reducción de tamaño de partículas de 1 metro a 10 centímetros. La trituración secundaria, por otro lado, corresponde a la disminución de tamaño de partículas de 10 centímetros a 1 centímetro (14).

El proceso de trituración es utilizado en diversas industrias, por ejemplo, en la minería, donde es común encontrar máquinas de trituración primaria y secundaria. Esto se debe a que la trituración corresponde a uno de los procesos iniciales de producción para convertir materia prima, en productos más complejos. Existe una amplia campo de aplicación para este tipo de máquinas, pues haciendo conversiones a ciertos equipos de trituración, se pueden convertir inclusive, en máquinas de corte para materiales más suaves que la roca (14).

Cabe señalar que este proceso tiene como objetivo principal el reducir de tamaño a un elemento sin que dicho proceso altere la naturaleza del material. Para esto es posible aplicar diversos fenómenos físicos, que puede ser el corte, impacto, compresión, entre otros. Es así como, se pueden encontrar máquinas que pueden aplicar estos procesos físicos consiguiendo diferentes configuraciones (14).

Para seleccionar correctamente una máquina de trituración, es necesario considerar ciertos parámetros de trabajo. Estos parámetros dependen de la industria y de la necesidad del cliente, por ejemplo, de la cantidad de material que vaya a ingresar a la máquina, del tamaño de partícula final que se desee, la dureza del material que se desea triturar, entre otros. Dependiendo de estos condicionantes, es posible que un cliente requiera de una máquina específica para el proceso necesario.

Es importante considerar que otro límite del proceso de trituración es que el resultado final no sea polvo. Cuando se requiere que el procesamiento de material llegue a partículas por

debajo de 1 centímetro, entonces se está hablando de un proceso de molienda. Esta actividad, como su nombre lo señala, corresponde a la transformación de una partícula en polvo (14).

2.2.1.2. Máquina trituradora de plástico

Las trituradoras de plástico, son conocidas también como molinos de plástico, o incluso como cortadoras de plástico. Se trata de un conjunto de mecanismos o componentes mecánicos que se complementan y trabajan para triturar el material ingresado. Así, mediante la reducción de tamaño del plástico, se consigue que el reciclaje sea más fácil de manejar y procesar. Dependiendo del tipo de máquina es posible encontrar presentaciones que utilizan cuchillas de diferentes geometrías y configuraciones para cumplir con este objetivo (15).

El funcionamiento más común de este tipo de máquinas depende de un motor eléctrico, un mecanismo de reducción de velocidad y transmisión de potencia, un mecanismo para realizar la trituración, o corte del plástico reciclado; además, de un bastidor que permite ingresar y extraer el material constantemente. La eficiencia de este tipo de máquinas puede medirse al observar las hojuelas de plástico, a la calidad del corte obtenido, el consumo energético, la velocidad de procesamiento y el ruido que genera (15).

Dentro de catálogos de empresas que diseñan este tipo de máquinas es posible encontrar diferentes tipos de ellas. Sistemas adicionales se han venido agregando a estas máquinas, como controladores de velocidad por medio de controladores electrónicos, por ejemplo. Sin embargo, se debe de adquirir una de estas máquinas dependiendo del fin que se desee para el plástico procesado; por ejemplo, industrias textiles que requieren de plástico reciclado necesitan hojuelas de plástico con buena calidad de corte cuyas dimensiones son aproximadamente 10 milímetros o $\frac{3}{8}$ de pulgada, aproximadamente (15).

2.2.1.3. Tipos de máquinas trituradoras de plástico

- Máquina de dos ejes

Las trituradoras de plástico de doble eje o de dos ejes; poseen una configuración que utiliza cuchillas, separadas por medio de espaciadores, o peines, montadas sobre dos ejes. Las máquinas hacen girar dichos ejes de tal forma que el material ingresado es atrapado por las cuchillas que, a partir de la fuerza inicial generada, consiguen el objetivo de cortar el plástico. Es común ver este tipo de máquinas como una de las más comercializadas, puesto que su simple configuración disminuye la necesidad de actividades de mantenimientos complejos; aunque requieren de un consumo energético mayor, este margen no representa un punto importante (15).

- Máquina de cuatro ejes

Las máquinas de cuádruple eje son diseñadas a partir de configuraciones similares a las de doble eje, con la diferencia de que su destino de trabajo considera ambientes industriales donde la cantidad de material es mayor. Este tipo de máquinas aplican el mismo fenómeno, utilizando un conjunto de cuchillas separadas por medio de espaciadores, o peines sentados sobre cuatro ejes. La confiabilidad de esta configuración suele ser mayor a la de doble eje, puesto que la distribución de fuerza se cierne sobre cuatro mecanismos, en lugar de dos; aunque su mantenimiento suele ser más caro ya que utiliza el doble de piezas. Usualmente, se utilizan motores eléctricos para dar potencia al conjunto de sistemas antes descrito (15).

- Máquina de cuchillas

Las máquinas de cuchillas poseen un set de cuchillas, que pueden verse montadas sobre uno, dos o cuatro ejes. A diferencia de las configuraciones anteriores, este tipo de máquinas utilizan conjuntos de cuchillas más finas, que consiguen cortar el material para luego pasarlo a un área donde una criba se encarga de seleccionar el material. También existen configuraciones que no hacen uso de cribas inmediatas al área de corte, sino que utilizan sistemas de cribado externo donde se seleccionan las hojuelas de plástico con las dimensiones correctas; aquellas cuyas dimensiones no son las indicadas regresan a la máquina (15).

2.2.2. PET

2.2.2.1. Definición

Desde un punto de vista profundo, se puede decir que el PET proviene de un proceso de sinterización y combinación del carbono. Con base en este proceso, es inclusive factible conseguir plástico mediante la combinación de algunos derivados del petróleo en conjunto con oxígeno, nitrógeno e hidrógeno (16).

Suasnavas (17) explica que el PET se trata de un material polímero plástico, también conocido como polietileno tereftalato cuya fuente es un proceso mediante el cual se polimeriza monoetilenglicol y ácido tereftálico. El resultado se trata de un polímero lineal cuya cristalinidad es bastante alta, además, de que su comportamiento termoplástico ayuda a que este material pueda ser transformado a partir de procesos variados como la inyección, extrusión, entre otros. Algunas de sus características son:

- Altamente reciclable
- Admite cargas de colorantes, aunque su estado inicial presenta transparencia y cristalinidad

- Buena resistencia con respecto a esfuerzos constantes
- Resistente frente a la fricción o el desgaste
- Coeficiente de deslizamiento alto
- Resistencia química considerable
- Puede ser usado como una eficiente barrera contra el CO_2 , es una barrera aceptable contra el O_2 y la humedad

Debido a estas características es posible encontrar el PET como uso para múltiples fines. Es inclusive compatible su uso en conjunto con materiales adicionales que pueden mejorar el nivel de barrera que proporciona el PET. De esta forma, en combinación con otros materiales, puede ser usado para la industria alimentaria como un envase (17).

Las propiedades físicas, así como, las capacidades que este material posee para cumplir diversos objetivos han permitido su incorporación inclusive en la industria textil. Adicionalmente de ser usado como un envase para productos alimenticios, también se ha hecho uso de este material usándolo como una fibra textil. Entre otras aplicaciones variadas, también es posible encontrarse como láminas, flejes o hasta bandejas (17).

Los usos diversos del plástico también incluyen sectores donde su uso es aplicado como un aditamento, por ejemplo, como al recubrir otros materiales para su protección; como es el caso de algunos dispositivos o cables eléctricos. El plástico es también un material de elaboración para elementos que requieren de una matriz de polímetro; entre estos productos se encuentran barnices, pinturas, entre otros (16).

2.2.2.2. Propiedades mecánicas del PET

Maldonado y Medina (18) explican que existe una diferencia de propiedades mecánicas entre el plástico PET virgen y el reciclado. Esto se debe a que el plástico reciclado muchas veces resulta ser un material que ha estado en descomposición durante días, meses o incluso años. Aunque el tiempo para que el ambiente desaparezca este material resulta ser de muchos años, la incidencia del sol, el ambiente y otros, influye en el cambio de propiedades físicas.

La diferencia de propiedades físicas, entre el PET y el PET reciclado es ampliamente estudiada por diferentes investigadores, llegando a valores diversos que pueden variar entre cada autor. En general, el PET reciclado posee un módulo de Young por debajo que el PET virgen; además de una mayor resistencia al impacto y una mayor elongación a la fractura. Esto

implica que el PET reciclado resulta ser más flexible que su contraparte, por lo que el PET virgen sería más frágil (18).

Tabla 1. Propiedades técnicas del PET

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,34 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Dilatación térmica	10-4 / °C	15.2 – 24
Resistencia al calor	°C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Nota: Recogida de Industria del plástico (19)

2.2.2.3. Plástico triturado o picado

El plástico triturado o picado se obtiene del proceso de reducción de tamaño de un plástico reciclado. En este caso, se toma el PET como ejemplo, el cual tiene diferentes tecnologías de procesamiento para cumplir con el objetivo de conseguir hojuelas de plástico. Es posible utilizar máquinas de corte, máquinas trituradoras, máquinas que permiten fragilizar el PET por medio de nitrógeno líquido, entre muchas otras formas. Las industrias alimentadas o que requieren de hojuelas de plástico son muchas, la industria textil, por ejemplo, puede conseguir fibras a partir de este material.

La calidad de las hojuelas de plástico PET tienen diversos factores, como pueden ser el filo o la calidad del corte o trituración, la regularización de las dimensiones de las partículas, la calidad de limpieza, o el desgaste del plástico. Dependiendo de factores como estos, el precio de este material puede variar, por lo que es necesario tener en cuenta la calidad del proceso de triturado o picado del PET.

El plástico picado, triturado, o simplemente, hojuelas de plástico, son comercializadas en diferentes tamaños, sin embargo, los que más movimiento tienen son aquellos cuyas dimensiones se encuentran entre media y un cuarto de pulgada. Estas dimensiones

corresponden a las requeridas por el mercado textil de Asia, que es el más grande; dependiendo del mercado las dimensiones requeridas para las hojuelas de plástico pueden variar (20).

Para conseguir estas hojuelas de plástico, es necesario inicialmente limpiar el PET por reciclar, ya que es posible que partículas de comida, polvo, aceite, o muchos otros contaminantes se encuentren impregnados a ellas. Para conseguir este objetivo es posible utilizar máquinas para eliminar dichos contaminantes, o inclusive realizarlas a mano, teniendo en cuenta las condiciones de seguridad pertinentes. Para procesos industriales de gran envergadura, donde los desechos se encuentran en acopio en grandes cantidades, es posible utilizar hidrociclones para limpiarlos (20).

2.2.3. Diseño mecánico

2.2.3.1. Definición

El proceso de diseñar consta de otorgar dimensiones, forma, el material y la tecnología de fabricación; e inclusive, determinar el funcionamiento de un componente, pieza o producto. Cuando se trata de diseño mecánico, dicho proceso está orientado a diseñar una máquina, mecanismo o componente mecánico, que cumpla con las funciones encomendadas. El diseño mecánico, a diferencia del análisis mecánico, se diferencian en que el segundo estudia un elemento ya existente, mientras que el primero, recopila información para crear un elemento nuevo (21).

El diseño mecánico comprende la creación o fabricación de un dispositivo para lo cual es necesario definir información relevante como la funcionalidad, las dimensiones del cuerpo, el material por usar, entre otros. Este proceso tiene como finalidad dar forma a un elemento para cumplir cierto objetivo, por lo cual es necesario apoyarse en teorías matemáticas que puedan caracterizar fenómenos físicos reales. De este modo, se podrá obtener una pieza que pueda cumplir eficientemente con los objetivos establecidos (22).

Un buen diseño comprende, no solamente el proceso de caracterización para el producto, sino también la eficacia del proceso mismo. Para lograr esto, el diseñador tiene que englobar, dentro de su planteamiento, la selección de tecnologías, máquinas y herramientas especializadas para fabricar las piezas. Cabe señalar que la tecnología es diferente para cada mercado y realidad, sin embargo, la distribución de *software* auxiliar de diseño se ha visto globalizado durante la última década (22).

Es importante aclarar que el diseño mecánico, y posiblemente el diseño en general, inicia al entender las necesidades actuales y futuras de un mercado o cliente. Dentro del diseño

mecánico, un buen diseñador no solo conseguirá cumplir a cabalidad los objetivos establecidos con los clientes, sino también conseguirá de manera eficiente, que la producción sea me costosa y amigable con el medio ambiente. Actividades como el empaquetado, transporte, ensamblaje, entre otras etapas de fabricación y puesta en marcha deben de ser consideradas al momento de detallar la máquina (21).

2.2.3.2. Herramientas de *software* para el diseño mecánico

Las herramientas CAD/CAM (diseño asistido por computador o fabricación asistida por computador) tienen el propósito de facilitar y mejorar ciertas actividades que intervienen en el diseño y manufactura de productos. Mediante estas herramientas, en su mayoría *software*, permiten que los elementos puedan ser construidos inicialmente dentro de un entorno virtual. Así, se consigue tener una visión inicial dentro de dicho entorno, donde un diseñador puede variar dimensiones, realizar pruebas en ambientes controlados, entre otros. Hoy en día existen numerosos *softwares* de diseño o herramientas (23).

Entre las herramientas de CAD/CAM más conocidas, están:

- **Catia V5**

El *software* Catia V5 es una herramienta diseñada por Dassault Systèmes para ser una herramienta de tipo programa informático que permita diseñar en tres dimensiones. Dentro de este entorno, no solo se puede modelar sólidos, sino que también es posible realizar ciertas pruebas dentro de su propio entorno mediante simulaciones. Este *software* cuenta con herramientas dentro de su entorno que permiten generar geometrías de cualquier tipo, aplicar superficies a sólidos o intercambiarlos por ellos. Es comúnmente vista su aplicación en la industria de la automoción, entre otros.

- **Solidworks**

Este entorno de trabajo fue diseñado por Dassault Systèmes para Microsoft, cuya fecha de lanzamiento es más actual que Catia. Al hacer uso de esta herramienta un diseñador puede realizar modelados mecánicos en dos y tres dimensiones. El propósito de este *software* es conseguir que la tecnología y las herramientas de CAD/CAM sean más accesibles. Es posible encontrar herramientas muy similares a las de Catia, por ende, es posible realizar simulaciones dentro del programa.

- Siemens NX

Esta herramienta fue diseñada por la empresa Siemens PLM *Software* para cumplir con el objetivo de no solo diseñar elementos mecánicos en dos y tres dimensiones, sino también; para poder analizar los diseños a partir de enfoques de ingeniería. Este *software* permite optimizar ciertos procesos mediante herramientas de CAM, e inclusive permite aplicar ciertos elementos para conseguir que la fase de concepción se realice dentro del *software*.

- Autodesk Inventor

El desarrollador de *Autodesk Inventor* no es otro que *Autodesk*. Comprende un paquete de modelado en dos y tres dimensiones, con herramientas muy similares a las de *Solidworks*, *Catia*, *Pro/Engineer*, entre otros. Si bien las herramientas que este, y los *softwares* anteriores son muy similares, los entornos de trabajo pueden resultar más amigables para ciertos diseñadores dependiendo de las preferencias de cada persona.

- Solid Edge

Desarrollado por *Siemens PLM Software*, este programa comparte muchas características con *Siemens NX*; e inclusive pueden encontrarse en el mismo paquete. Sin embargo, este *software* cuenta con herramientas que permiten designar tareas de diseño a la computadora, por lo que es posible conseguir que el programa otorgue dimensiones o parámetros de diseño para diversos elementos.

2.2.3.3. Modelamiento matemático para el diseño

Dautzenberg et al. (24) establecen que la fuerza de corte para el plástico puede calcularse mediante una expresión matemática que nace de la figura.

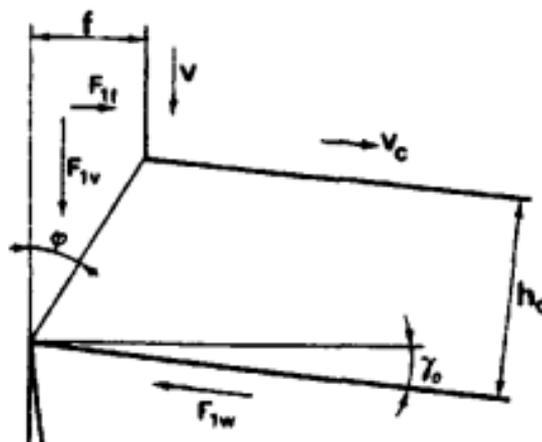


Figura 1. Esquema del proceso de corte en dos dimensiones
Nota: Recogida de Dautzenberg et al. (24)

La expresión matemática se presenta mediante la ecuación:

$$F_C = \frac{C \times b \times f}{n + 1} \times \left[\left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \text{sen} \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} \right] + \frac{F_W \times \text{sen} \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \quad (1)$$

$$F_W = C \times b \times f \times \left[\frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \times \text{sen}^2 \varphi} \times \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \text{sen} \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right] \quad (2)$$

Donde

F_C : fuerza de corte (N)

F_W : fuerza de fricción actuante sobre la viruta (N)

C : tensión específica $\left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$

n : exponente de endurecimiento por deformación

γ_0 : ángulo de inclinación de la cuchilla

φ : ángulo de corte

b : ángulo de corte

f : ancho de alimentación

Además, para calcular el ángulo de corte (φ), es necesario aplicar:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \gamma_0}{\frac{h_c}{f} - \text{sen} \gamma_0} \right) \quad (3)$$

Donde

h_c : espesor de la viruta (m)

f : alimentación

γ_0 : ángulo de inclinación de la herramienta ($^\circ$)

El torque necesario se calcula a partir de la fuerza de corte, el radio de la cuchilla y el número de cuchillas por medio de la ecuación:

$$T = F_C \times r \times N \quad (4)$$

Donde

r : radio de la cuchilla

N : número de cuchillas alineadas

T : torque ($N - m$)

2.2.3.4. Norma VDI 2221

La metodología de diseño VDI 2221, diseñada por la *Verein Deutcher Ingenieure* (Asociación de Ingenieros Alemanes), considera que, para diseñar un producto, es necesario estudiarlo a partir de cuatro etapas. Estas cuatro etapas proponen una concepción de diseño que inicia por un proceso de planificación, uno de concepción, uno de proyecto; y otro de desarrollo. Se considera que esta metodología considera analizar las necesidades del cliente como principios básicos para diseñar el producto (25).

La primera fase, de planificación, inicia al estudiar el mercado para analizar los recursos con los que se cuenta; además de una participación del cliente al cual se le plantea el producto, para recibir sus sugerencias y necesidades. Con esta etapa, se obtiene una descripción inicial a partir de los deseos del cliente, además de una visión inicial de las propiedades del producto a partir de los requerimientos establecidos (25).

En la fase de concepción, se estudian las soluciones establecidas para las partes, funciones o sistemas que debe de configurar el diseñador para que la máquina cumpla con el objetivo propuesto. A partir de ello, se establecen requerimientos dentro de tablas, a partir de una entrevista con el cliente. Es necesario realizar esto a partir de un análisis previo a las partes, funciones o sistemas que se plantean para configurar, de tal modo que el cliente entregue información relevante (25).

Por medio de la fase de proyecto, las partes, funciones o sistemas, anteriormente descritos; son resueltos a partir de las soluciones que el mercado local permite. De este modo, se podrá conseguir ciertas soluciones que podrán ser comparadas, para luego determinar la mejor de ellas por medio de evaluaciones técnicas y económicas. Mediante tablas, imágenes o inclusive diagramas de flujo es posible determinar las diferentes configuraciones para estas soluciones (25).

Mediante la etapa de desarrollo se considera la especificación de detalles para la solución final del producto. Así, se puede estudiar de manera más profunda a la solución seleccionada como la más eficiente, de tal modo que se consideren proporciones o consideraciones a partir de la experiencia del diseñador. Una vez finalizada esta etapa, será posible determinar las dimensiones, potencias, selección y distribución de componentes, entre otros (25).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis de la investigación

Si se diseña una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro a partir de la metodología VDI 2221 se pueden determinar las características de diseño.

3.1.2. Variables y operacionalización

Si se diseña el sistema de trituración de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro a partir de la metodología VDI 2221 se pueden determinar las características de diseño.

Si se diseña el sistema de transmisión de potencia de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro a partir de la metodología VDI 2221 se pueden determinar las características de diseño.

Si se diseña el sistema de soporte de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET en el valle del Mantaro a partir de la metodología VDI 2221 se pueden determinar las características de diseño.

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Trituradora

Una trituradora es una máquina cuya función es la de disminuir un conjunto de partículas en otras de menor tamaño a las iniciales. Este proceso puede realizarse a partir del uso de fuerza, corte, fricción, entre otros fenómenos físicos para lograr disminuir el volumen de las partículas iniciales.

Tabla 2. Variable Trituradora

Dimensiones	Indicadores
Sistema de trituración Comprende los componentes y piezas necesarios para que la máquina pueda reducir de tamaño al material PET con el que es alimentado.	<ul style="list-style-type: none">• Dimensiones de entrada (<i>mm</i>)• Dimensiones de salida (<i>mm</i>)• Dimensiones de los componentes (<i>mm</i>)
Sistema de transmisión de potencia Comprende los componentes y piezas que son requeridos para generar la potencia y transmitirla hasta el sistema de trituración.	<ul style="list-style-type: none">• Potencia (<i>HP</i>)• Componentes de transmisión de potencia (engranajes, poleas, etc.)
Sistema de soporte Comprende las piezas y procesos de unión que engloban al bastidor de la máquina y al esqueleto que soportan a los demás sistemas.	<ul style="list-style-type: none">• Dimensiones de perfiles (<i>mm</i>)• Dimensiones del cordón de soldadura (<i>mm</i>)• Dimensiones de pernos

3.2.1.2. Hojuelas de PET

Las hojuelas de PET son obtenidas a partir de la trituración de dicho material. Para conseguir esto es posible cuchillas de corte para lograr disminuir el volumen inicial de las partículas de PET.

Tabla 3. Variable Hojuelas de PET

Dimensiones	Indicadores
Tamaño de partícula de salida El tamaño de partícula o volumen de salida, representa el tamaño del material luego del proceso de trituración. Es posible que ocurra un proceso de tamizado para seleccionar con mayor precisión las partículas requeridas.	<ul style="list-style-type: none">• Dimensiones de la partícula de salida (<i>mm</i>)

3.2.2. Operacionalización

VI: Trituradora

La variable se estudia al diseñar los sistemas que lo componen. Por lo tanto, se diseña el sistema de trituración, el sistema de transmisión de potencia y el sistema de soporte.

VD: Hojuela de PETS

La variable se estudia mediante las dimensiones de salida de las partículas luego de pasar por el proceso de trituración.

CAPÍTULO IV

MÉTODO

4.1. Alcances de la investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Se considera que el tipo de investigación será descriptivo, esto en favor de lo que Hernández et al. (26) consideran:

«Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.» (26 pág. 92).

Siendo descriptivo, el tipo de investigación, permitirá estudiar el problema desde un punto de vista teórico, a partir de la información previa hallada. Así, por medio de las necesidades de la industria cliente, se podrá diseñar una máquina para triturar PET que pueda disminuir el tamaño de dicho material a dimensiones que faciliten su reciclaje o comercio.

Finalmente, al proponer este planteamiento descriptivo, se consiguieron planos de fabricación que permitieron entender las dimensiones y el ensamblaje de los sistemas.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación seleccionado fue básico. Esto basado en la propuesta de Hernández et al. (26): «producir conocimiento y teorías (investigación básica)» (p. 24).

Puesto que la presente investigación representa el estudio de un problema teórico, ya que no se cuenta con una propuesta de una máquina prototipo para reducir el tamaño del material PET. Con base en esto, se ha planteado que el objetivo del estudio es diseñar los sistemas necesarios para triturar material PET y facilitar su reciclaje. Tal como se describió antes, con base en esta propuesta, se obtendrán planos de diseño de los componentes y sistemas considerados.

4.2. Diseño de investigación

4.2.1. Método general o teórico de la investigación

Se considera que el método deductivo es el más adecuado para el desarrollo de la investigación. A partir de este método general, se podrá contemplar el problema del estudio como una situación particular, la cual se puede estudiar a partir de información general propuesta por autores anteriores. Bajo dicha premisa, el desarrollo de la tesis procedió a partir de la colección de datos particulares, para que luego puedan ser ordenados y trabajados por medio de teorías de diseño.

Hernández et al. (26), establecen que el método deductivo permite a un investigador conectar situaciones particulares a partir de información general. También se indica que esta metodología permite conseguir conclusiones a partir de información que, de ante mano, es propuesta como verdadera. Las teorías seleccionadas en el marco teórico han sido sustentadas por años de estudio por parte de sus respectivos autores.

El presente documento considera teorías sustentadas para lograr conseguir los objetivos planteados. Esto implica la selección de teorías correctas para el correcto desarrollo del estudio. Por ello, se puede observar la necesidad de aplicar teorías de diseño, selección de componentes, entre otras bases de estudio para contrastar las hipótesis planteadas.

4.2.2. Diseño experimental de la investigación

No se consideran experimentos con tratamientos para el presente estudio, por lo tanto, se ha seleccionado el diseño no experimental para continuar con el desarrollo de la investigación. Mediante este diseño, la toma de información empírica no es necesaria y, por ende, la información propuesta es enteramente teórica. Ciertos datos serán recogidos de antecedentes o autores que hayan desarrollado investigaciones similares.

Dentro de los diseños no experimentales, dependiendo del autor, pueden encontrarse diversos diseños más específicos. Con respecto a Hernández et al. (26), consideran que este tipo de diseños no requiere de una manipulación en las variables, por lo tanto, un esquema de

trabajo no es necesario. Por otro lado, se describe a los diseños no experimentales a partir de un grupo donde se encuentran otros diseños.

Se establece la necesidad de considerar un esquema de trabajo, que puede depender de las variables usadas, o inclusive a la orientación que se plantee para el estudio. Siendo la necesidad de encontrar las características de diseño de los componentes de los sistemas para diseñar, el diseño más adecuado sería el diseño descriptivo (26).

El diseño descriptivo, se muestra mediante el siguiente esquema:

$$X \rightarrow O$$

Donde

X: diseño de una trituradora para facilitar el reciclaje de PET

O: observación

4.2.3. Diseño o enfoque de análisis de información

El enfoque utilizado fue el cuantitativo. Los datos con los que se trabajó fueron números, por lo que es posible considerar que el enfoque esté dirigido a ellos. Se desarrolla el presente estudio a partir del tratamiento de los datos, puesto que se plantea diseñar y obtener características de los sistemas que componen a la máquina.

Hernández et al. (26) explican:

«El diseño cuantitativo se utiliza para consolidar las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población.» (26 pág. 26).

Al ser una investigación donde se propuso diseñar una máquina, y al utilizar la norma VDI 2221, es posible considerar que se tiene información cualitativa de los requerimientos. Sin embargo, se comprueba que el tratamiento intrínseco de la información se realiza de forma numérica al realizar cálculos y tablas que permiten la selección de elementos mecánicos.

Se llega a la conclusión de que el enfoque fue cuantitativo, pues el análisis de la data, que compone el corazón de la investigación, se da bajo información de representación numérica. Ejemplo de ello, son los cálculos y teorías matemáticas que utilizan funciones, signos, comparaciones, entre otros, que sirven para obtener valores numéricos. Asimismo, la

información recopilada, como la velocidad de alimentación, los espesores, dimensiones de las piezas, entre otros, también fue obtenida numéricamente.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población de la investigación

Hernández et al. (26) establecen que la población de una investigación corresponde al conjunto de sujetos que comparten una variable de estudio, que a su vez, fue analizada. Dentro de una investigación, es posible encontrar poblaciones que requieren muestras estadísticas para validar la información del análisis de sus variables. Sin embargo, no existe un límite con respecto a la cantidad de individuos que pueden pertenecer a este conjunto llamado población.

Con respecto a la presente investigación, se plantea que la trituradora engloba a la población estudiada. A pesar de ser un elemento intangible, la información recolectada representa al sujeto de estudio de la presente investigación, la cual se trata del diseño de dicha máquina. Dentro de la máquina existen sistemas conformados por diferentes piezas mecánicas.

En resumen, la población del presente documento estuvo sujeta a la trituradora, así como, a los sistemas que la componen. Dentro de la trituradora, los elementos considerados son el sistema de trituración, sistema de transmisión de potencia y sistema de soporte.

4.3.2. Muestra de la investigación

La muestra de una investigación corresponde a los sujetos, seleccionados de una población ya establecida, sobre los cuales es más factible realizar una investigación o análisis de una variable. Al seleccionar una muestra se obtiene un margen de error, hablando estadísticamente, por lo que es necesario constatar este error bajo ciertas condiciones, para así seleccionar una muestra correcta (26).

Ya que la población para el presente estudio constó de un solo sujeto, se ha considerado seleccionar dicho sujeto como la muestra. Esto también puede significar que no existe una muestra para la investigación, ya que el objeto de estudio representa, a su vez, la muestra. En cualquier caso, se establece que si un investigador evita seleccionar aleatoriamente su muestra, entonces está haciendo uso de un muestreo intencional (26).

El tipo de muestreo intencional no es confiable cuando se trata de valores que requieren pruebas estadísticas. Sin embargo, el estudio no aplicó estadística descriptiva o inferencial para contrastar sus hipótesis. De este modo, se pudo confiar en que es posible seleccionar al objeto de estudio como población y muestra.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas de recolección de datos

Si bien, autores como Hernández et al. (26), establecen que existen diversas técnicas de recolección de datos como las entrevistas o las encuestas. La aplicación de dichas técnicas no representa el enfoque para el diseño en ingeniería. Entonces, se establece que existen dos técnicas, la primera, denominada como documental; y la segunda, empírica.

La investigación se desarrolló a partir de la observación del objeto de estudio. Este objeto de estudio requiere recopilar información a partir de los requerimientos y teorías de diseño necesarias para hallar las características de diseño de los sistemas considerados. Por ende, la técnica aplicada fue la documental, que tiene como objetivo reunir información de libros, revistas, entre otros; para contrastar una hipótesis o alcanzar una hipótesis a partir de la deducción.

El proceso para conseguir esto inicia mediante la especificación de los requerimientos de la máquina. Logro que se alcanza al entrevistar al cliente o industria cliente para quien se desarrolla el diseño. También es necesario determinar la teoría de diseño que mejor se adecua a las necesidades, por lo que es necesario estudiar diversos métodos o fundamentos de diseño para la máquina. Finalmente, se propone desarrollar las ecuaciones pertinentes para alcanzar dar valor a las dimensiones de los componentes que conformaron los sistemas planteados para diseñar.

4.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Entre los instrumentos considerados como pertinentes para el desarrollo documental, deben seleccionarse a partir de un fin, el cual es ordenar de mejor manera la información recolectada. Entre las alternativas, pueden usarse fichas documentales o fichas de registro de información. Para la presente investigación se plantean utilizar ambos, ya que fue necesario establecer una calificación para los datos e información recopilada.

Las fichas documentales se aplican para determinar el valor de las teorías de diseño. De tal modo que, a partir de la experiencia del investigador, se pueda determinar cuál se acomoda mejor a las necesidades del diseño. Esto permitió lograr un diseño final más eficiente, ya que estuvo orientado a suplir los requerimientos descritos inicialmente.

Las fichas de registro de información, que pueden ser tablas de información, tablas de contraste, contuvieron información de las necesidades que la máquina debe de suplir para la industria cliente. Por otro lado, las tablas de contraste sirvieron para calificar las alternativas

que la norma VDI 2221 considera útiles al momento de llegar a un diseño eficiente. Entonces, los planos finales pueden ser considerados un registro de información, ya que aquí se resume el desarrollo de la investigación al especificar las dimensiones recomendadas para los componentes diseñados.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE UNA TRITURADORA

5.1. Diseño por metodología

5.1.1. Comprensión de la solución

5.1.1.1. Estado de la tecnología

Actualmente, las trituradoras de plástico PET o cortadoras de plástico PET tienen diferentes configuraciones que dependen principalmente de la magnitud de producción que se desee alcanzar, el tipo de hojuela que se requiera del producto, por ejemplo. Además, también existen características condicionantes que se deben considerar, como la potencia de la máquina que depende de la cantidad de material que se pretenda introducir en la máquina.

Las tecnologías que utilizan para lograr convertir un conjunto de PET en hojuelas de PET son diversas. Por ejemplo, el uso de cuchillas separadas mediante espaciadores para obtener un tamaño de hojuela específico. Estas cuchillas pueden encontrarse en presentaciones de doble o cuádruple eje, inclusive usando un solo eje. Estas cuchillas necesitan estar afiladas, y tener un ángulo de ataque que permita cortar los residuos de PETS.

El uso de cuchillas es la solución más convencional para la trituración de PET. La variación que los diseñadores realizan depende de la cantidad de ejes utilizados, así como, del tipo de transmisión que se utiliza. Es decir, es posible utilizar dos ejes, o incluso cuatro, impulsados por engranajes, también es posible utilizar poleas, pero su uso trae más inconvenientes con respecto a la cantidad de ejes mayores a uno.

Con respecto a los materiales utilizados, es común el uso del acero AISI 1040 para diferentes elementos, como el eje, e inclusive para las cuchillas. Aunque también es posible

encontrar otros como el AISI 4140, para dotar de mejores propiedades mecánicas a las cuchillas. Por otro lado, el uso del acero ASTM A36 tiene como objetivo permitir que el bastidor y la estructura sean resistentes. El tipo de soldadura puede ser multipropósito, especificando que se utilicen electrodos E6011 o 7011, dependiendo de la magnitud de la producción.

5.1.1.2. Lista de exigencias

Esta lista comprende los requerimientos que el cliente considera son necesarios para el producto. Ya que se considera a la máquina como el producto que la industria del reciclaje en el valle del Mantaro, las características especificadas corresponden a las partes, sistemas o a la máquina. La descripción de estas propiedades se describe dependiendo de ciertos elementos, como la función principal de la máquina, la geometría de la misma, entre otros puntos.

A continuación, se presentan las propiedades que debe cumplir la máquina especificando la prioridad de las mismas, así como, una descripción de dichos elementos.

Tabla 4. Lista de exigencias del proyecto

Lista de exigencias		Pág. 1 de 1	
		Edición: Rev. 1	
Proyecto:	Diseño de una trituradora para obtener hojuelas de PET reciclado en el valle del Mantaro	Fecha: 28/10/2022	
Cliente	Industrial del reciclaje en el valle del Mantaro	Revisado por: Bach. Z. A. Y. L.	
		Elaborado por: Bach. Z. A. Y. L.	
Prioridad	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
		Función principal:	
1	E	Disminuir el tamaño de los residuos de PET hasta convertirlos en hojuelas de tamaño de partícula no mayor a 12 milímetros y no menor a 10 milímetros.	Bach. Z. A. Y. L.
		Geometría:	
2	E	La máquina debe de utilizar el espacio que la conforma eficientemente, de tal manera que los componentes no estén sobredimensionados a menos que el diseño de seguridad lo condicione.	Bach. Z. A. Y. L.
		Fuerza:	
3	E	Es necesario que la máquina posea la energía suficiente para triturar cuatro toneladas por día (10 t/día) de residuos de PET.	Bach. Z. A. Y. L.
		Energía:	
4	E	Los componentes relacionados al sistema de trituración deben de estar impulsados por energía eléctrica, sin que el operador tenga que intervenir.	Bach. Z. A. Y. L.
		Seguridad:	
5	E	El operador de la máquina no debe de intervenir en ninguno de los trabajos de trituración o tamizado. Debe de contarse con un protector para los componentes móviles.	Bach. Z. A. Y. L.

		Ergonomía:	
6	E	El operador de la máquina debe de estar protegido de los elementos móviles. El encendido y apagado de la máquina debe de utilizar un panel de control.	Bach. Z. A. Y. L.
		Fabricación:	
7	E	La fabricación de los componentes debe permitir que la industria de producción local pueda construir la máquina en su totalidad.	Bach. Z. A. Y. L.
		Materiales:	
8	E	Los materiales aplicados para la fabricación y ensamblaje de la máquina deben encontrarse en el mercado local.	Bach. Z. A. Y. L.
		Montaje:	
9	E	Los elementos móviles deben estar asegurados mediante un bastidor que permita su desmontaje para actividades de mantenimiento.	Bach. Z. A. Y. L.
		Uso:	
10	E	El reconocimiento de funciones de la máquina debe ser intuitivo. Además de contar con un instructivo fácil de entender. Los elementos o partes que podrían representar un riesgo deben estar señalizados.	Bach. Z. A. Y. L.
		Costos:	
11	E	El costo de fabricación, montaje y mantenimiento debe corresponder al mercado de este tipo de máquinas al 2022.	Bach. Z. A. Y. L.
		Transporte:	
12	D	Los elementos que componen la máquina deben permitir que el transporte de la máquina se realice luego de un desensamble completo.	Bach. Z. A. Y. L.
		Mantenimiento:	
13	D	El desmontaje de la máquina debe permitir que el mantenimiento de los componentes sea de fácil acceso. El costo de las actividades de mantenimiento debe corresponder a dicho mercado al 2022.	Bach. Z. A. Y. L.
		Reciclaje:	
14	D	El fabricante debe especificar el tipo de disposición que requieran los componentes de la máquina, así como, de los aceites, lubricantes, y otros agregados que se puedan utilizar.	Bach. Z. A. Y. L.

5.1.2. Concepto de solución

5.1.2.1. Abstracción de la solución

Se consideran los puntos descritos en la lista de exigencias para realizar la abstracción de la solución. Así, se pudo conectar los requerimientos junto con las características que los sistemas de la máquina para obtener la solución más adecuada para conseguir el producto deseado. Finalmente, se pudo describir las partes, componentes, o sistemas para su posterior cálculo y detalle de propiedades.

La máquina debe permitir el ingreso de plástico PET, que normalmente se encuentra en presentaciones de envases; la medida promedio de estas botellas puede alcanzar los 50 centímetros. Además, cabe señalar que la máquina no considera la limpieza del plástico PET,

por lo que será necesario que este proceso se realice antes de alimentar a la máquina. Luego de que la máquina procese el material deben entrar hojuelas de PET de un radio de 12 milímetros aproximadamente. Será necesario realizar un tamizado posterior para separar las hojuelas cuyo tamaño puedan ser menores a dicha medida.



Figura 2. Caja negra de la solución

Un motor eléctrico debe ser considerado para dar potencia a la máquina. Dicho elemento debe estar controlado por un panel de botones para encender y apagar a la máquina. Considerar que un botón de apagado de emergencia debe ser instalado. Debido al funcionamiento de la máquina es muy probable que existan vibraciones debido a la trituración, dichas vibraciones no deberían representar un inconveniente para los operadores.

La máquina se ha dividido en sistemas, dichos sistemas fueron seleccionados a partir de la información recolectada, siendo el sistema de transmisión de potencia, sistema de corte y sistema de soporte.

5.1.2.2. Estructura de funciones de la solución

Los sistemas en los que se dividió la máquina cumplen diferentes funciones. Además, cada uno de estos sistemas interactúan con otros, por lo que se realiza una caja blanca para observar dicha interacción. El gráfico siguiente considera el bastidor, algunos componentes de la máquina para conseguir un mejor entendimiento de las piezas seleccionadas y diseñadas.

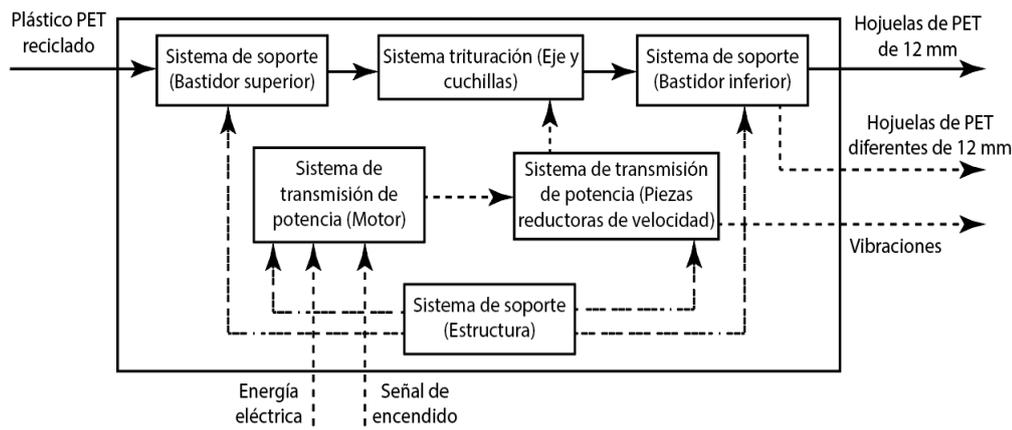


Figura 3. Caja blanca de la solución

El sistema de trituración considera los componentes que reciben la potencia del motor eléctrico para hacer llegar el movimiento necesario a las cuchillas. El sistema de transmisión de potencia incluye al motor eléctrico, los elementos necesarios para reducir o incrementar la velocidad del motor para conducir el movimiento al sistema de trituración. El sistema de soporte debe corresponder al bastidor y a la estructura que soporta a los demás sistemas.

5.1.2.3. Concepto de solución

Al diagramar las funciones y piezas que la máquina requiere, se puede dar un vistazo general a la configuración de la trituradora. La máquina fue alimentada por un conjunto de PET previamente limpiado de tal modo que se obtengan las hojuelas de PET con las medidas requeridas. Un motor eléctrico dará el impulso necesario a los componentes, dicho motor requiere energía eléctrica y una señal de encendido proveniente de un botón. Es posible que la trituración de la máquina entregue hojuelas de tamaños no deseados, por lo que es necesario tamizar dichas partículas. El funcionamiento de la máquina habrá de generar vibraciones, que deben de ser mitigadas en parte por el sistema de soporte.

Un bastidor superior, parte del sistema de soporte, recibirá al plástico PET para que pueda pasar hasta un espacio donde unas cuchillas montadas sobre uno o varios ejes realizarán el corte del material. El plástico PET, ahora convertido en hojuelas, llegará hasta un espacio conformado por el bastidor inferior, donde fue recibido por el operador. Finalmente se tendrán hojuelas del tamaño indicado, además de un grupo de hojuelas que pueden ser de menor tamaño, por lo que es posible considerar un elemento de tamizado. La lista de exigencias no requiere este elemento, es probable que el cliente cuente con un área para realizar esta función; sin embargo, se evaluará el diseño de dicho elemento.

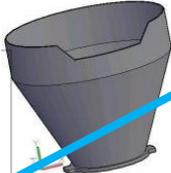
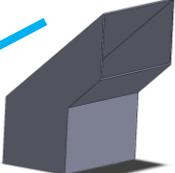
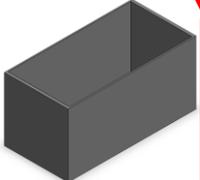
Un motor eléctrico, alimentador por energía proveniente del suministro eléctrico doméstico fue encendido por medio de un botón. Se considera que la velocidad del motor necesite ser disminuida, por lo que analizar el diseño o selección de componentes de reducción de velocidad es importante. Entre las opciones, pueden ser posibles utilizar poleas, engranajes rectos, o una combinación de engranaje con tornillo sin fin. Luego de disminuir la velocidad, es necesario que uno o varios ejes reciban la potencia transmitida para dar movimiento a una serie de cuchillas montadas sobre estos ejes.

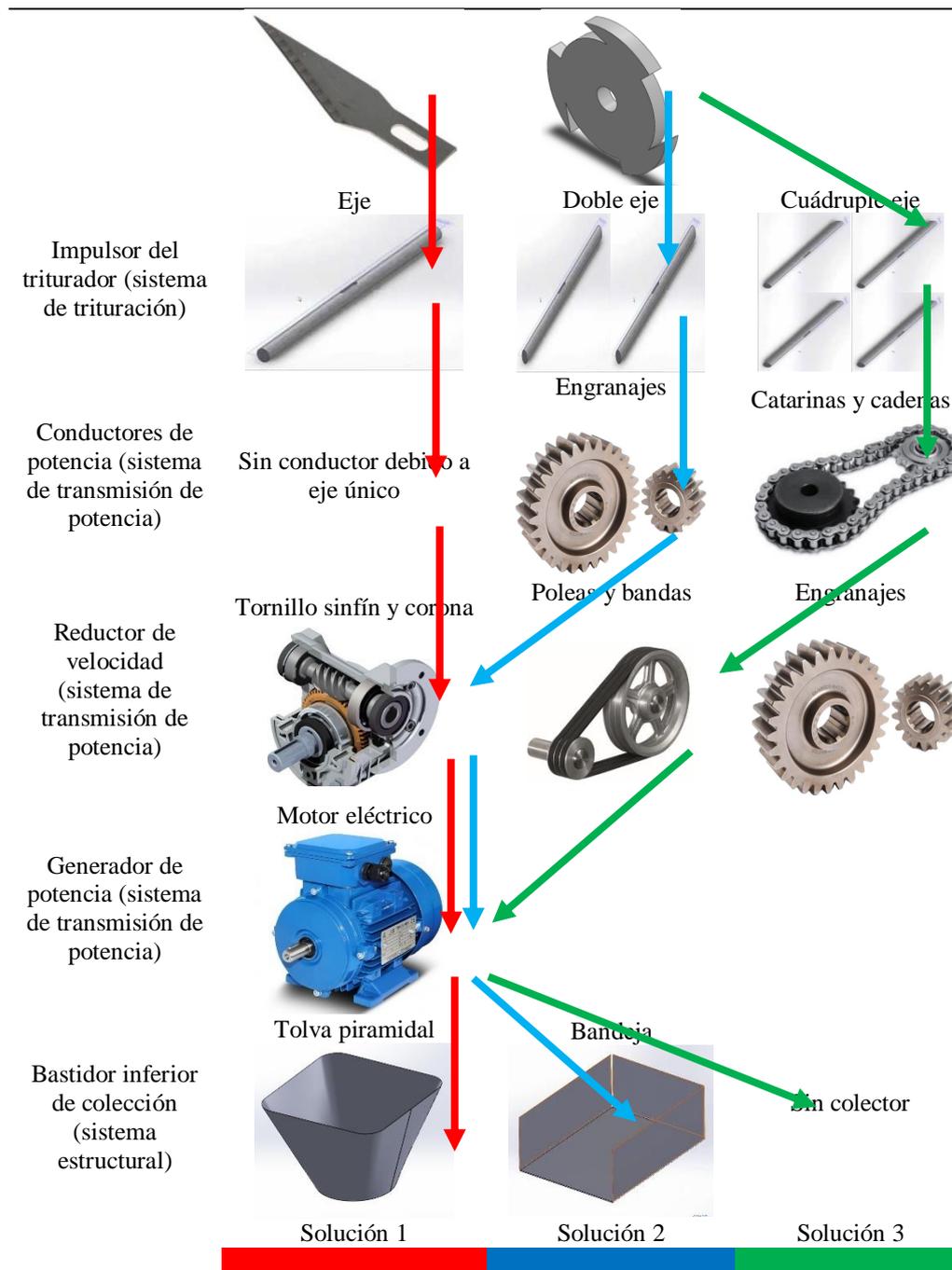
Se acota que la estructura, elemento del sistema de soporte, fue diseñada a partir del peso de los demás elementos. Esto para contrastar tolerancias consideradas por otros investigadores de tal modo que el balanceo de los elementos sea el más indicado.

5.1.2.4. Matriz morfológica

Una vez establecidos los sistemas, las piezas y los componentes que requieren ser diseñados o seleccionados, es posible entonces, realizar un listado de dichas partes para dar ciertas opciones. Sugeridas las alternativas, se traza un camino para conseguir tres posibles soluciones a partir de una combinación que se denominan como soluciones.

Tabla 5. Matriz morfológica de la máquina

Matriz morfológica			Pág. 1 de 1
			Edición: Rev. 1
			Fecha: 10-5-2022
Proyecto	Diseño de una trituradora para obtener hojuelas de plástico PET		Revisado por: Bach. Z. A. Y. L.
Cliente	Industria del reciclaje de la región centro del Perú.		Elaborado por: Bach. Z. A. Y. L.
Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Tolva piramidal	Tolva cónica	Tolva inclinada
Bastidor de alimentación (sistema estructural)			
	Bastidor rectangular	Bastidor cuadrado	
Bastidor del área de trituración (sistema estructural)			
Elemento de trituración (sistema de trituración)	Cuchilla fina	Cuchilla radial	



Se tiene en cuenta que ciertos elementos, como el motor, son establecidos dentro de la tabla a continuación con solo una alternativa: un motor eléctrico. Esto debido a que el cliente establece que es necesario utilizar dicho elemento como parte del diseño de la máquina.

5.1.2.5. Descripción de soluciones

Solución 1:

La primera solución presenta una tolva piramidal para alimentar la zona de trituración cuyo bastidor es rectangular. Dentro de este bastidor se acomoda un grupo de cuchillas finas que funcionan por medio de un impulso sobre un eje único. Este eje recibe potencia de un

reductor de velocidad conformado por un tornillo sinfín y una corona que, a su vez, recibe potencia desde un motor eléctrico. Finalmente, luego de que el proceso de trituración haya ocurrido, las hojuelas de PET son recogidas por medio de una tolva piramidal para entregarla al operador.

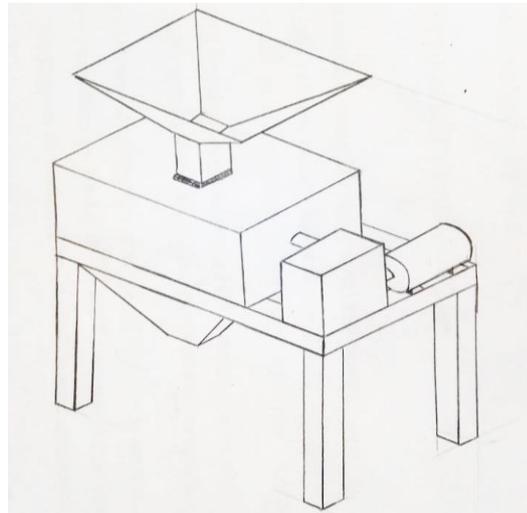


Figura 4. Bosquejo de la solución 1

Solución 2:

En la solución dos, el plástico reciclado PET ingresa a través de una tolva inclinada cayendo hacia un bastidor rectangular que protege un grupo de cuchillas radiales montada sobre dos ejes. Si bien los ejes son gemelos, la distribución de las cuchillas encajen entre sí. Los dos ejes reciben la potencia de un motor eléctrico cuyas revoluciones han sido disminuidas a partir del uso un reductor de tornillo sinfín. Además, estos ejes giran en sentido contrario, gracias a dos engranes que se conducen entre sí. Finalmente, luego de que el proceso de triturado haya finalizado, una bandeja conduce el material para que el operador pueda almacenarlo. La máquina está sujeta a partir de una estructura metálica.

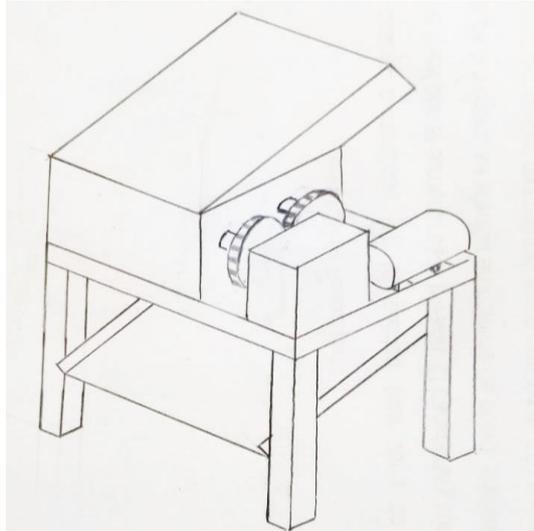


Figura 5. Bosquejo de la solución 2

Solución 3:

La tercera solución propone el uso de una tolva cónica que conduce el plástico PET hacia un bastidor cuadrado donde cuatro ejes que sirven de asiento para diversas cuchillas radiales ejecutan el proceso de triturado. Los ejes aprovechan la potencia de un motor eléctrico que reduce sus revoluciones por medio de un conjunto de poleas y bandas para luego pasar hacia un grupo de catarinas y cadenas para mover los cuatro ejes. El giro de los ejes permite que el material se conduzca hacia las cuchillas. Finalmente, el material triturado cae por gravedad y es conducido por una bandeja de salida para que el operador lo reciba.

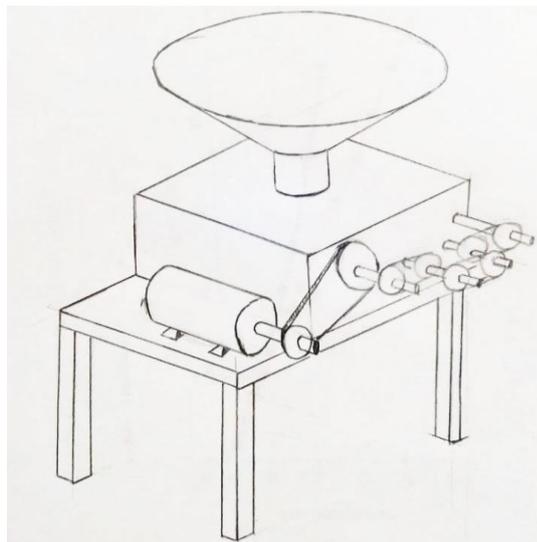


Figura 6. Bosquejo de la solución 3

5.1.2.6. Selección de la solución óptima

Para evaluar las soluciones se plantea una observación técnica y otra económica a partir del punto de vista y experiencia del diseñador. Esta evaluación se realiza por medio de un

contraste de propiedades con respecto a la matriz morfológica, donde las soluciones son calificadas. Además, la evaluación económica recolectará ciertos costes de las funciones de las máquinas para ser examinadas.

La norma utilizada, es decir, la norma VDI da un alcance de los valores que se puede utilizar al calificar a las soluciones. Se pueden utilizar puntuaciones del 1 al 10 para calificar la solución y cómo ésta se desenvuelve, además de un valor de 1 a 4 para considerar la importancia de las funciones que debe cumplir la máquina.

Finalmente, se presentan cuadros donde se muestran los valores para poder realizar un gráfico de dispersión y ubicar las puntuaciones finales obtenidas por cada una de las soluciones.

Tabla 6. Evaluación técnica para las alternativas del proyecto

		Evaluación técnica								
Variantes de concepto		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N.º	Función	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Función principal	10	3	30	4	40	4	40	4	40
2	Geometría	9	3	27	4	36	3	27	4	36
3	Fuerza	9	3	27	3	27	3	27	4	36
4	Energía	9	2	18	3	27	3	27	4	36
5	Seguridad	9	2	18	4	36	3	27	4	36
6	Ergonomía	9	3	27	3	27	3	27	4	36
7	Fabricación	9	4	36	3	27	1	9	4	36
8	Materiales	8	4	32	4	32	2	16	4	32
9	Montaje	8	2	16	3	24	1	8	4	32
10	Uso	8	3	24	4	32	3	24	4	32
11	Costos	7	3	21	4	28	2	14	4	28
12	Transporte	7	3	21	3	21	2	14	4	28
13	Mantenimiento	7	4	28	3	21	2	14	4	28
14	Reciclaje	7	2	14	4	28	3	21	4	28
	Puntaje		41	339	49	406	35	295	56	464
	Valor técnico			0.731		0.875		0.636		1

De la tabla, se pueden observar las puntuaciones dadas para las funciones consideradas en la lista de exigencias. Así también, una calificación para cada una de las alternativas y cómo éstas se desenvuelven con respecto a dichas funciones.

En el caso de la solución uno, con un puntaje de 0,731; esta calificación fue obtenida ya que si bien la alternativa de usar cuchillas facilitaría ciertos aspectos de producción. El desgaste del filo debido a la alta demanda de producción causaría paradas constantes. La

alternativa dos alcanzó un puntaje de 0,636; debido principalmente a que la configuración propuesta utiliza cuatro ejes. Si bien la eficiencia de producción sería mayor, también lo sería el coste de producción y mantenimiento, además de que la gran cantidad de piezas incrementaría los tiempos de mantenimiento. Finalmente, la solución tres, tuvo una calificación de 0,875; puntaje obtenido ya que es la que mejor se acomoda a las necesidades del cliente. Al usar dos ejes, se mejora la producción, la eficiencia de corte, además de que la cantidad de piezas a fabricar no es tan grande a diferencia de utilizar cuatro ejes.

Tabla 7. Evaluación económica para las alternativas del proyecto

Evaluación económica										
Variantes de concepto		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N.º	Función	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costo de materiales	10	4	40	3	30	3	30	4	40
2	Costo de fabricación	10	4	40	3	30	2	20	4	40
3	Costo de mantenimiento	9	3	27	3	27	2	18	4	36
4	Costo de uso	9	2	18	4	36	3	27	4	36
5	Costo de mano de obra	8	3	24	3	24	3	24	4	32
6	Costo de transporte	7	3	21	3	21	2	14	4	28
	Puntaje		19	170	19	168	15	133	24	212
	Valor técnico			0.802		0.792		0.627		1

Dentro de la evaluación económica, se tiene que la solución de menor calificación fue la tercera. Como se expuso, la disposición de esta solución utiliza cuatro ejes con cuchillas radiales, lo que incrementa considerablemente el costo de fabricación y de materiales. Además, esto también incrementaría los costos de mantenimiento, aunque disminuyendo la cantidad de incidencias de paradas de máquina. La primera solución tiene una calificación respetable ya que utiliza solamente un eje, sin embargo, distribuir cuchillas finas sobre un solo eje causaría que el desgaste de las herramientas de corte sea bastante rápido, por lo que la incidencia de paradas de máquina para el mantenimiento también sea numerosa.

Por otro lado, la otra alternativa con un puntaje alto fue la solución número dos. Esta solución plantea utilizar dos ejes con cuchillas radiales. Si bien, su costo de fabricación es menor al utilizar menos elementos, la adquisición de un reductor de velocidad de tornillo sinfín eleva un poco el costo de adquisición. La experiencia del diseñador propone que esta configuración podrá dar mayor eficiencia a los costes de producción y mantenimiento en contraste con el coste de fabricación y de materiales.

Para visualizar la distribución de las soluciones y seleccionar una alternativa la norma y especialistas proponen hacer uso de un gráfico de dispersión.

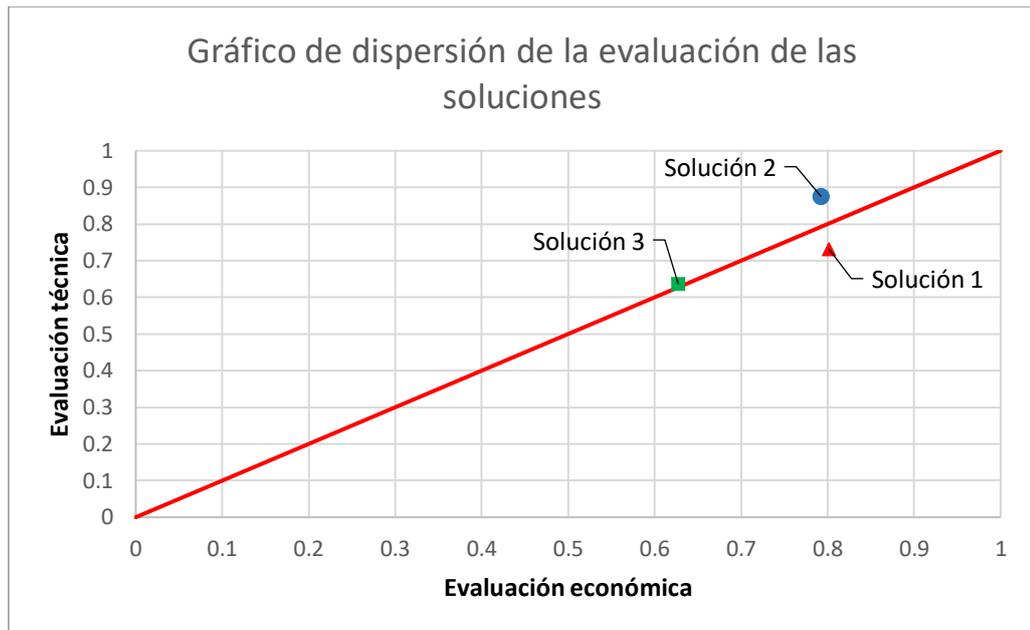


Figura 7. Dispersión para las soluciones

El código de color, visto en la matriz morfológica, también puede verse dentro del gráfico. Por lo que se puede decir que la solución dos, es la que mejor se acomoda a las necesidades del cliente. Si bien la primera solución se distribuye de manera similar que la segunda, esta no tiene una calificación técnica tan relevante. La única alternativa que no posee una calificación con la que competir es la tercera solución. Así, se selecciona la alternativa número dos para ser diseñada.

5.1.3. Elaboración del proyecto

5.1.3.1. Diseño preliminar

Se plantea la distribución de doble eje utilizando cuchillas radiales para realizar el corte del plástico. Mediante una caída por gravedad, el bastidor de alimentación permite el ingreso del material hacia el bastidor donde se encuentra el conjunto de ejes y cuchillas. Una distribución inclinada de la tolva hará que el ingreso del plástico sea más ergonómico para el operador, e incluso puede proyectarse la alimentación del material por medio de alguna faja transportadora.

Una vez dentro del bastidor de trituración, dos ejes, cuyos giros son opuestos, sirven de asiento para un conjunto de cuchillas de igual cantidad en sendos ejes. Dichas cuchillas tienen el objetivo de reducir el tamaño del plástico PET. Es posible instalar un tamiz para dejar pasar el material necesario, e incluso dicho tamiz puede ser considerado como un proceso externo realizado por otra máquina. Para el diseño, se presenta un modelo que puede o no incluir un tamiz, es decir, dicho elemento es removible. Finalmente, una bandeja de conducción acopia las hojuelas de plástico PET.

5.1.3.2. Diseño definitivo

Es posible diseñar el bastidor superior con la tolva inclinada de tal forma que pueda ser extraíble, es decir, utilizar un borde para ser empernado hacia el bastidor de trituración. El espesor probable puede encontrarse entre 2 y 3 milímetros. El bastidor de trituración requiere de una mayor estabilidad, por lo que se considera un espesor de 4 y 5 milímetros. Los ejes de trituración requieren de un material acorde al mercado, por lo que se selecciona el acero SAE 1045. Es posible utilizar el mismo material para las cuchillas radiales, por lo que se plantea el estudio a partir de este material.

La reducción de velocidad se aplica por medio de un sistema reductor de tornillo sinfín, por lo que no fue necesario diseñar también una guarda protectora para este sistema. Para conseguir el giro opuesto de los ejes, estos estarán conectados por dos engranes; sin embargo, este par de engranes requiere de una guarda, esta puede estar empernada a un lado de la máquina a partir de una malla metálica o una plancha de 2 milímetros. El motor eléctrico es seleccionado a partir de la potencia requerida en la máquina.

Finalmente, la estructura de la máquina se diseña a partir del peso que debe soportar y de la altura y las distancias necesarias entre las poleas del motor y el eje conducido. Es posible utilizar acero ASTM A36, ya que es comercial y fácil de cortar y soldar. Para seleccionar el tipo de perfil se pueden aplicar límites de deformación con respecto a la distancia del perfil que se pretende utilizar.

5.2. Desarrollo matemático

5.2.1. Cálculo de potencia y trituración

Se plantea el inicio del cálculo a partir de una expresión matemática que indica la capacidad de trituración:

$$\frac{C_t}{r} = 4 \times A_C \times N_e \times N_c \times t_c \times \rho \quad (4)$$

Donde

$\frac{C_t}{r}$: capacidad de corte por revolución $\left(\frac{kg}{rev}\right)$

A_C : área de corte de la cuchilla (cm^2). Valor aproximado para el cálculo a $4 cm^2$ para una cuchilla de $4 cm \times 1 cm$

N_e : número de ejes. Se consideran dos ejes

N_c : número de cuchillas. Valor considerado del diseño de 12 cuchillas

t_c : espesor de la cuchilla (cm). Aproximado a una cuchilla de $12 mm$

ρ : densidad del material $\left(\frac{kg}{cm^3}\right)$. Valor de densidad del PET de $1,38 \frac{g}{cm^3}$

Así, se resuelve:

$$C_{\frac{t}{r}} = 4 \times 6,5 \times 2 \times 12 \times 2 \times 0,00138 = 0,6359 \frac{kg}{rev}$$

La capacidad de trituración está dada por un valor de eficiencia de trituración multiplicado por la capacidad de trituración por revolución.

$$C_{tritur} = e \times C_{\frac{t}{r}} \times n \quad (5)$$

Donde

C_{tritur} : capacidad de trituración $\left(\frac{tn}{h}\right)$. El valor de diseño de la máquina considera 10 toneladas por día. Es decir, $10 \frac{t}{día} \times \frac{1 \text{ día}}{6 \text{ horas de trabajo}} = 1,667 \frac{t}{h}$

e : eficiencia de trituración. Es común utilizar un valor de 0,8 para este tipo de máquinas.

$C_{\frac{t}{r}}$: capacidad de trituración por revolución $\left(\frac{kg}{rev}\right)$

n : velocidad angular de los ejes

Entonces, se resuelve para la información propuesta:

$$5 \frac{kg}{h} = 0,8 \times 1,06 \frac{kg}{rev} \times n$$
$$\therefore n = 3276,176 \frac{rev}{h} = 54,603 \frac{rev}{min}$$

Se ha propuesto una velocidad de $54,603 \text{ rpm}$ para el eje donde se sientan las cuchillas radiales, valor que fue posible redondear hasta 60 rpm , dependiendo del tipo de motor seleccionado. Los sistemas reductores de tornillo sinfín funcionarán correctamente con la velocidad radial considerada. Se puede decir que fue posible adquirir este sistema en conjunto con un motor eléctrico sin variar en demasía los valores numéricos dados.

Para el ángulo de corte se plantea:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \gamma_0}{\frac{h_c}{f} - \sin \gamma_0} \right) \quad (6)$$

Donde

h_c : espesor de la viruta (m). Para el espesor de 5 milímetros

f : alimentación. Se establece un valor aproximado de 4,75 milímetros que representa el límite estimado del tamaño menor de las hojuelas de plástico comerciables (50 % de 3/8")

γ_0 : ángulo de inclinación de la herramienta. Se plantea un cálculo inicial para un ángulo de 18°

Resolviendo:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\cos 18}{\frac{5}{4,75} - \sin 18} \right) = 51,979^\circ$$

Se calcula la fuerza de fricción (F_W) y fuerza de corte (F_C) a partir del ángulo de corte conseguido de la ecuación anterior:

$$F_W = C \times b \times f \times \left[\frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \times \sin^2 \varphi} \times \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \sin \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right]$$

$$F_C = \frac{C \times b \times f}{n + 1} \times \left[\left(\frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \sin \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} \right] + \frac{F_W \times \sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)}$$

Donde

C : tensión específica $\left(\frac{N}{mm^2} \right)$. Valor equivalente a 80 $\frac{N}{mm^2}$ para PET

n : exponente de endurecimiento por deformación. Valor equivalente a 0,346 para PET

γ_0 : ángulo de inclinación de la cuchilla. Se plantea un cálculo inicial para un ángulo de 18°

φ : ángulo de corte. Estimado a 51,979°, a partir de la ecuación anterior

b : ancho de corte. Equivalente a 2 mm, espesor del material para triturar

f : ancho de alimentación. Igual a 4,75 milímetros

Aplicando la información en las ecuaciones:

$$F_W = 80 \times 2 \times 4,75 \times$$

$$\left[\frac{\cos(2 \times 51,979 - 18)}{\sqrt{3} \times \text{sen}^2 51,979} \times \left(\frac{\cos 18}{\sqrt{3} \times \text{sen} 51,979 \times \cos(51,979 - 18)} \right)^{0,346} \right]$$

$$F_W = 46,935 \text{ N}$$

Del mismo modo se resuelve para la fuerza de corte:

$$F_C = \frac{80 \times 2 \times 4,75}{0,346 + 1} \times \left[\left(\frac{\cos 18}{\sqrt{3} \times \text{sen} 51,979 \times \cos(51,979 - 18)} \right)^{0,346+1} \right] + \frac{46,935 \times \text{sen} 51,979}{\cos(51,979 - 18)}$$

$$F_C = 491,5 \text{ N}$$

El torque necesario para que las cuchillas puedan funcionar se calcula a partir del radio y la cantidad de las mismas. Para un radio de 12 centímetros y un número de 12 cuchillas en cada eje.

$$T = F_C \times r \times N$$

$$T = 491,5 \text{ N} \times 0,1 \times 12 = 589,8 \text{ N} - m$$

Finalmente, se calcula la potencia del motor que fue necesario. Es posible colocar un valor representativo superior a las revoluciones por minuto calculadas a favor de conseguir una potencia por encima del valor teórico exacto. Siendo el valor de rpm teórico equivalente a 54,603; se propone manejar este valor hasta 60 revoluciones por minuto.

$$P = T \times \omega \quad (7)$$

Donde

P : potencia requerida (W)

T : torque para impulsar la máquina ($N - m$)

ω : velocidad radial de la máquina (rpm)

Aplicando la información dentro de la ecuación:

$$P = 589.8 \text{ N} \cdot \text{m} \times 60 \text{ rpm} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$P = 3705,83 \text{ W} = 3,706 \text{ kW}$$

$$P = 3705,83 \text{ W} \times \frac{1 \text{ HP}}{7745,7 \text{ W}} = 4,97 \text{ HP}$$

La potencia teórica necesita ser ajustada a partir de la eficiencia en los motores eléctricos. Un valor de 0,8 puede conseguir adaptar dicha potencia para poder seleccionar entre motores monofásicos y trifásicos.

$$P_S = \frac{P_T}{\eta} \quad (8)$$

Donde

P_S : potencia de servicio (kW)

P_T : potencia teórica (kW)

η : eficiencia del motor

Se calcula:

$$P_S = \frac{4,97 \text{ HP}}{0,8} = 6,212 \text{ HP}$$

Una vez determinada la potencia para la selección del motor eléctrico, se puede buscar el motor que mejor se acomode a las necesidades. Dentro del catálogo Simotics. En el portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo se encuentra el motor eléctrico trifásico de II polos con 3510 rpm cuyo código es 1LE0141-1BA86-4AA4. Dicho motor tiene 5,5 kW de potencia, o también, 7,5 HP; con un peso de 45 kilogramos. Un cuadro de selección se puede ver en los anexos del presente documento.

5.2.2. Cálculo de los elementos de transmisión de potencia

La transmisión de potencia considera la selección o diseño de los componentes que se encargarán de transmitir la energía desde el generador de potencia hasta el último punto de apoyo o el último elemento de trabajo. Se inicia considerando la potencia por transmitir, que es de 5,5 kW; valor obtenido de la selección del motor. Se realiza un gráfico de distribución de

componentes para observar la línea de transmisión que seguirá la potencia mecánica entregada por el motor eléctrico.

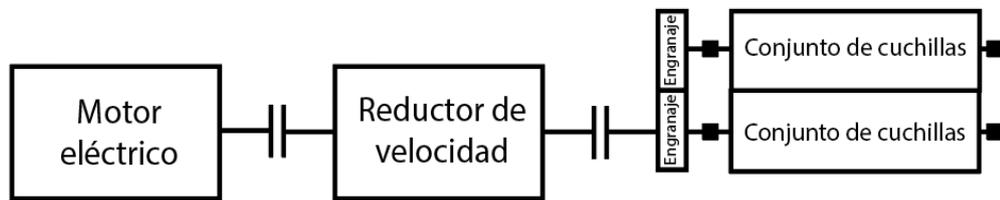


Figura 8. Distribución de componentes en la transmisión de potencia

Si bien ya se ha seleccionado el motor, el segundo paso consta en seleccionar el reductor de velocidad. Tal como se indicó en la matriz morfológica, la configuración de la alternativa seleccionada utiliza un tornillo sinfín y engrane para conseguir la reducción de velocidad. Esto se contrasta con el alto margen de reducción de rpm, el motor con 3510 rpm y la velocidad necesaria máxima con 60. Se puede decir que la relación de reducción se da de 60 a 1; obteniéndose un rpm de 58,5. Este último valor se encuentra dentro de los límites considerados.

Cabe acotar que aplicar un conjunto poleas-bandas no sería lo mejor, puesto que el tamaño de los elementos sería difícil de fabricar y utilizar en la máquina. Otra solución sería diseñar una caja reductora a partir de cuatro o más engranajes, sin embargo, el coste de fabricación de estos componentes podría compararse al de adquisición de un motorreductor de tornillo sinfín y corona.

Se plantea la selección de un motorreductor de relación 60:1; para ello se comparan tres productos cuya adquisición comercial sea posible en el mercado regional.

Tabla 8. Comparación del motorreductor

Producto	Descripción	Puntaje
 <p>Motorreductor marca Maissa 60:1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Importación mexicana • Carcasa hecha de hierro fundido • Uso de lubricante ISO VG320 (aceite sintético) y ISO VG460 (aceite mineral). • Factor de servicio acorde al valor establecido en el diseño • Costo por encima al valor acorde al mercado 	8

<p>Motorreductor marca Kraftmann 60:1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Eje de salida en acero C45 • Uso de lubricantes ISO VF320 • Factor de servicio acorde al valor considerado para el diseño • Sin necesidad de importación, se encuentra en el mercado peruano • Potencia permisible de diseño. • Costo acorde al mercado <p style="text-align: right;">9</p>
<p>Motorreductor NMRV 60:1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Importación china • Carcasa construida en aluminio • No especifica tipo de acero o lubricantes • Permite la transmisión de hasta 15 kW • Torque de salida de hasta 1195 N-m • RPM de entrada máxima 3000 • Costo con valor por debajo al acorde al mercado <p style="text-align: right;">7</p>

Entonces, se puede seleccionar el motorreductor de marca Kraftmann de relación 60:1 para continuar con el diseño. Para seguir con la distribución se considera la selección y diseño de los engranes. Se plantea que las cuchillas tienen un radio de 10 centímetros, con espaciadores de 2 centímetros de radio aproximadamente, por lo que la distancia entre centros de los ejes sería de 12 centímetros.

La relación entre los engranajes debe de ser de 1:1 y la distancia entre centros de los mismos es considerada a 12 centímetros. La potencia por transmitir debe ser adaptada para utilizarse en tablas de selección de módulo. Entonces:

$$P_{des} = K_0 \times P \tag{9}$$

Donde

- P_{des} : potencia de diseño
- K_0 : factor de sobrecarga. Valor equivalente a 1 para cargas uniformes
- P : potencia considerada. Obtenida del motor eléctrico, siendo: 5,5 kW

Se resuelve:

$$P_{des} = 1 \times 5,5 \text{ kW} = 5,5 \text{ kW}$$

Con la potencia de diseño, es posible revisar mediante la figura de módulo recomendado. Si bien el gráfico no da valor preciso para rpm cercanas al valor considerado de

58,5; debido al tamaño considerado para la distancia entre centros, se considera el uso de un módulo de 4. Se tiene en cuenta utilizar un perfil de involuta de 20° de profundidad completa.

Con respecto a la cantidad de dientes, fue necesario variar este valor para que no sea menor un número que pueda causar interferencias. El valor límite mínimo es de 18 dientes. Para un módulo de 4, es posible considerar un número de dientes de 30, con lo que se proyecta, permitiría llegar a un valor similar al de la distancia entre centros.

Se resuelve para calcular el diámetro de paso de los engranajes.

$$D_p = N_p \times m \quad (10)$$

Donde

D_p : diámetro de paso

N_p : número de dientes. Valor de diseño igual a 30

m : módulo. Seleccionado de tabla para el presente diseño. Igual a 4

Entonces:

$$D_p = 30 \times 4 = 120$$

$$D_G = 30 \times 4 = 120$$

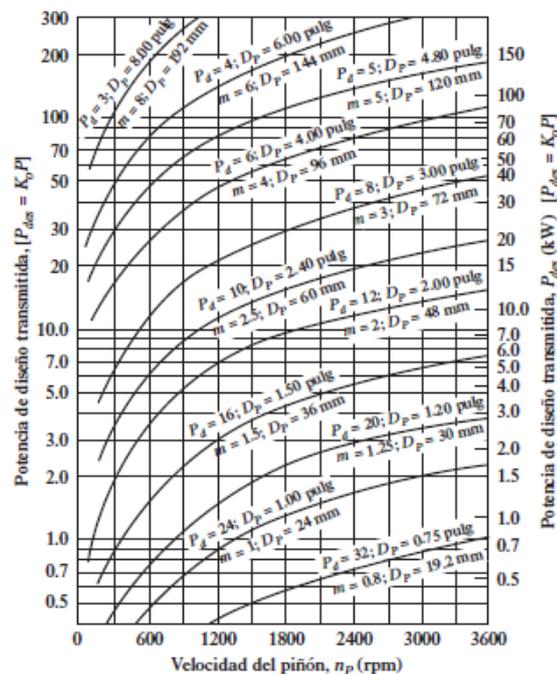


Figura 9. Potencia de diseño transmitida en función de la velocidad del piñón
 Nota: Recogida de Mott (21)

Es necesario comprobar la distancia entre centros, por lo que se realiza la ecuación:

$$C = \frac{(N_P + N_G) \times m}{2} \quad (11)$$

Donde

C : distancia entre centros

N_P : número de dientes del piñón. Valor igual a 30

N_G : número de dientes del engrane. Valor igual a 30

m : módulo. Valor igual a 4

Se calcula a partir de la información propuesta:

$$C = \frac{(30 + 30) \times 4}{2} = 120 \text{ mm}$$

Se calcula la velocidad lineal de los engranes para comprobar que no sea excedente y pueda causar problemas inerciales en la máquina. Siendo los engranajes gemelos, aunque con el sentido de giro opuesto, fue posible calcular cierta información con las mismas ecuaciones.

$$v_t = \frac{\pi \times D_P \times n_P}{60\,000} \quad (12)$$

Donde

v_t : velocidad tangencial del engranaje $\left(\frac{m}{s}\right)$

D_P : diámetro de paso del engranaje (mm). Igual a 120 milímetros

n_P : revoluciones por minuto del engranaje (rpm). Igual a 58,5 rpm

Resolviendo:

$$v_t = \frac{\pi \times 120 \times 58,5}{60\,000} = 0,368 \frac{m}{s}$$

Una vez obtenida la velocidad tangencial de los engranes, es factible conseguir la carga transmitida. Esto se realiza a partir de la ecuación:

$$W_t = 1000 \times \frac{P}{v_t} \quad (13)$$

Donde

W_t : carga transmitida (N)

P : potencia a transmitir por el engrane (kW). Valor igual a 5,5 kW

v_t : velocidad tangencial ($\frac{m}{s}$). Valor equivalente a $0,368 \frac{m}{s}$

Se calcula:

$$W_t = 1000 \times \frac{5,5}{0,386} = 14\,963,28\,N$$

El esfuerzo flexionante en los engranajes se calcula mediante:

$$S_{tP} = \frac{W_t}{F \times m \times J_p} \times K_O \times K_S \times K_B \times K_m \times K_v \tag{14}$$

Donde

J_p : factor J de geometría. Obtenido de la figura de Factor de J de geometría. Valor equivalente a 0,36.

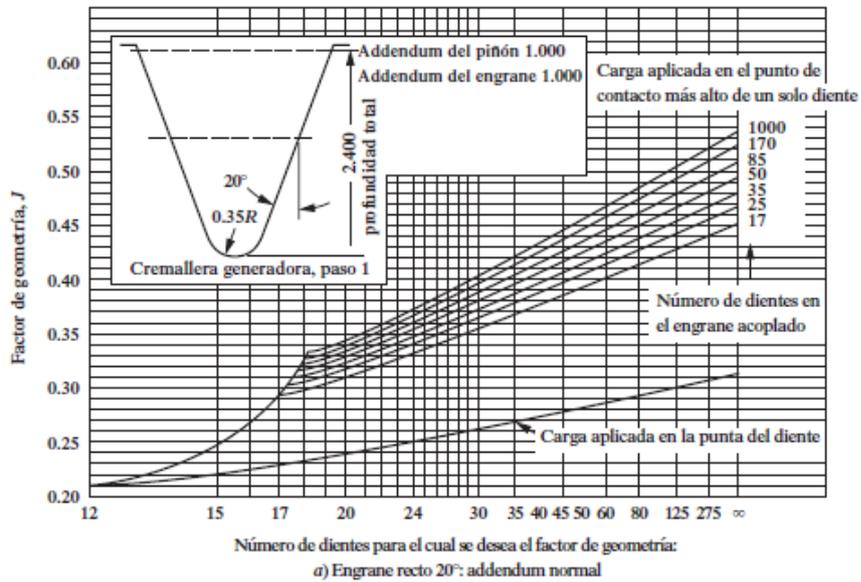


Figura 10. Figura de factor de J de geometría

Nota: Recogida de Mott (21)

W_t : carga transmitida (N)

F : ancho de la cara del diente (mm)

m : módulo. Valor igual a 4

K_O : factor de sobrecarga. Obtenido de la tabla de factores de sobrecarga sugeridos, se considera un factor de sobrecarga de 1.

Tabla 9. Factores de carga sugeridos

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

Nota: Recogida de Mott (21)

K_S : Factor de tamaño. Obtenido de la tabla de tamaños sugeridos, se considera un factor de tamaño de 1.

Tabla 10. Tamaños sugeridos

Paso diametral, P_d	Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_s
≥ 5	≤ 5	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

Nota: Recogida de Mott (21)

K_B : factor de espesor de orilla. Obtenido de la figura de factor de espesor de borde, a partir del cálculo de la relación de respaldo ($m_B = \frac{t_R}{h_t}$). Donde, t_R representa el espesor de orilla y h_t representa la profundidad del diente. Valor equivalente a 1.

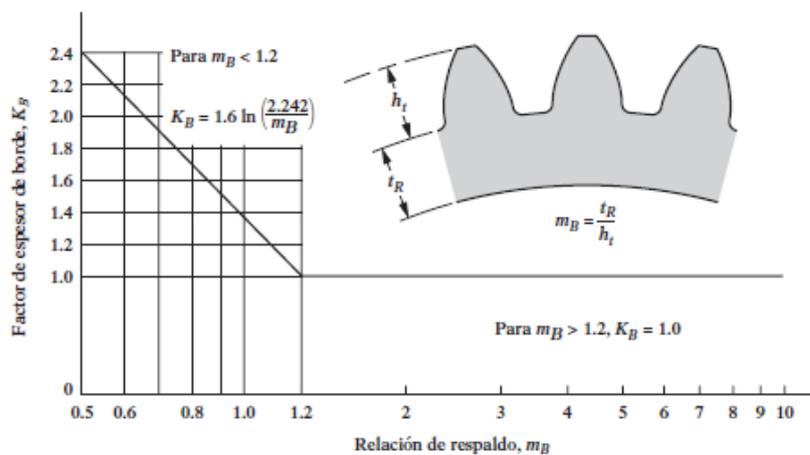


Figura 11. Factor de espesor de borde

Nota: Recogida de Mott (21)

K_m : factor de distribución de carga. Calculado a partir de la ecuación $K_m = 1,0 + C_{pf} + C_{ma}$; donde C_{pf} representa el factor de proporción del piñón; y C_{ma} representa el factor por alineamiento de engranado. Se considera un valor de $K_m = 1,0 + 0,018 + 0,05 = 1,068$.

K_v : factor dinámico. Obtenido de tablas a partir de la precisión de la fabricación de los engranes. Se considera un valor de 1.

Se calcula a partir de los datos considerados:

$$S_{tP} = \frac{14\,963,28}{50 \times 4 \times 0,36} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,068 \times 1 = 221,96 \text{ MPa}$$

$$S_{tP} = 221,96 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ ksi}}{6,895 \text{ MPa}} = 32,19 \text{ ksi}$$

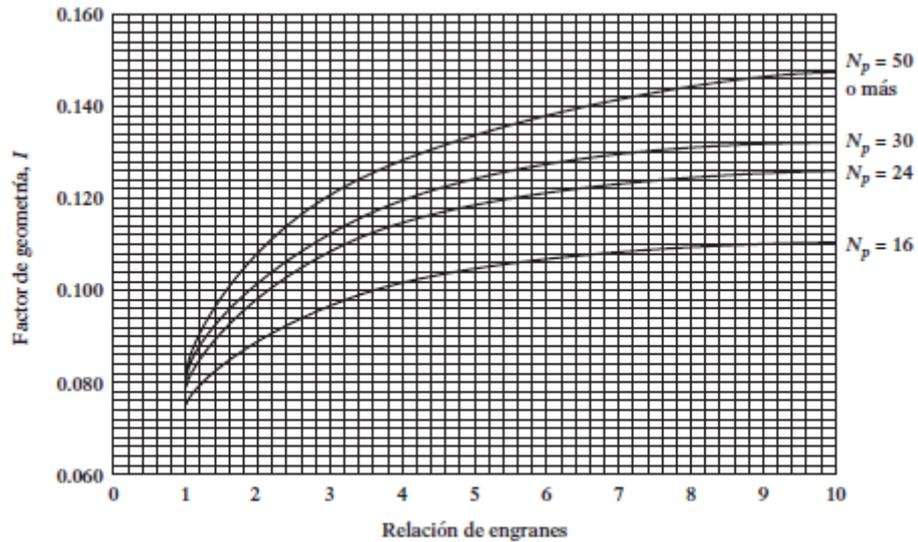
Asimismo, también es necesario calcular el esfuerzo de contacto para finalizar las comprobaciones de cálculo y poder buscar el material correspondiente en tablas. El esfuerzo de contacto se calcula a partir de:

$$s_c = C_p \sqrt{\frac{W_t \times K_o \times K_s \times K_m \times K_v}{F \times D_p \times I}} \quad (15)$$

Donde

C_p : coeficiente elástico (MPa). Valor de 191 MPa para el acero.

I : factor I de geometría. Obtenido de la figura de factor de geometría I. Valor equivalente a 0,08.



a) Ángulo de presión 20°, profundidad completa (addendum normal = $1/P_d$)

Figura 12. Factor de geometría I

Nota: Recogida de Mott (21)

Cabe resaltar que muchos factores utilizados en la ecuación para calcular el esfuerzo flexionante también se aplican en este apartado. Es por lo que no se describe información para W_t ; K_o ; K_s ; K_m ; K_v ; F ; D_p . Los valores de estas variables han sido consignados en la ecuación anterior, por lo que su magnitud fue la misma en este caso.

Se resuelve entonces:

$$s_c = 191 \times \sqrt{\frac{14\,963,28_t \times 1 \times 1 \times 1 \times 1}{50 \times 120 \times 0,08}} = 1066,415 \text{ MPa}$$

$$s_c = 1066,415 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ ksi}}{6,895 \text{ MPa}} = 154,66 \text{ ksi}$$

Al observar tablas de propiedades físicas de materiales, se puede seleccionar una que cumpla con las especificaciones consideradas para los esfuerzos flexionantes y de contacto. El acero AISI 4140 OQT 900 cumple con dichas especificaciones. Siendo el punto de fluencia de dicho elemento 178 ksi para el tratamiento térmico de templado en aceite y revenido.

Se grafica una distribución preliminar para los elementos, de tal manera que se pueda observar su distribución.

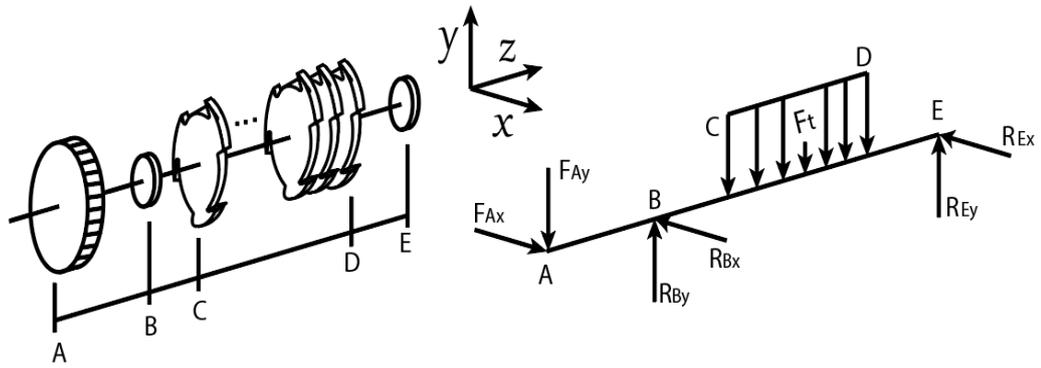


Figura 13. Distribución de piezas sobre el eje

Luego de obtener la configuración de los engranes, es posible calcular las dimensiones que tendrá el eje sobre el cual irán montadas las piezas mecánicas.

A lo largo del eje, existe un engranaje en el punto A. Mientras que el punto B y E representan dos chumaceras. El conjunto de cuchillas, se representa como una carga distribuida desde el punto C al punto D. A partir de esta distribución se plantea el dimensionamiento del eje. Se consideran dimensiones mínimas para los segmentos entre los puntos: AB = 8 cm; BC = 5 cm; CD = 24 cm; DE = 5 cm. Cabe señalar que el extremo A, continúa a cierta distancia para sujetarse al reductor de velocidad.

El torque del sistema es calculado a partir de:

$$T = \frac{63000 \times P}{\omega} = \frac{63000 \times 7,5}{58,5} = 8076,92 \text{ lb} - \text{pulg}$$

Se descompone la fuerza causada por el engranaje:

$$F_{Ay} = W_t = \frac{T}{D} = \frac{8076,92 \text{ lb} - \text{pulg}}{\frac{120 \text{ mm}}{2} \times \frac{1 \text{ pulg}}{25,4 \text{ mm}}} = 3419,23 \text{ lb}$$

$$F_{Ax} = W_r = W_t \times \tan(\phi) = 3419,23 \text{ lb} \times \tan(20^\circ) = 1244,5 \text{ lb}$$

Se realiza un diagrama de cargas, cortante y momento flexionante para los planos YZ y XZ, de tal modo que se puedan calcular las reacciones en las chumaceras y las resultantes de los esfuerzos para conseguir el diámetro del eje.

A partir de los esfuerzos cortantes y flexionantes, es posible aplicar teorías de diseño para ejes y calcular las dimensiones de los escalonamientos de dicho elemento. Se ha

considerado aplicar cinco escalonamientos, para asegurar una fijación completa de las cuchillas, engranes y rodamientos.

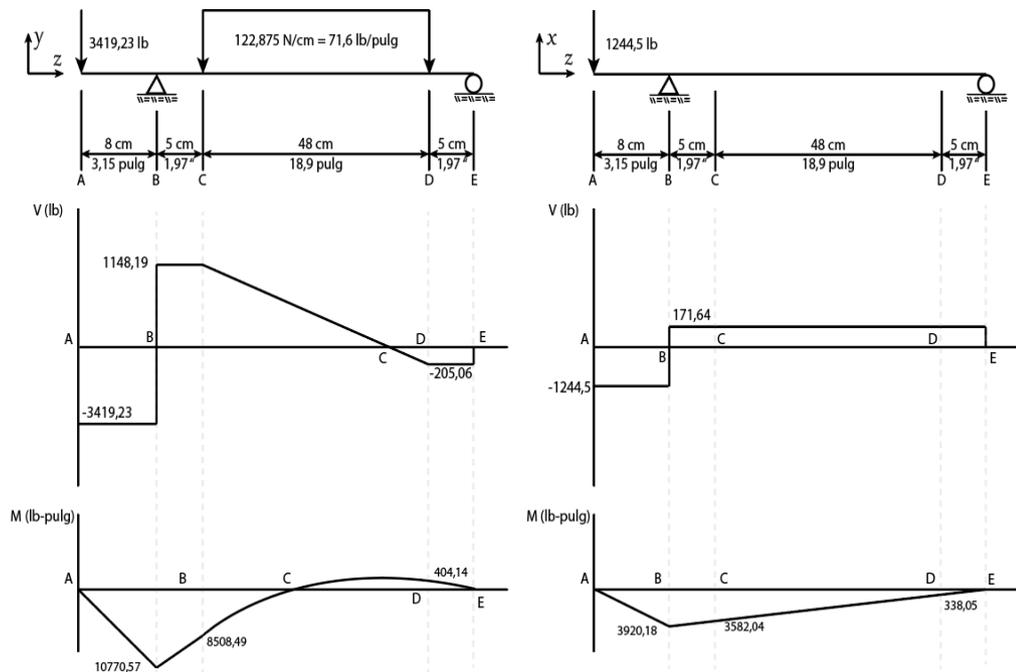


Figura 14. Diagramas de cargas, cortante y momento flexionante

El primer escalón representa el punto A, donde se sienta el engrane. El segundo, es el diámetro del asiento del rodamiento B. Se plantea utilizar un escalonamiento adicional para asegurar esta chumacera en el eje Z; por lo que este tercer escalonamiento estaría dado entre los puntos B y C. El cuarto diámetro corresponde al tramo CD, que corresponde al espacio donde irán las cuchillas. Finalmente, el último escalón representa el punto D, que es chumacera final.

Se plantea el uso del acero AISI 4140 OQT 800 para la construcción del eje. El tipo de tratamiento térmico fue templado en agua y revenido. A partir de dicha información se plantea el cálculo para los diámetros del eje. Dicho esto, el diámetro, se calcula a partir de la ecuación:

$$D = \left[\left(\frac{32N}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

Donde

N : factor de seguridad. Seleccionado a partir de recomendaciones y experiencia del diseñador.

K_t : factor de concentración de esfuerzos. Obtenido de tablas de concentraciones de esfuerzos.

M : momento flector (*lb. pulg*). Obtenido de cálculos.

s'_n resistencia a la fatiga modificada (*psi*) Obtenido de la ecuación: $s'_n = s_n \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f$. Donde, la variable (s_n) representa la resistencia a la fatiga. Los demás coeficientes expresan conductas mecánicas del elemento, se consideran valores de tablas para dichos coeficientes. Por lo tanto: $s'_n = 65 \text{ ksi} \times 0,85 \times 0,9 \times 1 \times k_d \times 0,897 \times 1 = 44,6 \text{ ksi}$.

s_y : punto de fluencia (*psi*). Obtenido de tablas de puntos de fluencia de materiales, valor equivalente a 207500 *psi*

T : momento torsor (*lb. pulg*). Obtenido de cálculos

Se calcula para el escalón del punto A, con un factor de seguridad de 2 y un factor de concentración de esfuerzos de 2,5 para chaflán agudo. Este diámetro corresponde a un tramo que se extiende desde A hasta un espacio antes de llegar a B.

$$D_A = \left[\left(\frac{32 \times 2}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{2,5 \times 0}{44603,3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8076,92}{207500} \right)^2 } \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_A = 0,88 \text{ pulg} = 22,41 \text{ mm} \cong 25 \text{ mm}$$

Para el escalonamiento B, se considera un factor de seguridad de 2; así como, un factor de concentración de esfuerzos de 1,7 para chaflanes bien redondeados; el valor del momento flexionante utilizado es calculado a partir de los valores mostrados en el gráfico anterior para este punto. Este diámetro corresponde al espacio donde se sienta la chumacera B.

$$D_B = \left[\left(\frac{32 \times 2}{\pi} \right) \sqrt{ \left(\frac{1,7 \times 11461,8}{44603,3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8076,92}{207500} \right)^2 } \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 2,07 \text{ pulg} = 52,69 \text{ mm} \cong 55 \text{ mm}$$

El tramo BC, que representa el tercer escalonamiento del eje, puede ser calculado mediante el uso de datos de los puntos que lo delimitan. Sin embargo, esto daría como resultado

valores iguales a dichos límites. Se pone que el diámetro de este escalón sea mayor que los calculados para sus fronteras:

$$D_{BC} > D_B \wedge D_{BC} > D_C$$

El diámetro del punto C, se calcula a partir de un factor de seguridad de 2; además de un factor de concentración de esfuerzos de 1,7 para chaflanes bien redondeados. La información de los esfuerzos flexionantes y torsores, proviene del gráfico anterior. Este tramo representa el asiento de las cuchillas, que inicia desde el punto C hasta llegar a D donde existe un espacio para otra chumacera.

$$D_C = \left[\left(\frac{32 \times 2}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{1,7 \times 9231,76}{44603,3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8076,92}{207500} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_C = 1,93 \text{ pulg} = 49,05 \text{ mm} \cong 50 \text{ mm}$$

$$\therefore D_{BC} \cong 70 \text{ mm}$$

Para el último escalonamiento es posible suponer que el torque se ha aplicado por completo en las cuchillas. Sin embargo, existe la posibilidad de que el torque se mantenga, debido a que la máquina inicia libre de carga. Por ello, se calcula aplicando el torque en su totalidad. Cabe resaltar que este diámetro representa el tramo DE. El factor de seguridad es 2, y el factor de concentración de esfuerzos es 2,5 para chaflanes agudos. Este tramo corresponde al asiento de la chumacera D.

$$D_{DE} = \left[\left(\frac{32 \times 2}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{1,7 \times 526,88}{44603,3} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{8076,92}{207500} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{DE} = 0,93 \text{ pulg} = 23,57 \text{ mm} \cong 25 \text{ mm}$$

Obtenidos los escalonamientos de los ejes, es posible proponer diseños de la máquina que permitan calcular la estructura necesaria para el elemento.

5.2.3. Selección de rodamientos

Para seleccionar los rodamientos, se considera un tiempo de vida para estos componentes en la máquina. A partir de recomendaciones y experiencias del diseñador, se ha considerado utilizar 20 000 horas de trabajo. Si bien, las cargas que deberían soportar los rodamientos son relativamente bajas, y sería posible seleccionar un rodamiento a partir del diámetro del tramo donde se montará en el eje. Se utiliza este apartado para comprobar este cálculo.

Se considera que solo existe una carga radial que actúa sobre el rodamiento.

$$P = X \times F_r \quad (17)$$

X : factor radial. (equivale a 1).

F_r : carga radial. (equivale a $4567,42 \text{ lb} = 20316,9 \text{ N}$)

Entonces, $P = 20316,9 \text{ N}$.

El factor de velocidad depende de las revoluciones por minuto que son 58,5; entonces:

$$f_n = \sqrt[3]{\left(\frac{33,3}{58,5}\right)} = 0,82876$$

El factor de vida depende de la carga sobre el rodamiento, la carga dinámica y el factor de vida:

$$f_h = 0,82876 \times \frac{35000 \text{ N}}{6299,3 \text{ N}} = 4,6047$$

Por último, para conseguir el tiempo en horas se utiliza el cálculo de vida nominal básica:

$$L_{10h} = 500 \times (4,6047)^3 = 48818,63 \text{ horas}$$

Se había establecido un tiempo de vida mínimo de 20 000 horas. Ya que se ha comprobado que el tiempo de vida nominal de la chumacera con rodamiento UC210D1 está por encima del valor establecido, se puede confirmar que la selección es correcta.

5.2.4. Cálculo de la estructura

Para el estudio estructural se plantea realizar una distribución de esfuerzos a partir de las fuerzas que habrá de soportar este sistema. Así, se recoge información de catálogos y el diseño preliminar para determinar la carga que ejerce la máquina ($P_{Maq} = 200 \text{ kg}$), la carga del reductor de tornillo sinfín ($P_{Red} = 34 \text{ kg}$) y la carga del motor ($P_{Mot} = 42 \text{ kg}$). Una vez graficadas las cargas, es posible utilizar métodos de cálculo de deflexión para determinar el punto donde existe mayor deformación y así calcular el perfil correcto a partir de un límite de deformación.

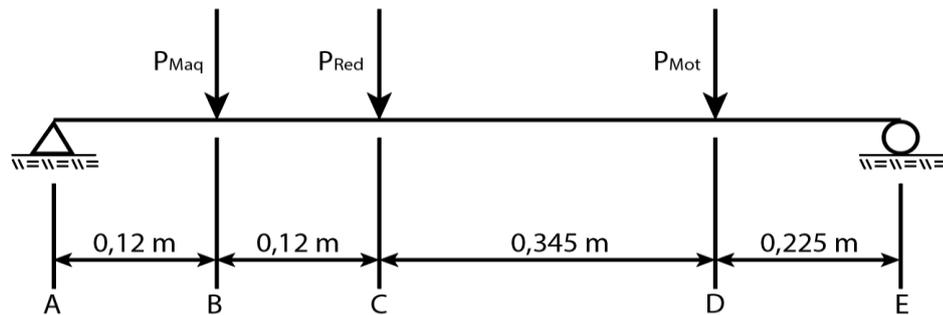


Figura 15. Distribución de cargas en la estructura

Se procede utilizando el método de doble integración, que incluye el principio de continuidad, para conseguir ecuaciones que demuestren el comportamiento del esfuerzo cortante, esfuerzo flexionante, ángulo y deformación. Las ecuaciones halladas son las siguientes:

Para el tramo AB, las ecuaciones halladas son las siguientes:

$$V = 205,96$$

$$M = 205,96(x)$$

$$\theta = 102,98(x^2) - 8,085$$

$$\delta = 34,323(x^3) - 8,085(x)$$

Para el tramo BC, las ecuaciones halladas son las siguientes:

$$V = 5,96$$

$$M = 5,96(x) + 24$$

$$\theta = 2,98(x^2) + 24(x) - 9,525$$

$$\delta = 0,993(x^3) + 12(x^2) - 9,525(x) + 0,058$$

Para el tramo CD, las ecuaciones halladas son las siguientes:

$$V = -28,04$$

$$M = -28,04(x) + 32,16$$

$$\theta = -14,02(x^2) + 32,16(x) - 11,536$$

$$\delta = -4,673(x^3) + 16,08(x^2) - 11,536(x) + 0,384$$

Para el tramo DE, las ecuaciones halladas son las siguientes:

$$V = -70,04$$

$$M = -70,04(x) + 56,73$$

$$\theta = -35,02(x^2) + 56,73(x) - 14,394$$

$$\delta = -11,673(x^3) + 28,365(x^2) - 14,394(x) - 0,747$$

De las ecuaciones, se aplican métodos numéricos para determinar el punto mínimo de la curva. Se utiliza el método de Newton para realizar este cálculo y así conseguir el punto donde la deflexión alcanza su valor mínimo, es decir, donde la deflexión obtiene su valor absoluto más grande.

$$x = x_a - \frac{f'(x)}{f''(x)} \quad (17)$$

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Cálculo para la deflexión máxima

x_n	x	$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	Error (%)
	0.3	-1,7562	-3,15011	23,7480	100
0,43265	0,43265	-1,9760	-0,24767	20,0286	0
0,44496	0,44496	-1,9775	-0,00213	19,6832	0
0,44507	0,44507	-1,9775	0,0000	19,6802	0

Se observa que para el punto de deflexión se debe realizar la igualdad que equivale al punto donde x toma el valor de 0,44507. De este modo, se puede conseguir la ecuación para calcular el valor mínimo de inercia para un límite de deformación de 0,00075 cm/cm .

$$\delta_{max} = 0,00075 \frac{cm}{cm} \times 81 \text{ cm} = 0,06075 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = 0,6075 \text{ mm} = 0,0006075 \text{ m}$$

La deformación con base en el cálculo se expresa a partir de la ecuación calculada para el tramo CD:

$$EI\delta_{max} = -11,673(0,44507^3) + 28,365(0,44507^2) - 14,394(0,44507) - 0,747$$

$$EI\delta_{max} = -1,9775 \text{ kg} - m^3 = -19,3993 \text{ N} - m^3$$

Considerando el valor máximo de deformación, así como, un módulo de elasticidad de $200 \times 10^3 \text{ MPa}$ ya que el material de uso es el acero ASTM A36; se podrá obtener un valor de inercia que puede seleccionarse de tablas de perfiles de acero. Este momento de inercia es un valor numérico, por lo que es necesario seleccionar un perfil que exceda lo dicho; pero también es posible que el diseñador considere un perfil sobredimensionado para mejorar la estética de la máquina. Para completar el cálculo se considera un valor absoluto para el resultado de la ecuación de deformación. Entonces:

$$(200 \times 10^3 \text{ MPa}) \times I \times (0,0006075 \text{ m}) = 19,3993 \text{ N} - m^3$$

$$I = \frac{19,3993 \text{ N} - m^3}{200 \times 10^9 \frac{N}{m^2} \times 0,0006075 \text{ m}} = 1,5966 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I = 15,9665 \text{ cm}^4 \vee I = 0,3836 \text{ pulg}^4$$

Se observan catálogos de perfiles metálicos de acero ASTM A36 para poder seleccionar el perfil correcto. Se plantea utilizar un perfil cuadrado de 2" x 2" x 1/8" cuyo momento de inercia equivale a 0,486 *pulg*⁴. Si bien sería posible utilizar otro tipo de perfiles cuyo valor sea más cerca al momento de inercia calculado, al utilizar un perfil cuadrado se puede asegurar que la deflexión generada en el plato perpendicular al estudiado sea menor al evaluado en esta sección.

Otros componentes del sistema de soporte poseen un espesor de pared similar al calculado en los perfiles de acero de la estructura. Es decir, los bastidores que soportarán esfuerzos poseerán espesores con un mínimo de 3 milímetros. Esto en favor de permitir que el bastidor no se deflexione ni tampoco genere vibraciones excesivas.

La unión entre componentes se realizará mediante soldadura de arco eléctrico utilizando electrodos E6011 donde sea requerido. Esta soldadura debe penetrar el espesor total del bastidor para su fabricación, asegurando la eliminación de rebabas al finalizar los trabajos.

El uso de uniones empernadas está orientado a elementos cuyas cargas no deberían ser significativas. Por ejemplo, al incluir una tolva inclinada, se plantea el diseño de este componente para conseguir diversas orientaciones para una mejor distribución de planta del cliente. Por ende, este tipo de componentes que no requieran una observación especial para el tipo de uniones aplicarán uniones empernadas.

5.3. Discusión de resultados

El contraste de los hallazgos encontrados a partir de los cálculos y el dimensionamiento de los componentes de la máquina es el punto analizado en esta sección. Dicha comparativa se realiza a partir de la experiencia del diseñador y una observación a los antecedentes encontrados.

La potencia de la máquina fue calculada a partir de una teoría matemática que se encuentra caracterizada por Dautzenberg et al. (24) donde se indica la fuerza necesaria para cortar un material de plástico. Otros investigadores realizaron este cálculo a partir de modelos matemáticos que proponen mayor énfasis en la distribución de cuchillas, o el uso de cuchillas que no funcionen en simultáneo. Si bien, es posible aplicar diferentes modelos caracterizados para especificar la potencia de una máquina, también es importante considerar el cálculo de una fuerza mínima de corte.

La fuerza calculada contrasta con esfuerzos que diseñadores como Cajusol (1) consideraron para el corte del plástico en un modelo que utiliza cuchillas radiales. Se puede decir que el cálculo de fuerza es confiable, ya que el valor se encuentra en el rango de otros cálculos para máquinas trituradoras de PET. Esta fuerza necesita ser considerada para el dimensionamiento del eje, además de proponer el caso de que todas las cuchillas se encuentren en uso para distribuciones de cuchillas sin inclinación.

Al realizar el cálculo de diámetro del eje, es necesario considerar materiales que puedan encontrarse en el mercado para el cual se realiza el diseño. Por ejemplo, Cajusol (1) considera un material SAE 1045, mientras que Caviedes (8) propone un acero SAE 1045; en contraste, Miranda (11) aplica un acero 1095 para la construcción del eje. Estos cambios de material tienen una incidencia en el diseño de diámetro del eje, así como, en la selección de fabricación y temple del eje.

La investigación realizada en el presente documento considera un acero comercial, así como, el tipo de maquinado y temperatura de temple que fue requerido. Si bien, este tipo de información debería considerarse muy relevante, es posible que, comercialmente, algunos diseñadores no expongan información como esta. Esta es una acción común en el campo del diseño, ya que el diseño del producto conlleva una inversión que necesita ser recuperada a partir de su venta.

Con respecto a las cuchillas, el material utilizado requiere de una observación que puede ser evaluada mediante cálculos de fatiga. Aunque también es necesario determinar el ángulo de ataque que fue más eficiente para ser incluido entre la información de la cuchilla. El material seleccionado dentro del presente documento para esta herramienta fue el acero SAE 1045. Al igual que sucede con el eje, es posible considerar un material comercial de acuerdo al mercado, tal como sucede con Miranda (11), quien selecciona acero SAE 1095 para su cuchilla.

Otros parámetros, como el radio o el espesor de las cuchillas están definidos principalmente por la cantidad de producción esperada. Esta diferencia se puede visualizar en el dimensionamiento que Hernández y Fonseca (9) proponen, quienes consideran una cuchilla de 15 cm de radio para una producción de 15 toneladas por hora. El radio seleccionado para el presente diseño fue de 9 cm; este valor fue realizado a partir de un contraste de dimensiones para conseguir que el diámetro del eje no reduzca las dimensiones de otros componentes, como es el caso de los separadores.

La fabricación de las piezas de la máquina requiere un enfoque primordial, ya que de ello también depende el coste e incluso su accesibilidad. Si bien, es posible considerar geometrías complejas que pueden ser fácilmente obtenidas a partir de *softwares* de diseño, en realidad, esto podría incrementar los costes excesivamente al requerirse máquinas específicas. Para solucionar esto, es mejor depender de diseños simples que cumplan sus funciones a cabalidad.

Las geometrías de los ejes, pueden ser los más sencillos de aplicar, sin embargo, también es necesario considerar la fijación de los elementos que irán montados sobre él. Utilizar cuñas, es una solución simple y sencilla para asegurar el movimiento rotatorio del eje, sin embargo, este elemento no puede resultar confiable para fijar el deslizamiento transversal de las piezas montadas a lo largo del eje. Vela et al. (13) no especifican elementos de fijación de deslizamiento sobre su eje hexagonal.

El presente diseño que considera un escalonamiento de diámetros para fijar elementos como chumaceras y engranes; así como, el uso de anillos de retén para asegurar las cuchillas y los espaciadores. La aplicación de anillos de retén requiere que los ejes no tengan geometrías complicadas, por lo que el diseño de un eje hexagonal queda descartado. Para concretar el uso de estas piezas, se ha reducido el radio de las cuchillas en 1 cm, tal como se puede ver en los cálculos, para trabajar con cuchillas de 9 cm de radio. Este cambio no influye en la selección de los componentes, por lo que se pudo proseguir.

Para el diseño del bastidor de la máquina, libros de diseño mecánico como Mott (21) sugieren que el diseño se realice al contrastar límites de deformación para piezas que habrán de soportar componentes rotativos como chumaceras. Esto se realiza para evitar que un posible desbalanceo de la máquina genere desgastes excesivos, así como, disminuir vibraciones. Para ello, se plantean límites de deformación por largo de piezas que un diseñador puede considerar a partir de la experiencia o bajo sugerencia de libros de diseño.

La estructura de la máquina plantea un límite de deformación en su punto de mayor deformación que equivale a 0,6 milímetros. Es posible considerar que este límite de deformación es bastante alto, considerando las tolerancias de balanceo que diversos autores postulan. Sin embargo, este límite de deformación es tomado en cuenta para dos piezas, cada una, con la misma deformación, soportando una chumacera. De este modo, la deformación que en un momento era excesiva, ahora es igual para ambos soportes, por lo que el desbalanceo es contrarrestado.

Para la unión del bastidor y la estructura se propone hacer uso de cordones de soldadura por medio de electrodos E6011. El bastidor fue considerado con un espesor de pared de la misma magnitud que del perfil metálico de los soportes, de tal modo que la penetración del cordón sea total. Por otro lado, el uso de pernos es considerado para piezas que no soportarán tantos esfuerzos, ya que su adquisición suele ser más cara que un cordón de soldadura. Por ende, solamente la tolva, que no soportará grandes esfuerzos, utilizará pernos para unirse a la máquina.

CONCLUSIONES

Mediante la metodología de diseño VDI 2221 se desarrolló el diseño de una trituradora de PET para obtener hojuelas de dicho material con dimensiones de entre 10 y 12 milímetros. Los planos de fabricación de las piezas y el ensamblaje de la máquina demuestran este resultado. Dichos planos se consiguieron luego de separar a la máquina en sistemas debido a las funciones que cumplen; entre estos sistemas se encuentran: el sistema de trituración, el sistema de transmisión de potencia y el sistema de soporte. Se diseñaron y seleccionaron componentes y materiales para las piezas que componen estos sistemas.

El sistema de trituración de la máquina utiliza dos ejes con 12 cuchillas radiales con tres dientes, cuyo espesor equivale a 12 milímetros, con un radio de 9 centímetros, fabricado en acero SAE 1045. Para conseguir este movimiento, un motor eléctrico de 7,5 HP de potencia fue seleccionado permitiendo que el eje de trituración se mueva a 58,5 revoluciones por minuto. El eje que sostiene a las cuchillas está soportado por dos chumaceras ancladas al bastidor de la máquina.

El sistema de transmisión se inicia por el uso de un reductor de velocidad de tornillo sinfín con una relación de transmisión de 60:1; que conduce la potencia del motor hasta el eje donde se sientan las cuchillas. Debido al uso de dos ejes, es necesario que giren en sentidos contrarios, por lo que se usaron dos engranes de 30 dientes en el módulo 4, fabricados en acero SAE 4140. La fijación de los componentes se consigue por medio del uso de escalonamientos de diámetro en los ejes fabricados en acero SAE 4140.

El sistema de soporte de la máquina está construido aplicando perfiles cuadrados de dimensiones 2" x 2" x 1/8" fabricados en acero ASTM A36. Para unir las piezas de este sistema se utilizaron cordones de soldadura con penetración total mediante el uso de electrodos E6011. Elementos como el bastidor o la tolva, fueron unidos a partir del uso de pernos cuyo grado de dureza mínimo es de 5. El diámetro de los pernos utilizados corresponde al espesor de pared de las piezas unidas.

RECOMENDACIONES

Aplicar determinadas filosofías de diseño puede conllevar a que ciertos elementos no sean tomados en cuenta, como por ejemplo la incidencia de contaminación en la fabricación de componentes. Por ello, es importante que como diseñador se considere, no solamente el costo de construcción de piezas, sino también su impacto en el medio ambiente. Herramientas de *software* como la que posee *Solidworks*, que puede contribuir con ello.

La selección de material para las piezas dentro de un proyecto de diseño debe estar ligada a la posibilidad de conseguir dicho elemento y su coste. Si bien es posible realizar la importación de materiales desde otras partes del mundo, es necesario hacer uso del mayor número de elementos y materiales cuya comercialización sea rápida y accesible. Es posible utilizar catálogos de proveedores para esto.

El balanceo de componentes interviene en diseño de elementos que requieren de bastante precisión para funcionar correctamente, o aquellos que necesitan disminuir vibraciones o desgaste. Este balanceo, y posiblemente los límites de deformación para elementos estructurales, pueden estar dados por libros, pero se recomienda aplicar experiencias de diseñador para mejorar la confiabilidad de las piezas.

Los planos obtenidos del diseño de la máquina, deben indicar la tolerancia de elementos que encajan en otros, así como, la calidad del acabado superficial que requieran. La fabricación debe considerar planos adicionales de ensamblaje donde se indiquen anotaciones de soldadura, pintado, entre otros. Finalmente, es posible anotar materiales o piezas que puedan reemplazar a algunos componentes que sean difíciles de conseguir.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **CAJUSOL, H.** *Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora «Bravo» Túcume, Lambayeque. Universidad Señor de Sipán. Pimentel, Perú. 2020.*
2. **Ministerio del Ambiente.** *La OEFA denuncia a la Municipalidad Provincial de Huancayo y a la Municipalidad Distrital de El Tambo por inadecuada disposición final de residuos sólidos.* 2014. Recuperado el 10 de octubre del 2022 de:
<https://www.minam.gob.pe/prensa/detras-de-la-foto/el-oefta-denuncia-a-la-municipalidad-provincial-de-huancayo-y-a-la-municipalidad-distrital-de-el-tambo-por-inadecuada-disposicion-final-de-residuos-solidos/>.
3. **Andina.** *Huancayo: lanzan ecotienda para canjear residuos reciclables con productos alimenticios.* 2021.
4. **Correo.** *Huancaínos convierten botellas de plástico en productos de tela. Huancayo, Perú.* 2018.
5. **VALDERRAMA, M.; CHAVARRO, L.; OSORIO, J.; PEÑA, C.** *Estudio dinámico del reciclaje de envases pet en el valle del Cauca.* 2018. DOI: 10.22507/rli.v15n1a6.
6. **ACOSTA, L.; GARCÍA, M.; ZULUAGA, J.** *Aprovechamiento del triturado PET en el desarrollo de moldes para figuras de Laboratorio de Logística en la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio.* 2021.
7. **GAMARRA MORENO, A. H.; LOZANO PAULINO, Y. D.; SERPA ENRÍQUEZ, C. A.** *Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET.* *Prospectiva Universitaria*, 2020. 14(1), 41–46.
<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivaun>.
8. **CAVIEDES, J.** *Diseño de una máquina trituradora para plástico PET.* 2020. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.
9. **HERNÁNDEZ, J. y FONSECA, D.** *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E. S. P.* 2017. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Bocayá, Colombia.
10. **LUQUE, E.** *Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET.* 2019. Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú.
11. **MIRANDA, W.** *Diseño de una máquina trituradora de plástico para la fábrica La Paz.* 2014. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
12. **SÁNCHEZ, J.** *Estudio de factibilidad para la aplicación de una máquina trituradora de plástico en la empresa MG Gestores Ambientales.* 2015. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.

13. **VELA, C.; REY, E.; JAIMES, A.** *Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET*. 2018. Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio, Colombia.
14. **BOND, F. C.** *Crushing and grinding calculations*. 1961. Allis Chalmers manufacturing Co., Milwaukee, Wisconsin.
15. **Lidem.** *Máquinas para el proceso de reciclaje de plásticos*. 2017.
16. **FALCONI, M.; TIAGUARO, R.** *Molino triturador de botellas desechables*. 2009.
17. **SUASNAVAS, D.** *Degradación de materiales plásticos «PET» (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión*. 2017. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Ecuador.
18. **MALDONADO, M.; MEDINA, C.** *Diseño y construcción de una extrusora con capacidad de 1 kg/h, diseño del proceso y diseño del producto para el reciclaje mecánico del PET*. 2008. Universidad Politécnica del Ejército, Ecuador.
19. **RICHARDSON; LOKENSGARD.** *Industria del plástico, Plástico industrial*. España, Paraninfo : s.n., 1999.
20. **CHI, A.; BARRIOS, A.; MONTALVO, N.; LÓPEZ, D.** *Propuesta para el reciclaje del plástico PET (Tereftalato de polietileno)*. 2009. Puerto Morelos, Q. Roo. México.
21. **MOTT, Robert L.** *Diseño de elementos de máquinas*. 2006. (4.a ed.). México: Pearson Educación, 2006. pp. 494-497. ISBN 970-26-0812-0.
22. **BUDYNAS, R.; NISBETT, J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. de C. V., 2008. ISBN 978-970-10-6404-7.
23. **CARRASCO, J.** *Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM*. 2006. Prospectiva. ISSN: 1692-8261.
24. **DAUTZENBERG, J.; KALS, J.; VAN Der WOLF, A.** *Forces and plastic work in cutting*. 1983. CIRP Annals, 32(1), 223-227.
25. **VDI.** *Guideline 2221 - 2222. Systematic approach to the design of technical systems and products*. 1986. VDI-Verlag.
26. **HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C.; BAPTISTA, M.** *Metodología de la investigación*. (4.ª ed.) 2023. Disponible: [http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog %C3 %ADa %20de %20la %20Investigaci %C3 %B3n %20SAMPIERI.pdf](http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPIERI.pdf).

ANEXO

Anexo 1

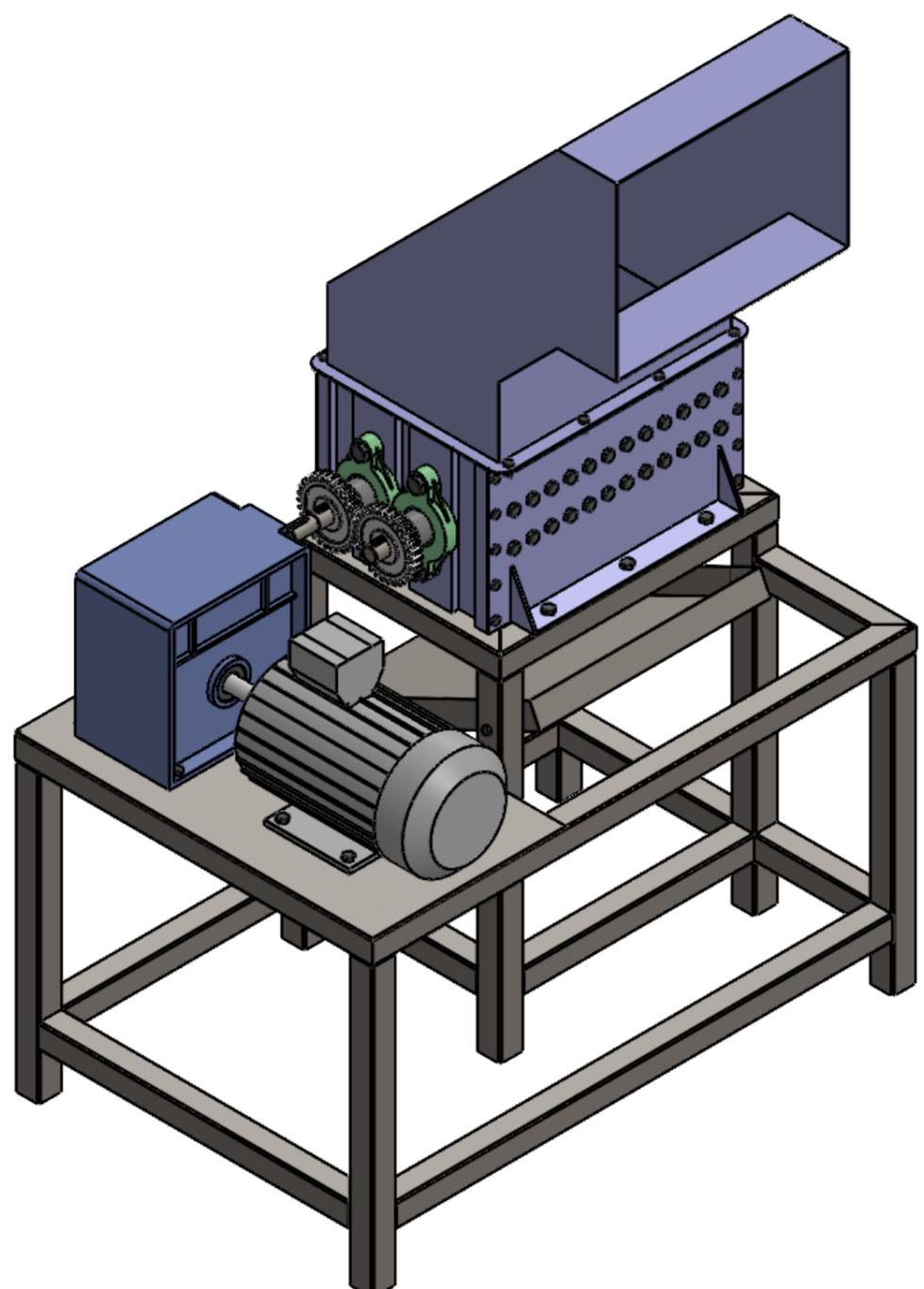
Tabla de selección del motor eléctrico.

VALORES ELÉCTRICOS MOTORES SERIE 1LE0141

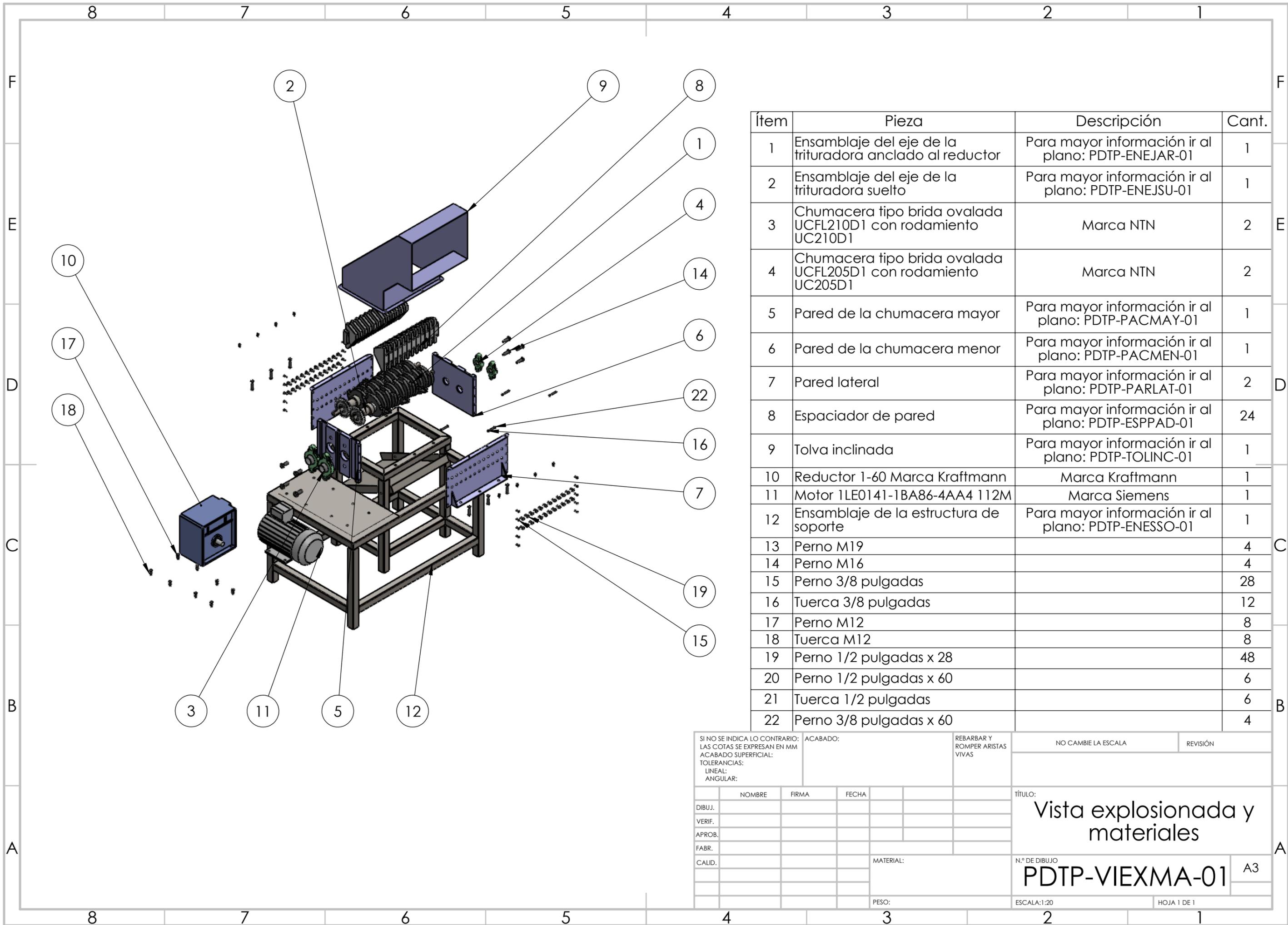
Potencia		Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3
KW	HP						220V A	380V A	440V A		Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 2 Polos 3600 rpm														
0,75	1	1LE0141-0DA26-4AA4	80M	3450	75,5	0,81	3,2	1,85	1,6	2,1	6	2,2	3	14,0
1,1	1,5	1LE0141-0DA36-4AA4	80M	3440	82,5	0,83	4,3	2,5	2,15	3,1	7	2,8	3	16,0
1,5	2	1LE0141-0DA86-4AA4	80M	3450	84,0	0,83	5,6	3,25	2,8	4,2	7	2,8	3	18,0
2,2	3	1LE0141-0EA46-4AA4	90L	3500	85,5	0,87	7,9	4,55	3,95	6,0	8	2,8	3	28
3	4	1LE0141-0EA86-4AA4	90L	3505	87,5	0,87	10,3	6	5,1	8,2	8	2,8	3	28
3,7	5	1LE0141-1AA86-4AA4	100L	3440	87,5	0,88	12,7	7,4	6,4	10,3	8	3	3,5	40
5,5	7,5	1LE0141-1BA86-4AA4	112M	3510	88,5	0,88	18,8	10,9	9,4	15,0	8	3	3,5	45
7,5	10	1LE0141-1CA16-4AA4	132S	3525	89,5	0,88	25	14,4	12,4	20,3	8,5	2,3	3,5	70
11	15	1LE0141-1CA86-4AA4	132S	3535	90,2	0,88	37	21,5	18,5	29,8	8,5	2,3	3,5	75
15	20	1LE0141-1DA36-4AA4	160M	3535	90,2	0,84	52	30	26	40,5	7,5	2,3	3,5	95
18,5	25	1LE0141-1DA46-4AA4	160L	3530	91,0	0,86	63	36	31,5	50	7,5	2,3	3,5	115
22	30	1LE0141-1DA86-4AA4	160L	3530	91,0	0,88	73	42,5	36,5	59,5	7,5	2,3	3,5	125
30	40	1LE0141-2AA46-4AA4	200L	3558	91,7	0,89	96	56	48	80,5	8,5	3	3,5	260
37	50	1LE0141-2AA56-4AA4	200L	3556	92,4	0,89	119	69	60	99,4	8,5	3	3,5	275
45	60	1LE0141-2BA26-4AA4	225M	3570	93,0	0,88	143	83	72	120	8,5	2,6	3	325
55	75	1LE0141-2BA86-4AA4	225M	3560	93,0	0,88	179	104	90	148	8,8	2,6	3	340
75	100	1LE0141-2CA86-4AA4	250M	3570	93,6	0,89	235	136	117	201	7,5	2,2	3	430
90	125	1LE0141-2DA23-3AA4	280M	3578	94,5	0,89			145	240	8	2,5	3	610
110	150	1LE0141-2DA83-3AA4	280M	3578	94,5	0,88			177	294	8	2,5	2	600
150	200	1LE0141-3AA23-3AA4	315M	3578	95,0	0,91			225	400	8	2,1	2,7	985
185	250	1LE0141-3AA63-3AA4	315L	3582	95,4	0,92			280	493	8	2,1	2,7	1140

Potencia		Referencia del motor	Tamaño constructivo	Rated Speed	Eficiencia 100%	Factor de potencia	Corriente nominal			Torque nominal	Datos de arranque			Peso IM B3
KW	HP						220V A	380V A	440V A		Nm	Corriente de arranque x In	Torque de arranque x Tn	
Datos eléctricos motores Serie 1LE0141 IE2 4 Polos 1800 rpm														
0,55	0,75	1LE0141-0DB26-4AA4	80M	1720	75,5	0,77	2,55	1,46	1,26	3,1	6	2	2,7	14,5
0,75	1	1LE0141-0DB36-4AA4	80M	1705	78,0	0,78	3,2	1,86	1,61	4,2	6	2	2,7	15,5
1,1	1,5	1LE0141-0EB06-4AA4	90S	1730	84,0	0,79	4,4	2,55	2,2	6,1	6	2	2,7	22
1,5	2	1LE0141-0EB46-4AA4	90L	1720	84,0	0,81	5,8	3,35	2,9	8,3	6	2,6	2,7	25
2,2	3	1LE0141-0EB86-4AA4	90L	1740	87,5	0,79	8,5	4,9	4,25	12,1	7,5	2,6	3	28
3	4	1LE0141-1AB56-4AA4	100L	1735	87,5	0,83	10,8	6,2	5,4	16,5	7,5	2,5	3	45
3,7	5	1LE0141-1AB86-4AA4	100L	1720	87,5	0,83	13,5	7,8	6,7	20,5	7,5	2,5	3	45
5,5	7,5	1LE0141-1BB86-4AA4	112M	1750	89,5	0,78	21	12,2	10,5	30,0	8,5	2,5	3,5	50
7,5	10	1LE0141-1CB26-4AA4	132M	1760	89,5	0,82	26,5	15,4	13,3	40,7	8,5	2,5	3,5	70
11	15	1LE0141-1CB86-4AA4	132M	1760	91,0	0,82	39,5	23	19,7	59,7	8,5	2,5	3,5	85
15	20	1LE0141-1DB46-4AA4	160L	1760	91,0	0,84	51	29,5	25,5	81,4	8	2,2	3,5	110
18,5	25	1LE0141-1DB86-4AA4	160L	1765	92,4	0,88	60	35	30	100	8	2,2	3,5	140
22	30	1LE0141-1EB46-4AA4	180L	1775	92,4	0,84	76	44	38	118	8	2,4	3	180
30	40	1LE0141-2AB46-4AA4	200L	1775	93,0	0,85	99	57	49,5	161	8	2,7	3	245
37	50	1LE0141-2AB86-4AA4	200L	1775	93,0	0,84	125	73	63	199	8	2,7	3	245
45	60	1LE0141-2BB26-4AA4	225M	1780	93,6	0,85	148	85	74	241	8	2,7	3	340
55	75	1LE0141-2BB86-4AA4	225M	1780	94,1	0,85	184	106	92	295	8	2,7	3	340
75	100	1LE0141-2CB86-4AA4	250M	1785	94,5	0,86	240	139	120	401	8	2,6	3	475
90	125	1LE0141-2DB23-3AA4	280M	1786	94,5	0,86			151	481	8	2,9	3	660
110	150	1LE0141-2DB83-3AA4	280M	1786	95,0	0,86			180	588	8,5	2,9	3	670
150	200	1LE0141-3AB23-3AA4	315M	1788	95,0	0,88			235	801	8,5	2,5	2,8	1050
185	250	1LE0141-3AB63-3AA4	315L	1788	95,0	0,88			295	988	8,5	2,5	2,8	1050

Nota: Recogida de Simotics



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: Planos de diseño de trituradora de plástico PET	
DIBUJ.				N.º DE DIBUJO	A3
VERIF.				PDTP-VISGEN-01	
APROB.				ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1
FABR.			MATERIAL:		
CALID.			PESO:		



Ítem	Pieza	Descripción	Cant.
1	Ensamblaje del eje de la trituradora anclado al reductor	Para mayor información ir al plano: PDTP-ENEJAR-01	1
2	Ensamblaje del eje de la trituradora suelto	Para mayor información ir al plano: PDTP-ENEJSU-01	1
3	Chumacera tipo brida ovalada UCFL210D1 con rodamiento UC210D1	Marca NTN	2
4	Chumacera tipo brida ovalada UCFL205D1 con rodamiento UC205D1	Marca NTN	2
5	Pared de la chumacera mayor	Para mayor información ir al plano: PDTP-PACMAY-01	1
6	Pared de la chumacera menor	Para mayor información ir al plano: PDTP-PACMEN-01	1
7	Pared lateral	Para mayor información ir al plano: PDTP-PARLAT-01	2
8	Espaciador de pared	Para mayor información ir al plano: PDTP-ESPPAD-01	24
9	Tolva inclinada	Para mayor información ir al plano: PDTP-TOLINC-01	1
10	Reductor 1-60 Marca Kraftmann	Marca Kraftmann	1
11	Motor 1LE0141-1BA86-4AA4 112M	Marca Siemens	1
12	Ensamblaje de la estructura de soporte	Para mayor información ir al plano: PDTP-ENESSO-01	1
13	Perno M19		4
14	Perno M16		4
15	Perno 3/8 pulgadas		28
16	Tuerca 3/8 pulgadas		12
17	Perno M12		8
18	Tuerca M12		8
19	Perno 1/2 pulgadas x 28		48
20	Perno 1/2 pulgadas x 60		6
21	Tuerca 1/2 pulgadas		6
22	Perno 3/8 pulgadas x 60		4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:

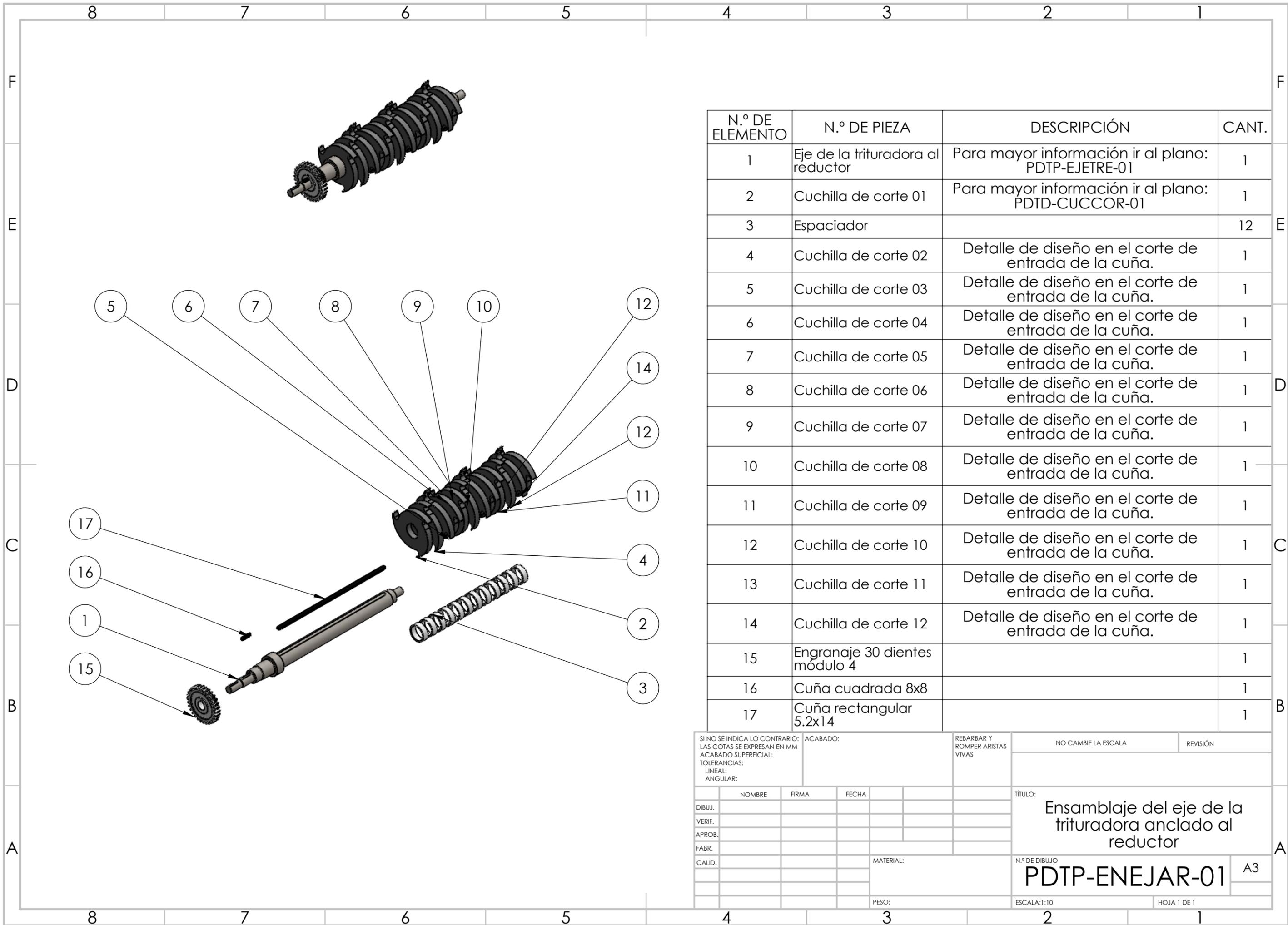
NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: **Vista explosionada y materiales**

N.º DE DIBUJO: **PDTP-VIEXMA-01** A3

PESO: ESCALA: 1:20 HOJA 1 DE 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Eje de la trituradora al reductor	Para mayor información ir al plano: PDTP-EJETRE-01	1
2	Cuchilla de corte 01	Para mayor información ir al plano: PDTD-CUCCOR-01	1
3	Espaciador		12
4	Cuchilla de corte 02	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
5	Cuchilla de corte 03	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
6	Cuchilla de corte 04	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
7	Cuchilla de corte 05	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
8	Cuchilla de corte 06	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
9	Cuchilla de corte 07	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
10	Cuchilla de corte 08	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
11	Cuchilla de corte 09	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
12	Cuchilla de corte 10	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
13	Cuchilla de corte 11	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
14	Cuchilla de corte 12	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
15	Engranaje 30 dientes módulo 4		1
16	Cuña cuadrada 8x8		1
17	Cuña rectangular 5.2x14		1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

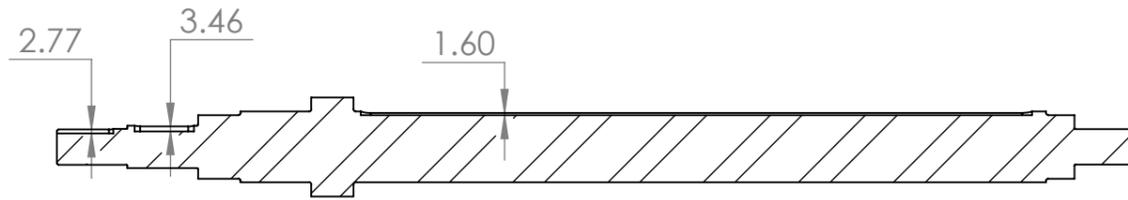
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.		
VERIF.		
APROB.		
FABR.		
CALID.		

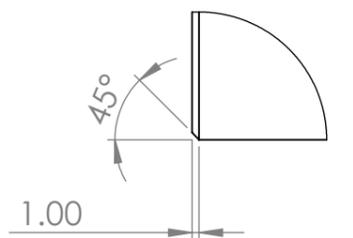
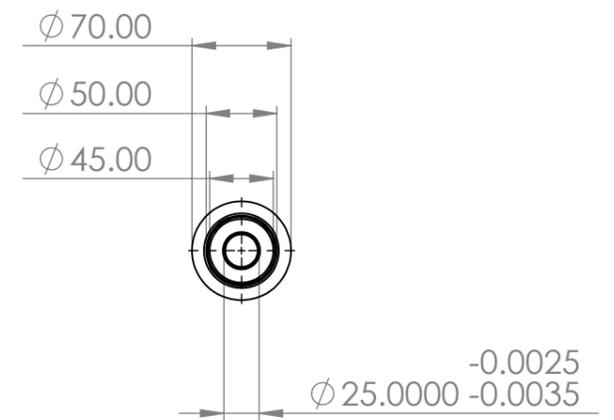
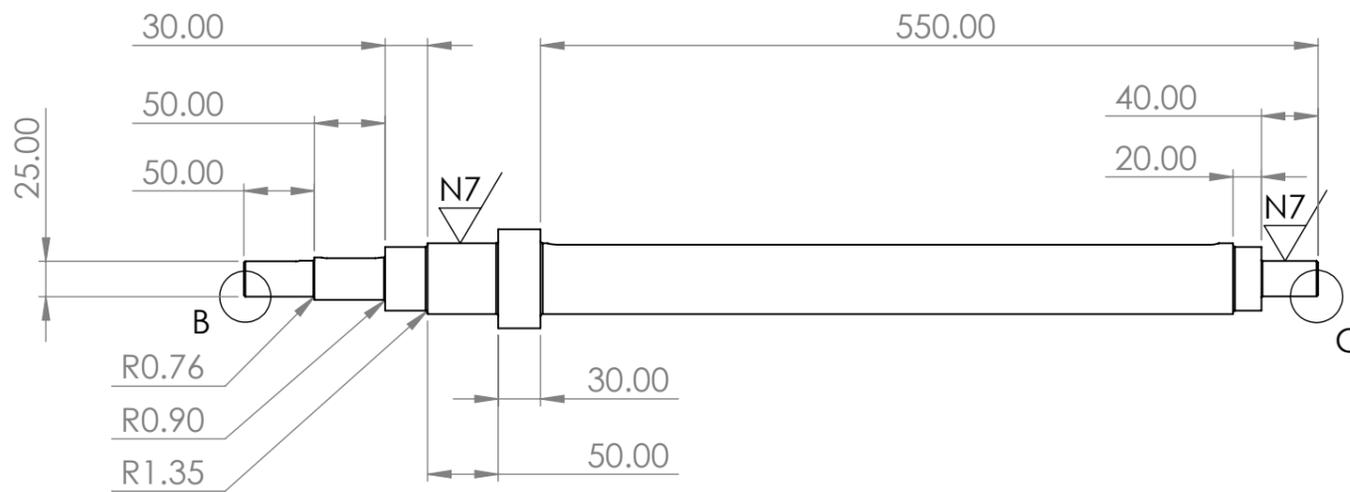
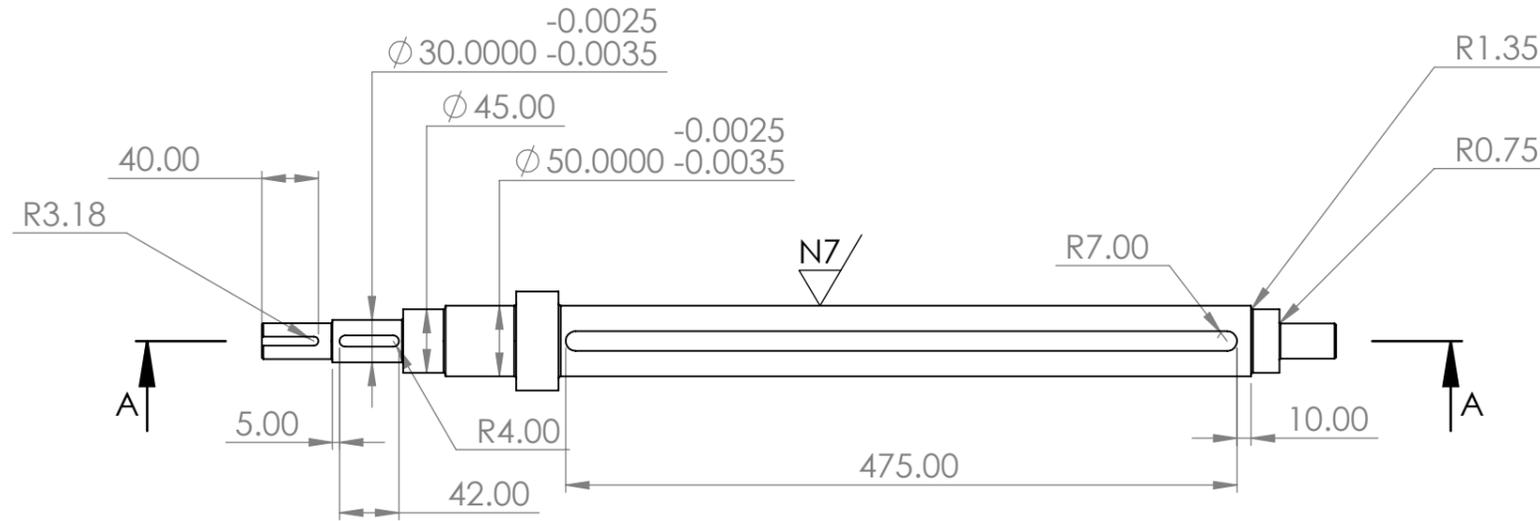
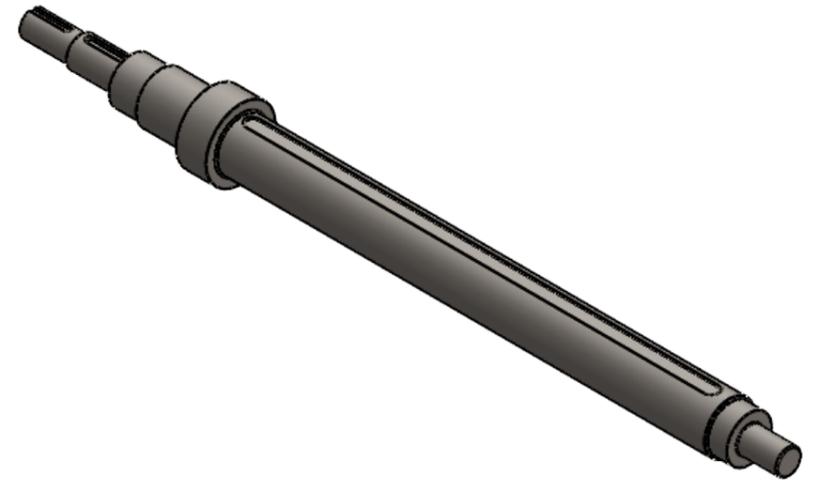
TÍTULO: **Ensamblaje del eje de la trituradora anclado al reductor**

N.º DE DIBUJO: **PDTP-ENEJAR-01** A3

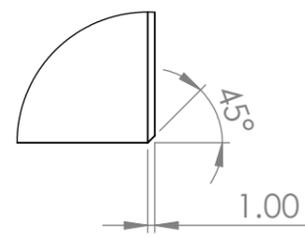
PESO: ESCALA:1:10 HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

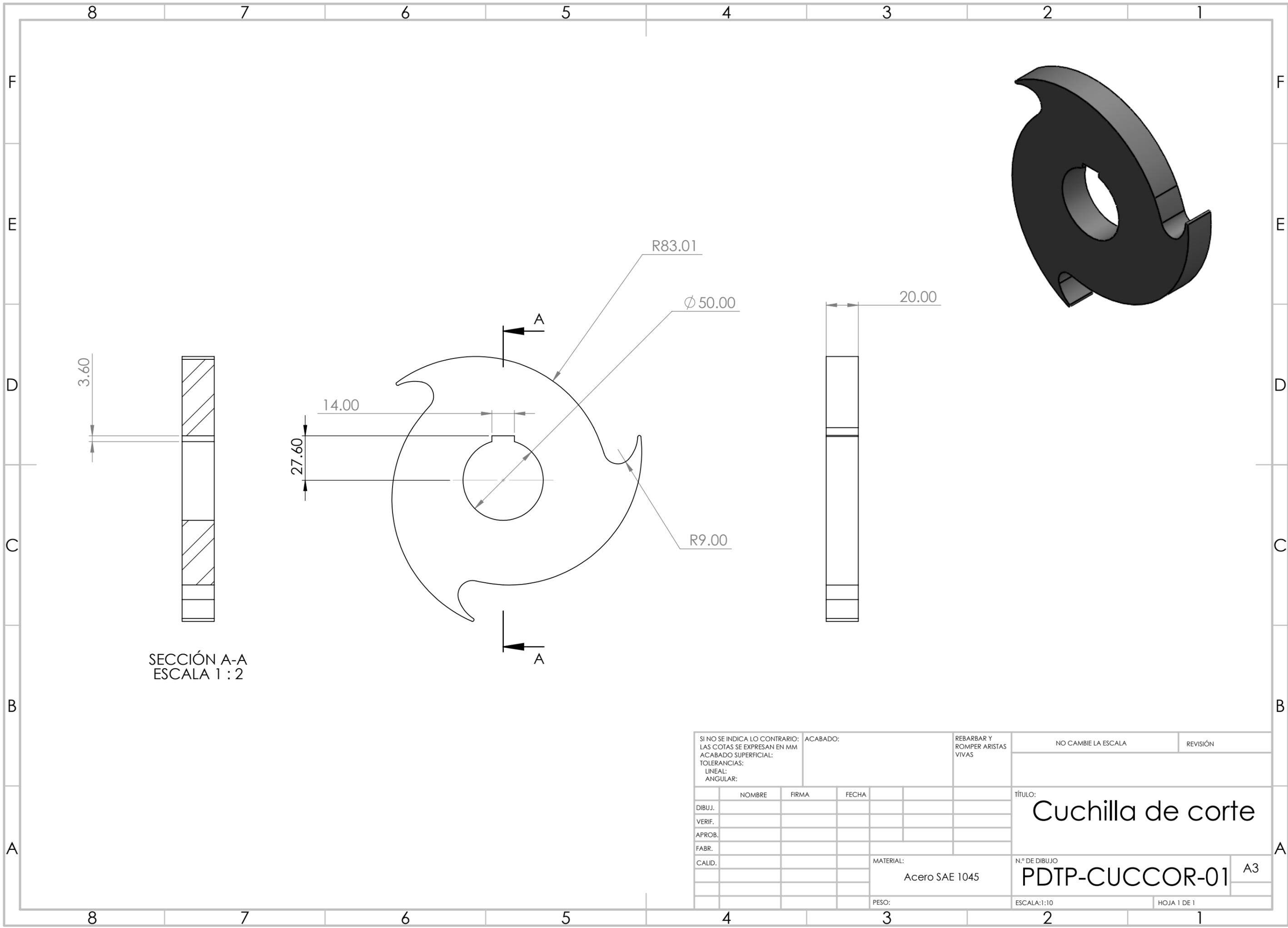


DETALLE B
ESCALA 1 : 1



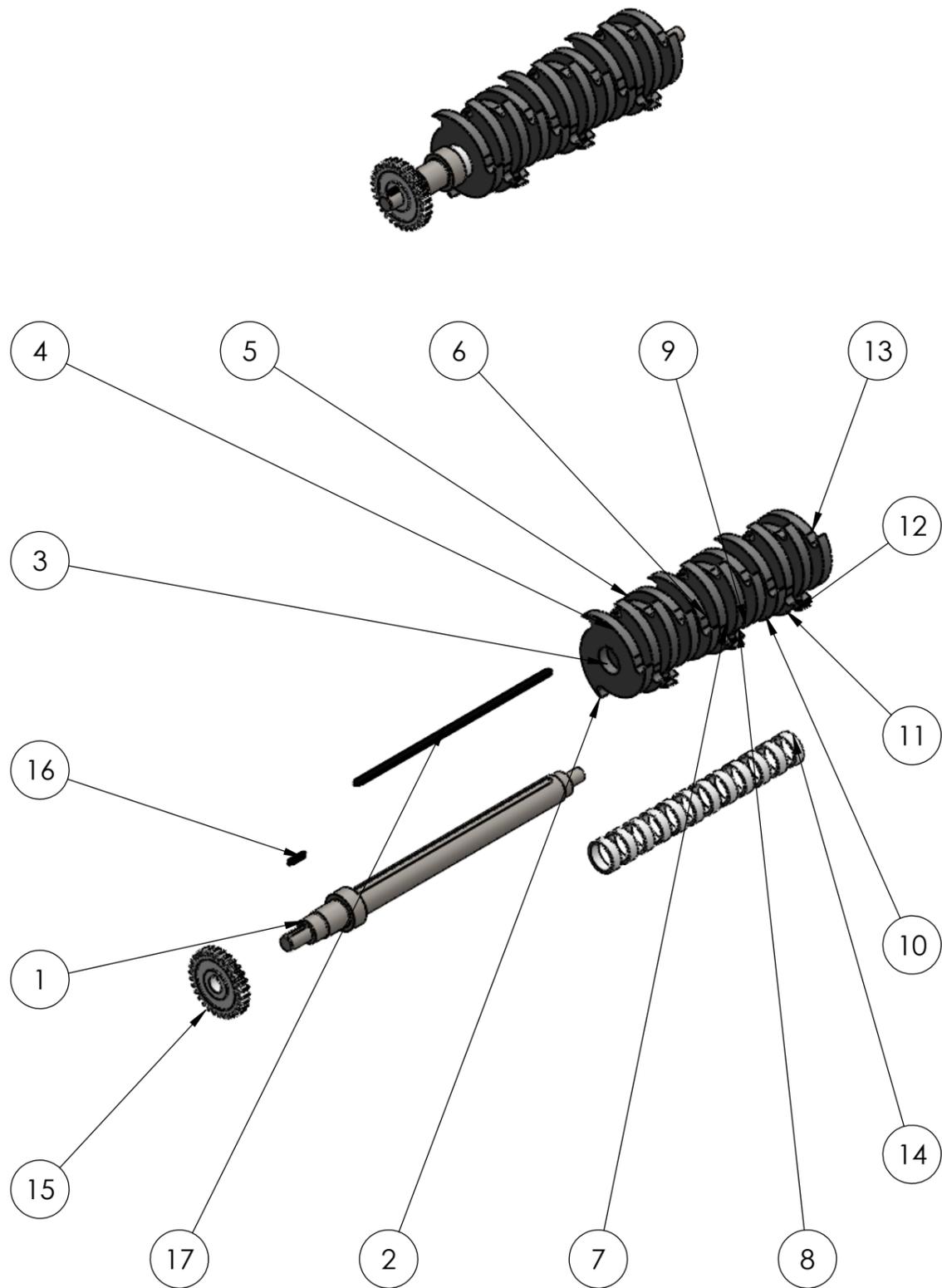
DETALLE C
ESCALA 1 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Eje de la trituradora anclado al reductor	
VERIF.				N.º DE DIBUJO PDTP-EJETRE-01	A3
APROB.				MATERIAL: Acero SAE 4140	ESCALA: 1:5
FABR.				PESO:	HOJA 1 DE 1
CALID.					



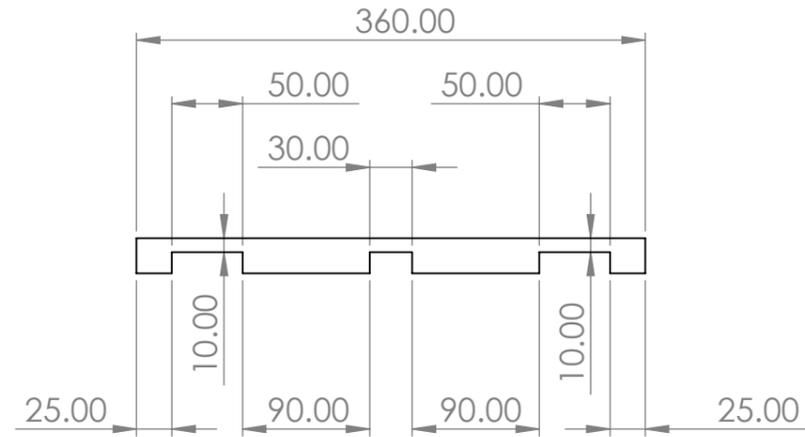
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: Cuchilla de corte				
							MATERIAL: Acero SAE 1045		N.º DE DIBUJO PDTP-CUCCOR-01		A3
							PESO:		ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA					
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											



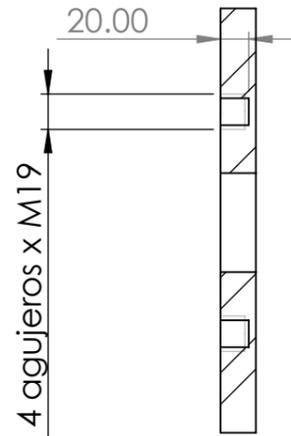
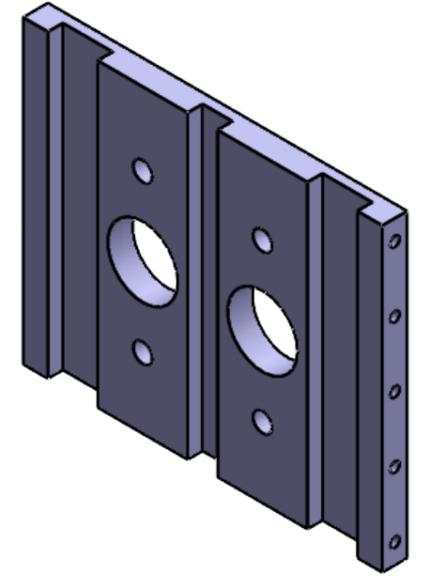
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Eje de la trituradora suelto	Más información en el plano: PDTP-EJETSU-01	1
2	Cuchilla de corte 01	Más información en el plano: PDTP-CUCCOR-01	1
3	Cuchilla de corte 02	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
4	Cuchilla de corte 03	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
5	Cuchilla de corte 04	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
6	Cuchilla de corte 05	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
7	Cuchilla de corte 06	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
8	Cuchilla de corte 07	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
9	Cuchilla de corte 08	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
10	Cuchilla de corte 09	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
11	Cuchilla de corte 10	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
12	Cuchilla de corte 11	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
13	Cuchilla de corte 12	Detalle de diseño en el corte de entrada de la cuña.	1
14	Espaciador		12
15	Engranaje 30 dientes módulo 4		1
16	Cuña cuadrada 8x8		1
17	Cuña rectangular 5.2x14		1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Ensamble del eje de la trituradora suelto		
DIBUJ.			N.º DE DIBUJO PDTP-ENEJSU-01		
VERIF.			A3		
APROB.			ESCALA:1:10		
FABR.			HOJA 1 DE 1		
CALID.			PESO:		

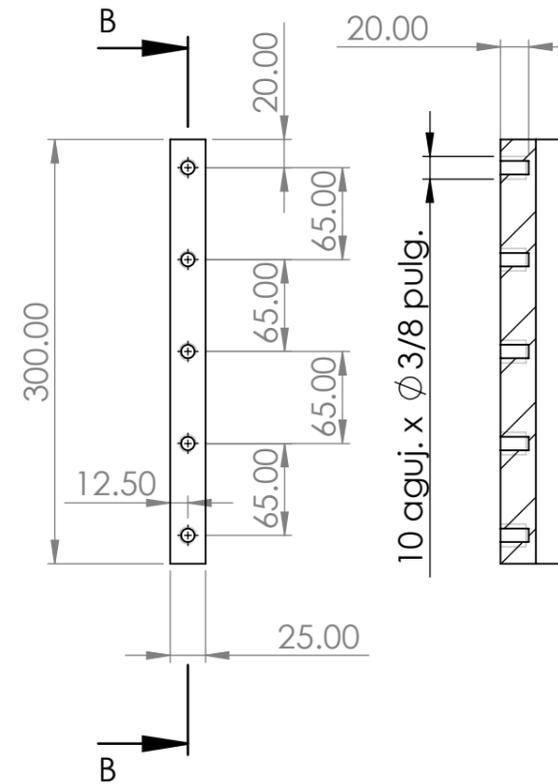
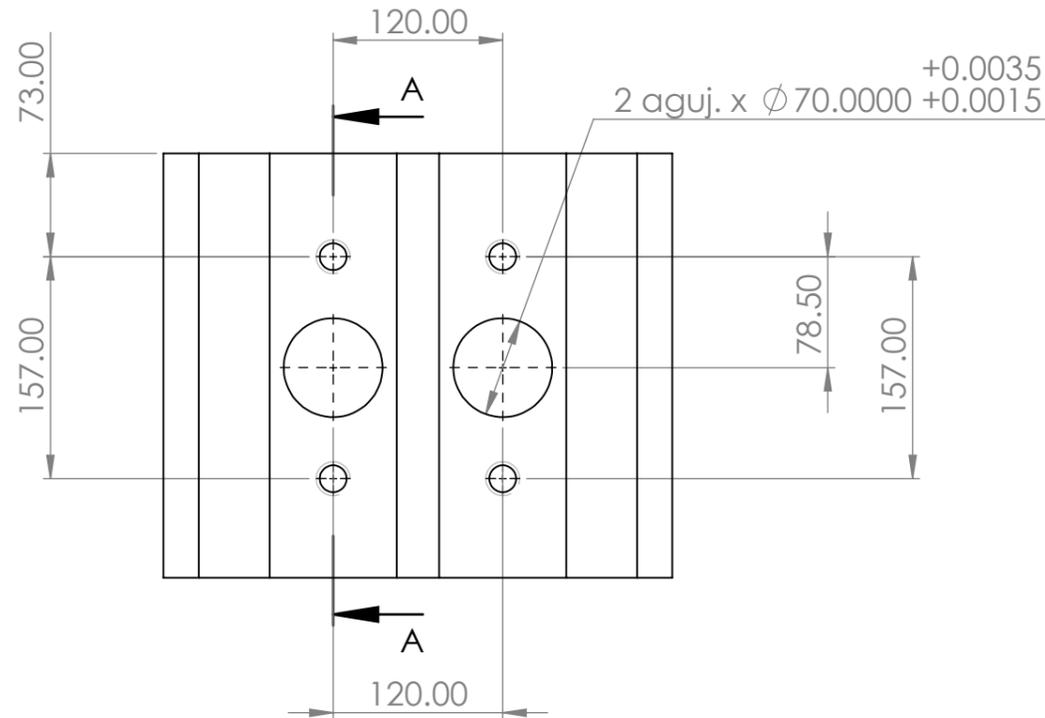


Nota:

1. Eliminar rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar una capa de pintura con anticorrosivo.

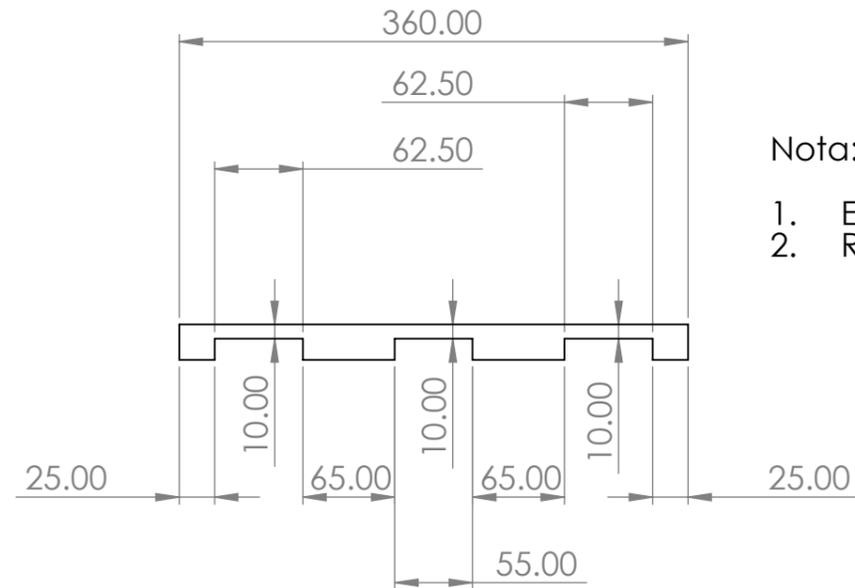


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



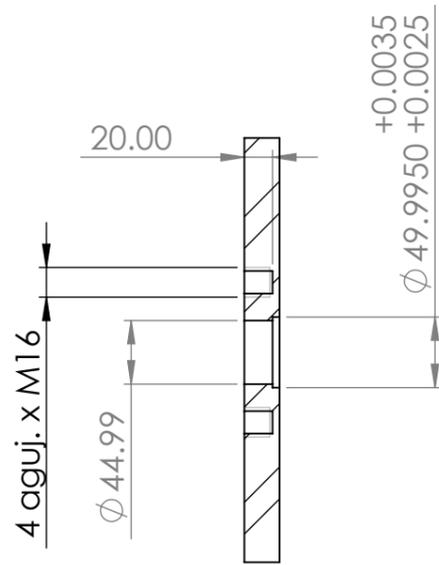
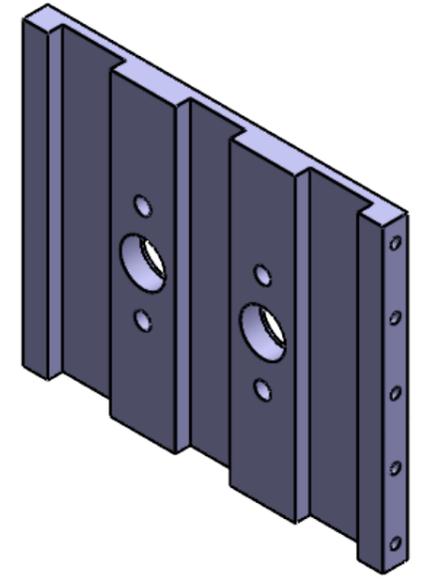
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.				TÍTULO: Pared de la chumacera mayor		
VERIF.				N.º DE DIBUJO PDTP-PACMAY-01		
APROB.				MATERIAL: Acero SAE 1045		
FABR.				ESCALA: 1:2		
CALID.				PESO:		
				HOJA 1 DE 1		

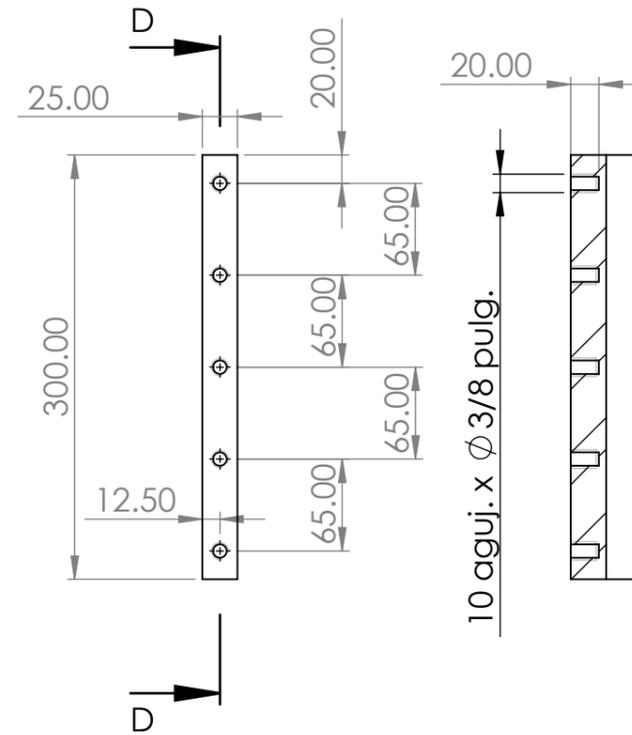
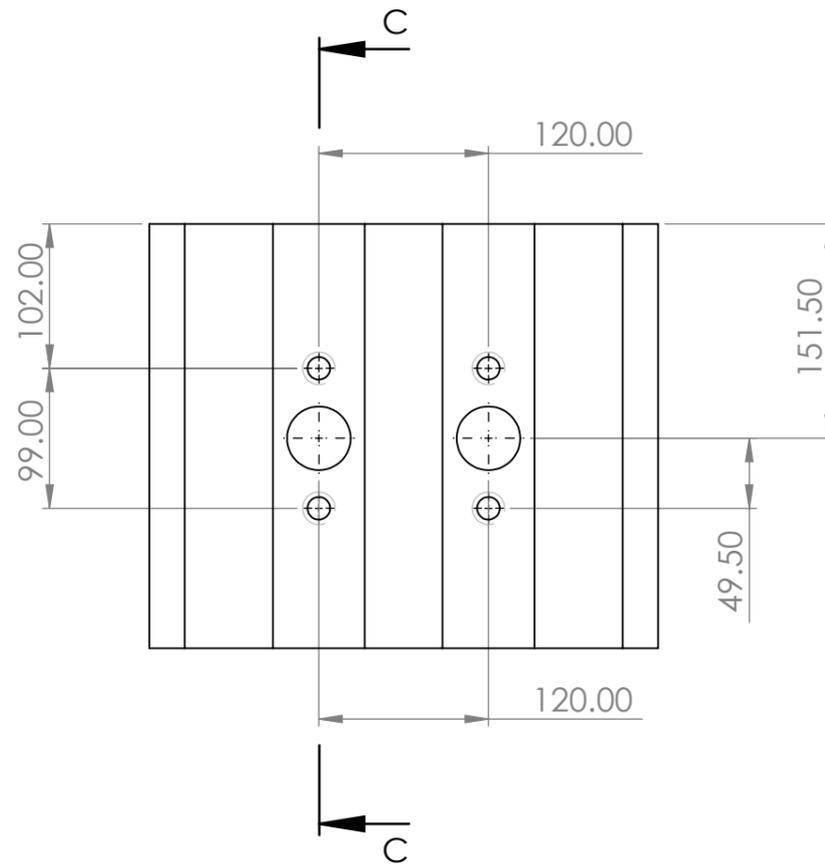


Nota:

1. Eliminar rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar una capa de pintura con anticorrosivo.



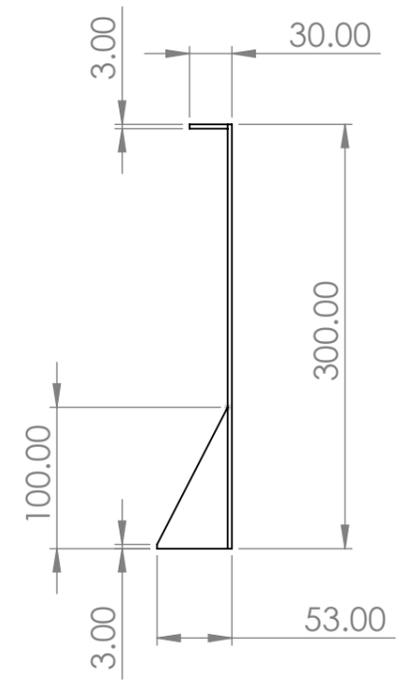
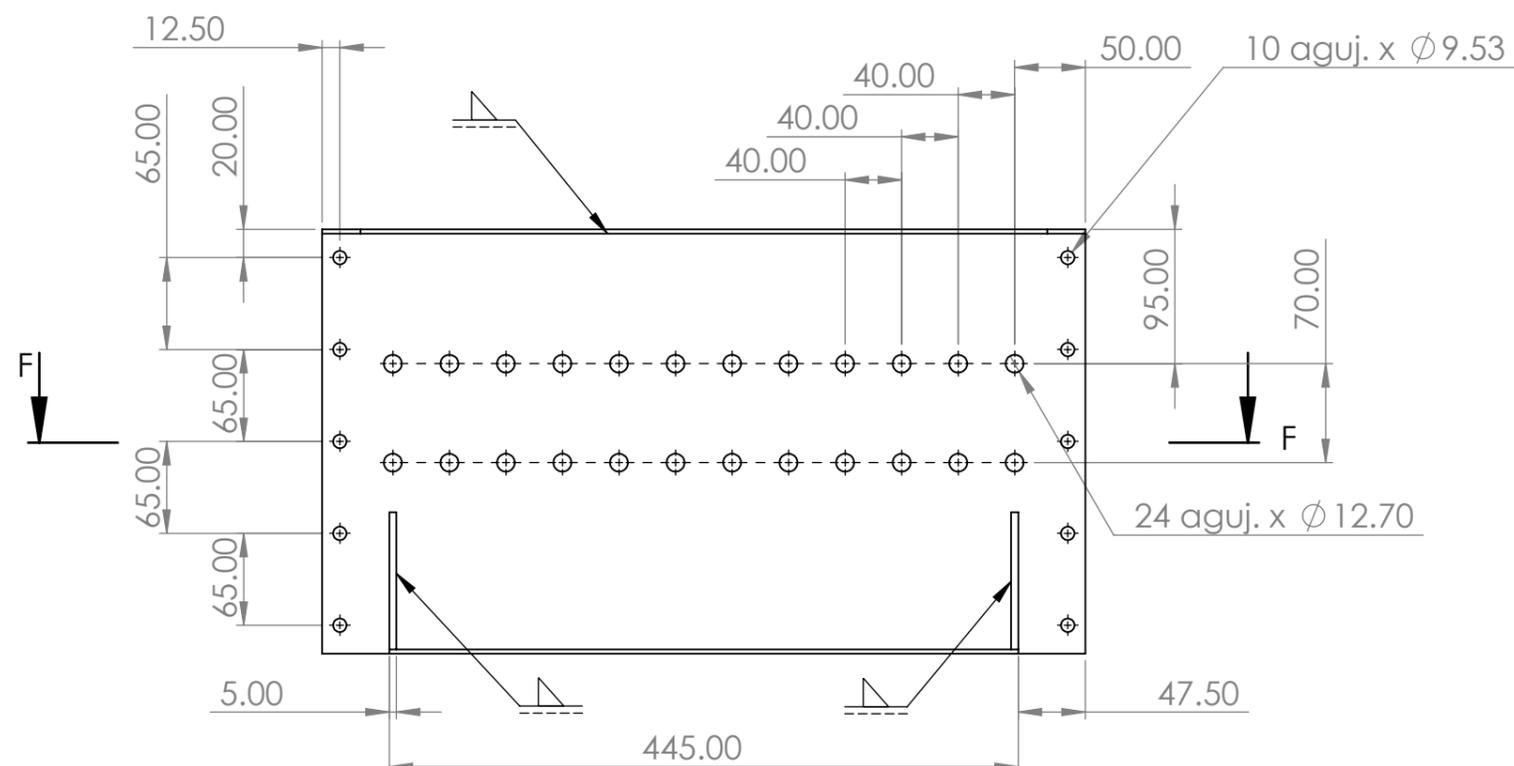
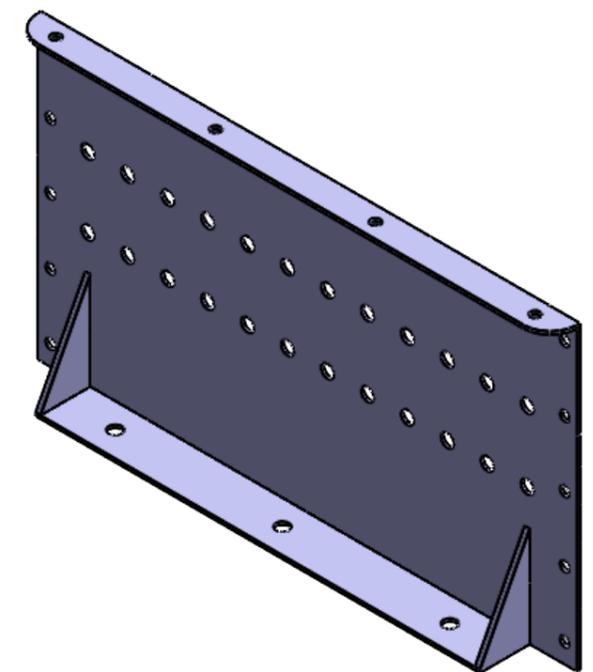
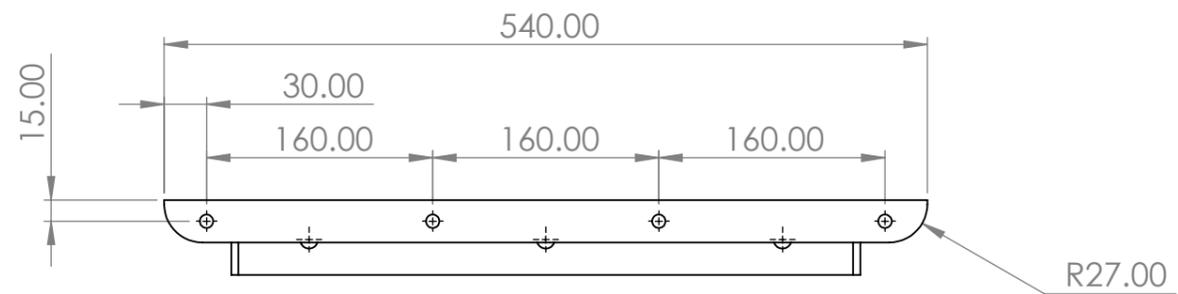
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 5

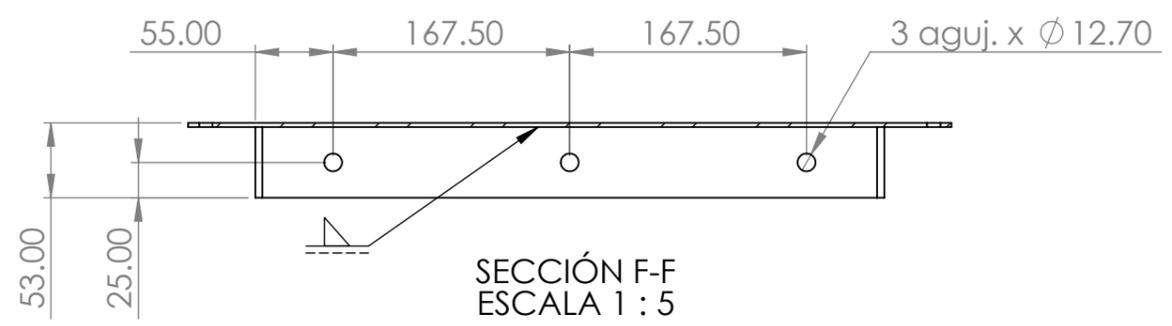
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.				TÍTULO: Pared de la chumacera menor		
VERIF.				N.º DE DIBUJO PDTP-PACMEN-01		
APROB.				MATERIAL: Acero SAE 1045		
FABR.				ESCALA: 1:5		
CALID.				PESO:		
				HOJA 1 DE 1		

A3

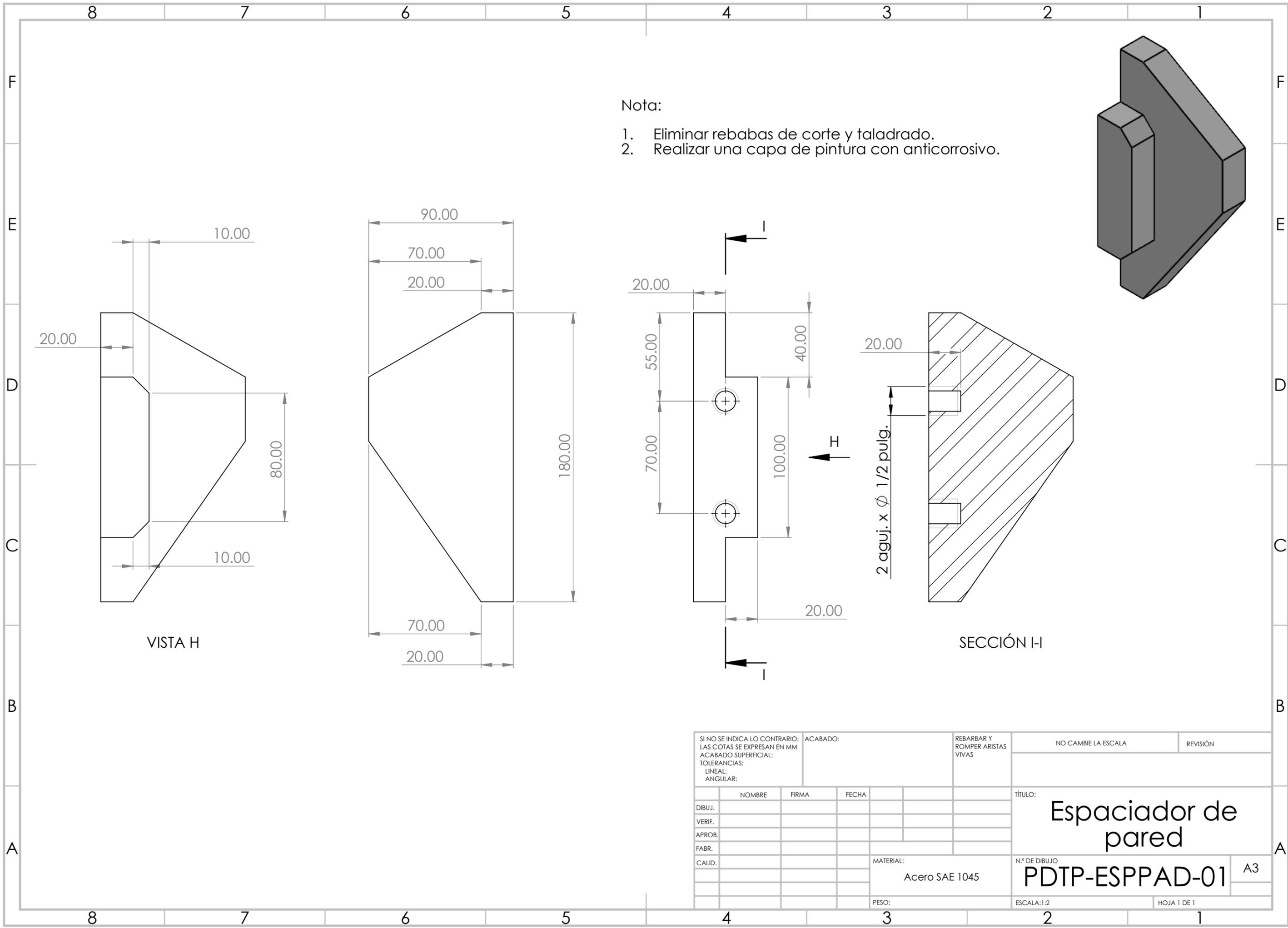


Nota:

1. Eliminar rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar una capa de pintura con anticorrosivo.

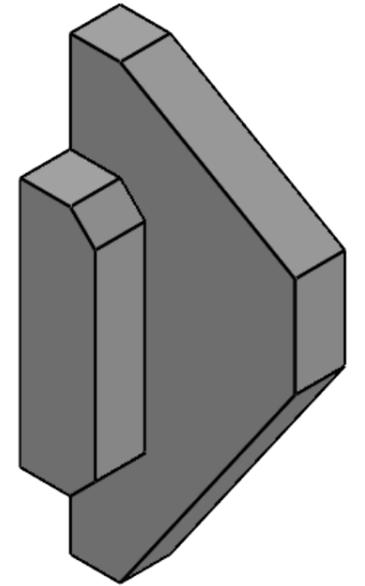


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		Pared lateral	
VERIF.						N.º DE DIBUJO		A3	
APROB.						MATERIAL:		PDTP-PARLAT-01	
FABR.						Acero SAE 1045		ESCALA: 1:5	
CALID.						PESO:		HOJA 1 DE 1	

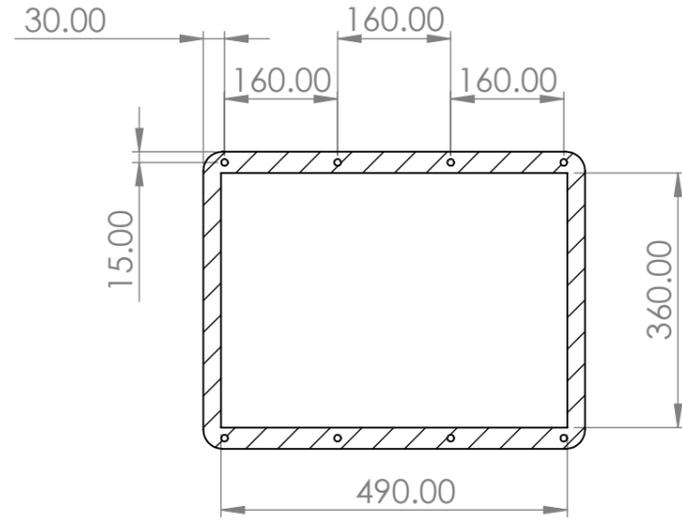
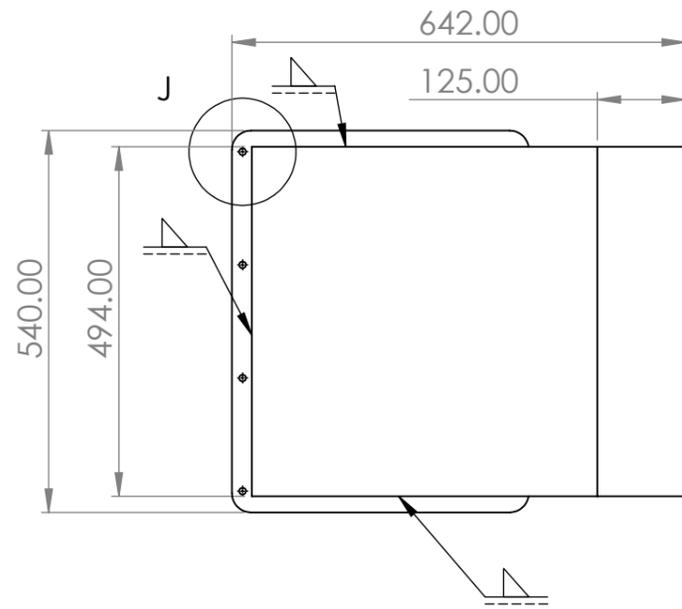


Nota:

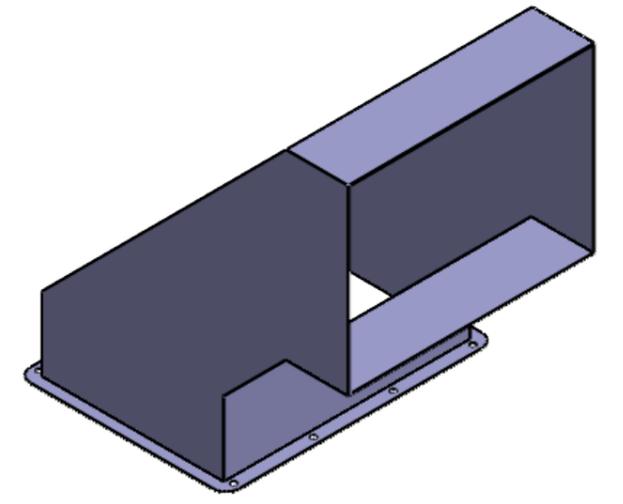
1. Eliminar rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar una capa de pintura con anticorrosivo.



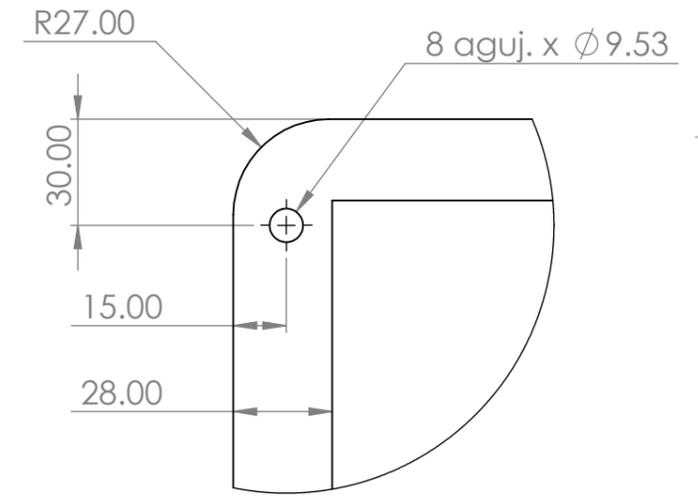
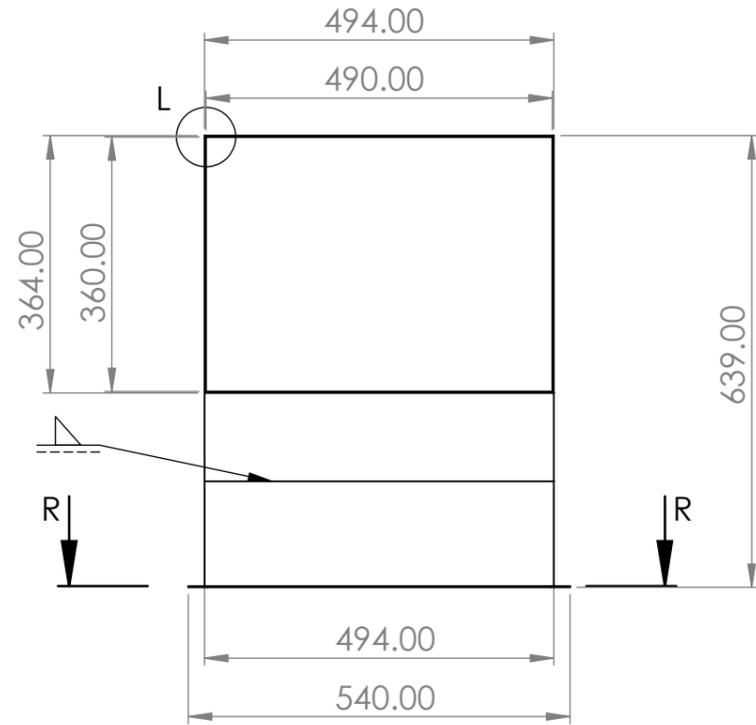
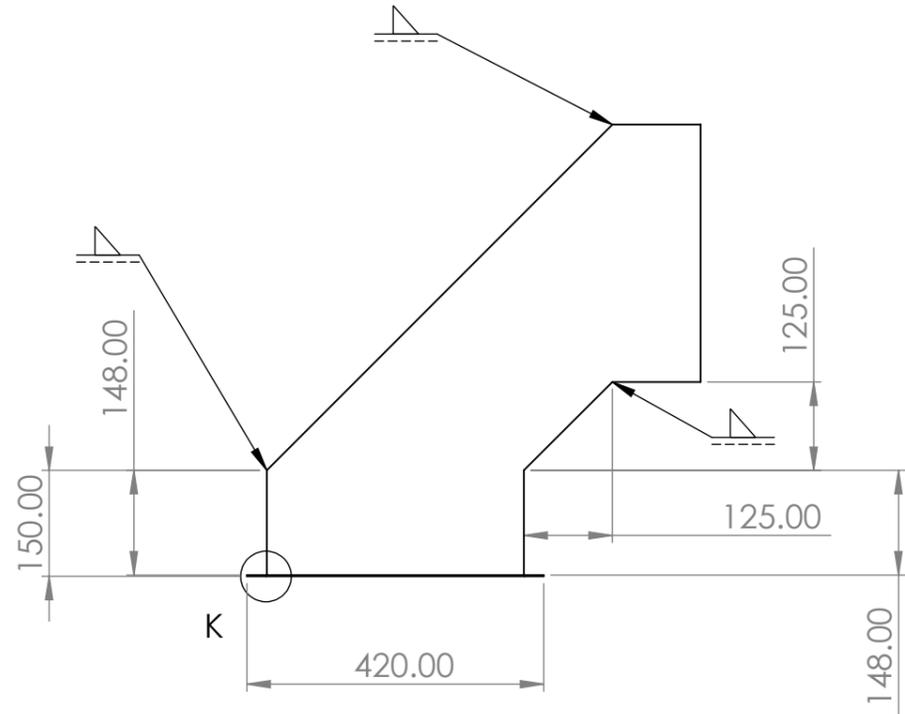
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE				FIRMA	FECHA	TÍTULO: Espaciador de pared
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO PDTP-ESPPAD-01
VERIF.						A3
APROB.						ESCALA:1:2
FABR.				MATERIAL: Acero SAE 1045		HOJA 1 DE 1
CALID.				PESO:		



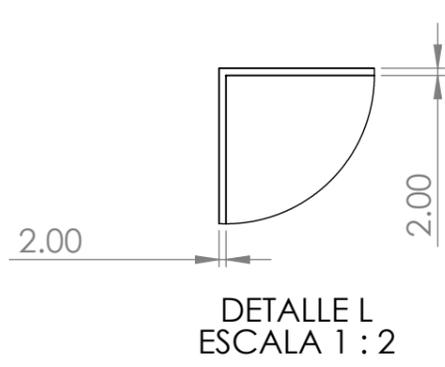
SECCIÓN R-R
ESCALA 1 : 10



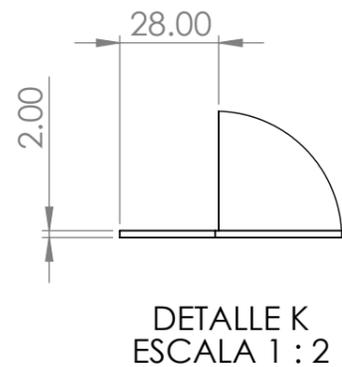
- Nota:
1. Eliminar rebabas de corte y taladrado.
 2. Realizar una capa de pintura con anticorrosivo.



DETALLE J
ESCALA 1 : 2

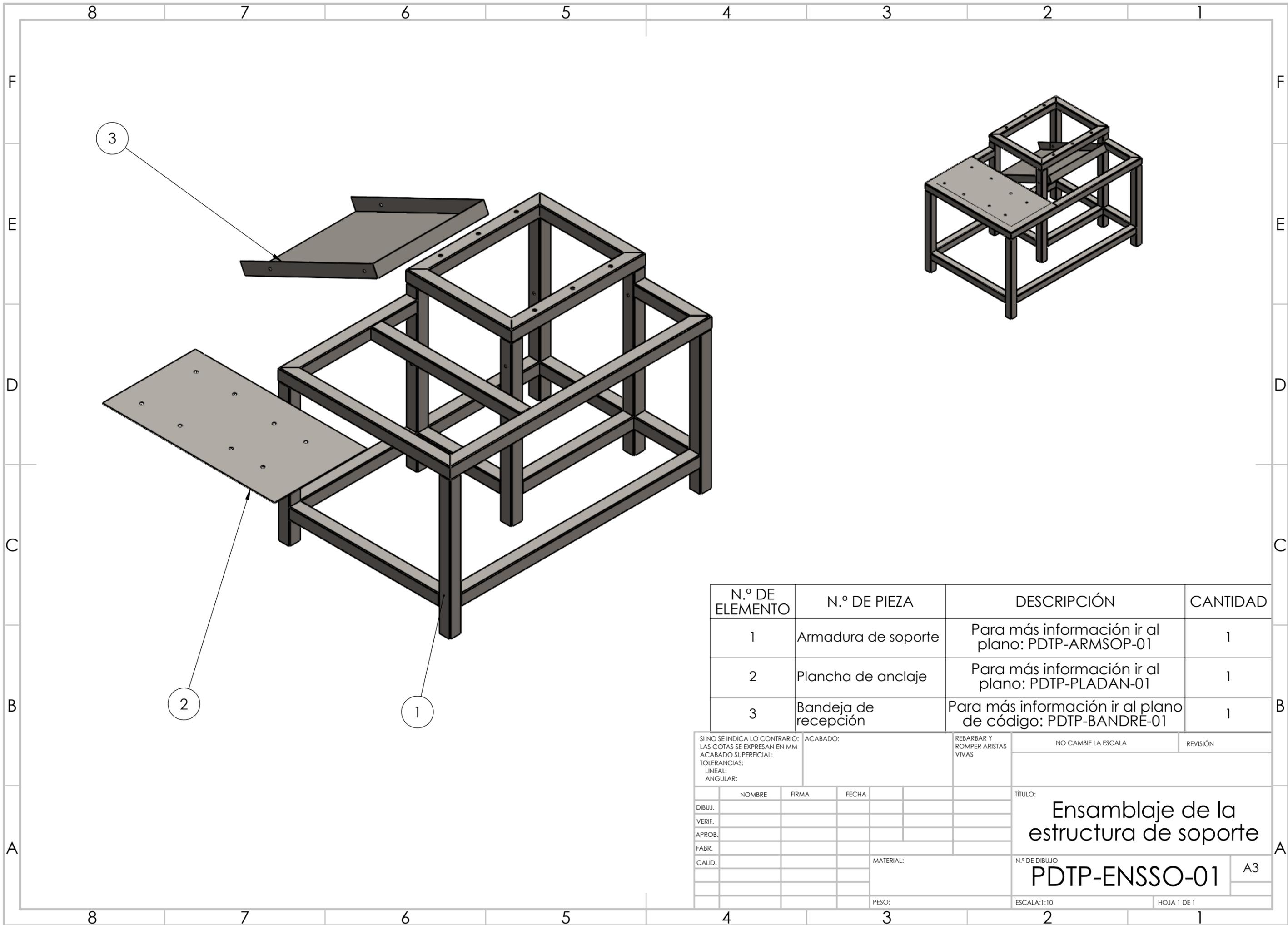


DETALLE L
ESCALA 1 : 2



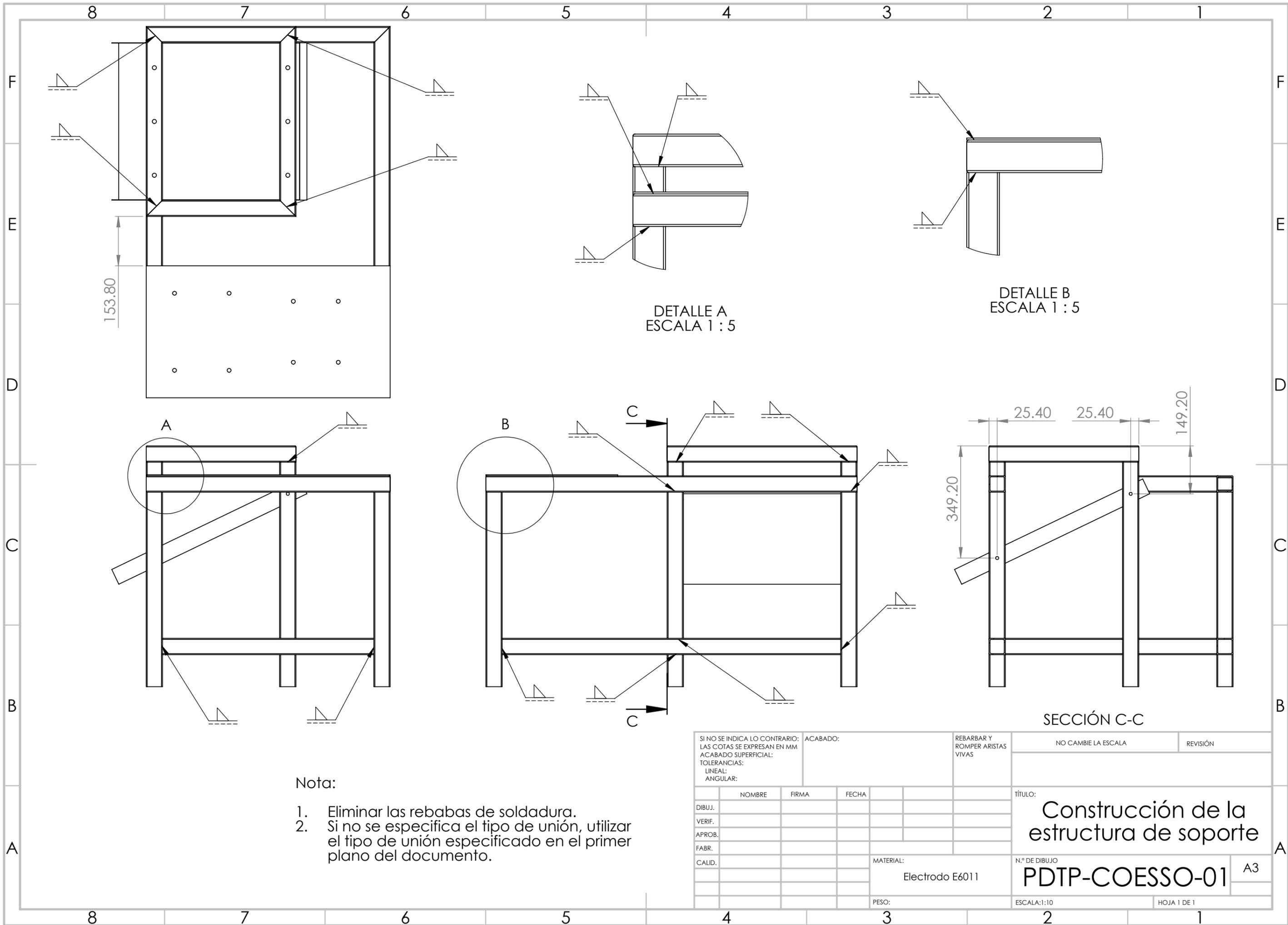
DETALLE K
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Tolva Inclinada	
VERIF.				N.º DE DIBUJO PDTP-TOLINC-01	
APROB.				A3	
FABR.				MATERIAL: Acero SAE 1045	ESCALA: 1:10
CALID.				PESO:	HOJA 1 DE 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Armadura de soporte	Para más información ir al plano: PDTP-ARMSOP-01	1
2	Plancha de anclaje	Para más información ir al plano: PDTP-PLADAN-01	1
3	Bandeja de recepción	Para más información ir al plano de código: PDTP-BANDRE-01	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Ensamblaje de la estructura de soporte			
DIBUJ.			N.º DE DIBUJO PDTP-ENSSO-01			
VERIF.			A3			
APROB.			ESCALA:1:10			
FABR.			HOJA 1 DE 1			
CALID.			PESO:			



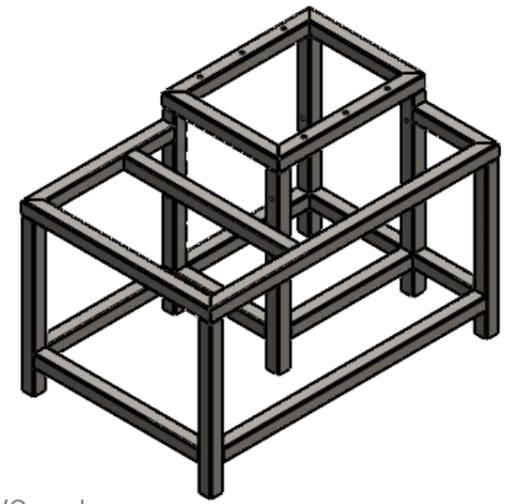
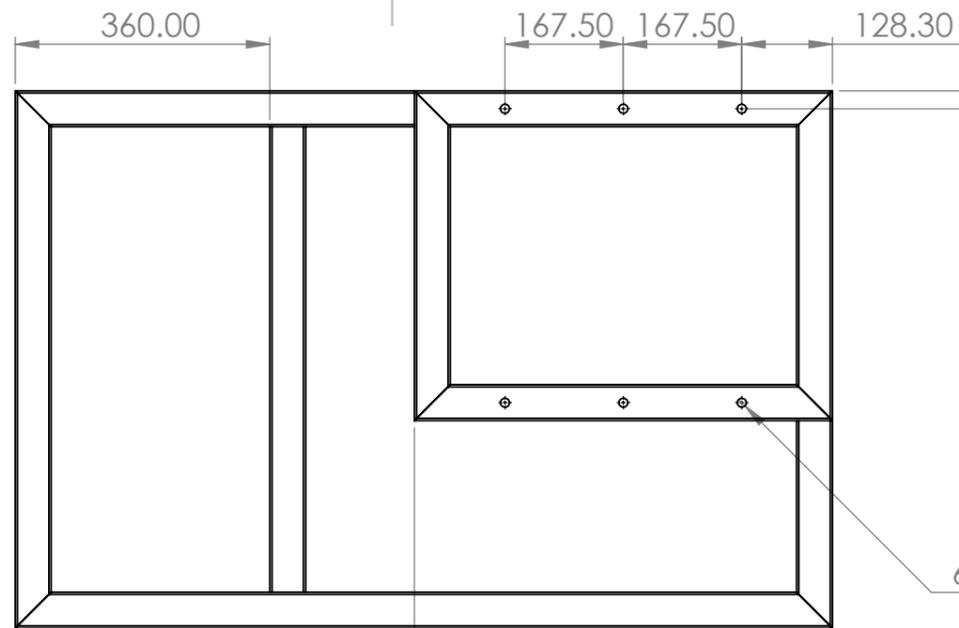
Nota:

1. Eliminar las rebabas de soldadura.
2. Si no se especifica el tipo de unión, utilizar el tipo de unión especificado en el primer plano del documento.

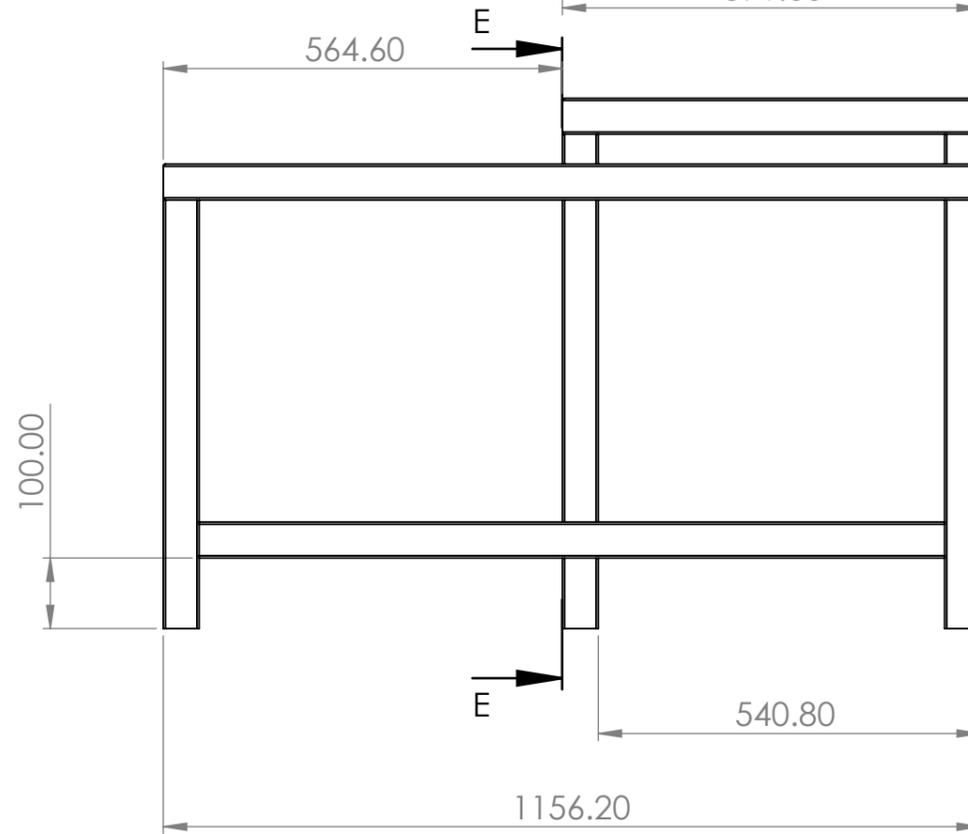
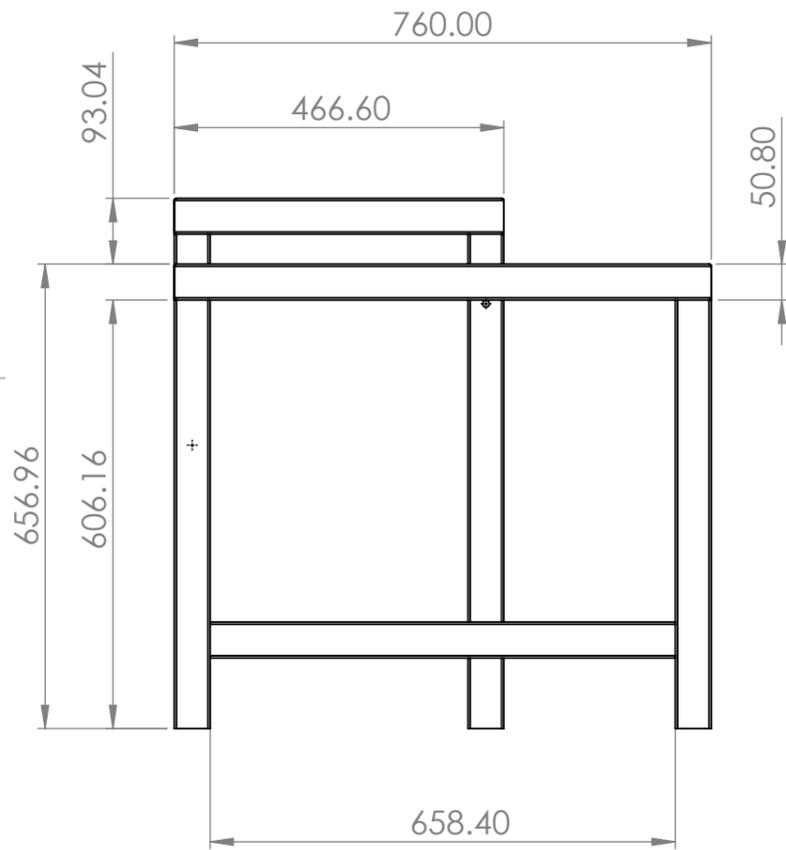
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.				TÍTULO: Construcción de la estructura de soporte		
VERIF.				N.º DE DIBUJO PDTP-COESSO-01		
APROB.				A3		
FABR.				MATERIAL: Electrodo E6011		
CALID.				ESCALA:1:10		
				HOJA 1 DE 1		

Nota:

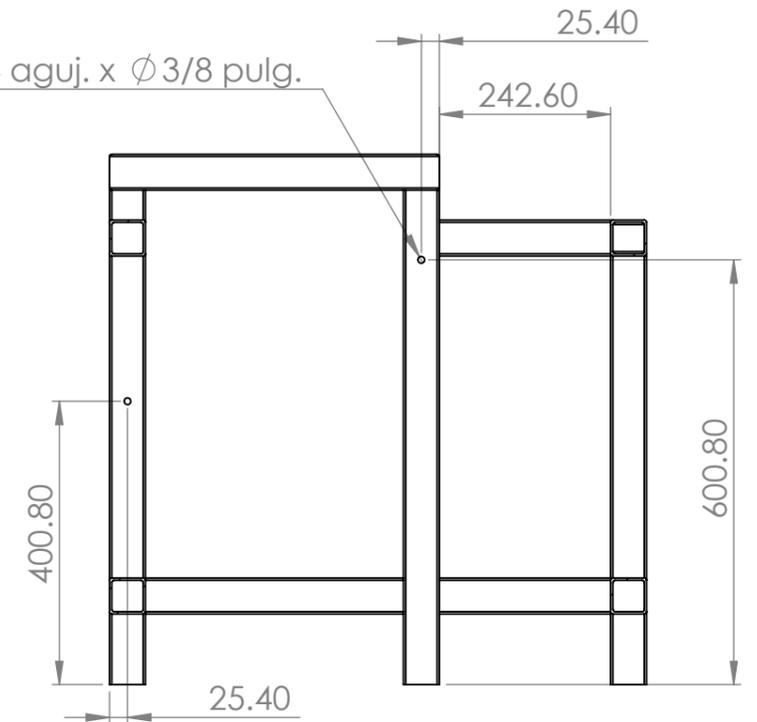
1. Eliminar las rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar dos capas de pintura. La primera capa debe de aplicar un tipo de pintura anticorrosiva.



6 aguj. x ϕ 1/2 pulg.

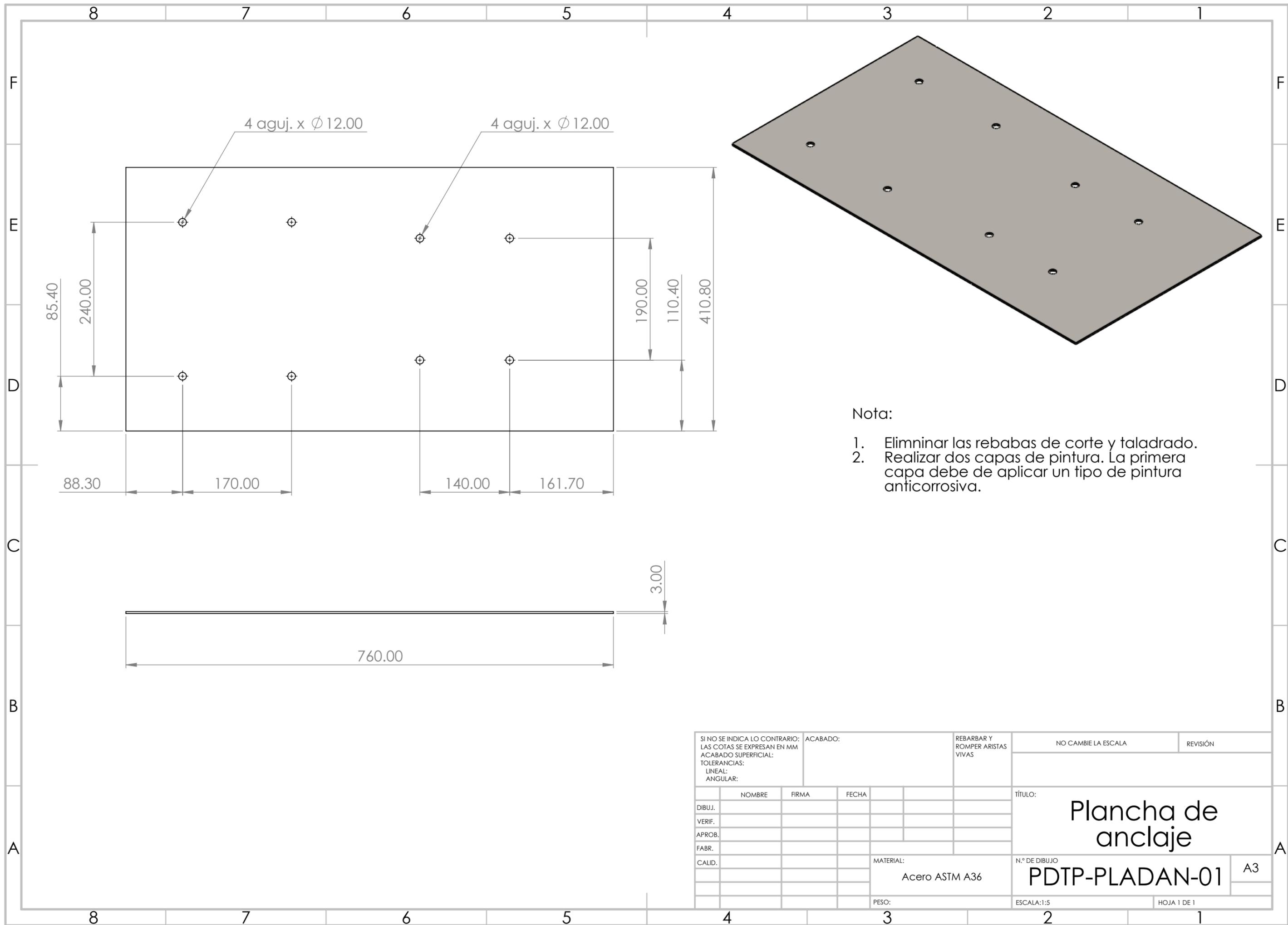


4 aguj. x ϕ 3/8 pulg.



SECCIÓN E-E

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: Armadura de soporte	
VERIF.					N.º DE DIBUJO PDTP-ARMSOP-01	A3
APROB.				MATERIAL: Acero ASTM A36 Perfil metálico 2"x2"x1/8"	ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1
FABR.				PESO:		
CALID.						



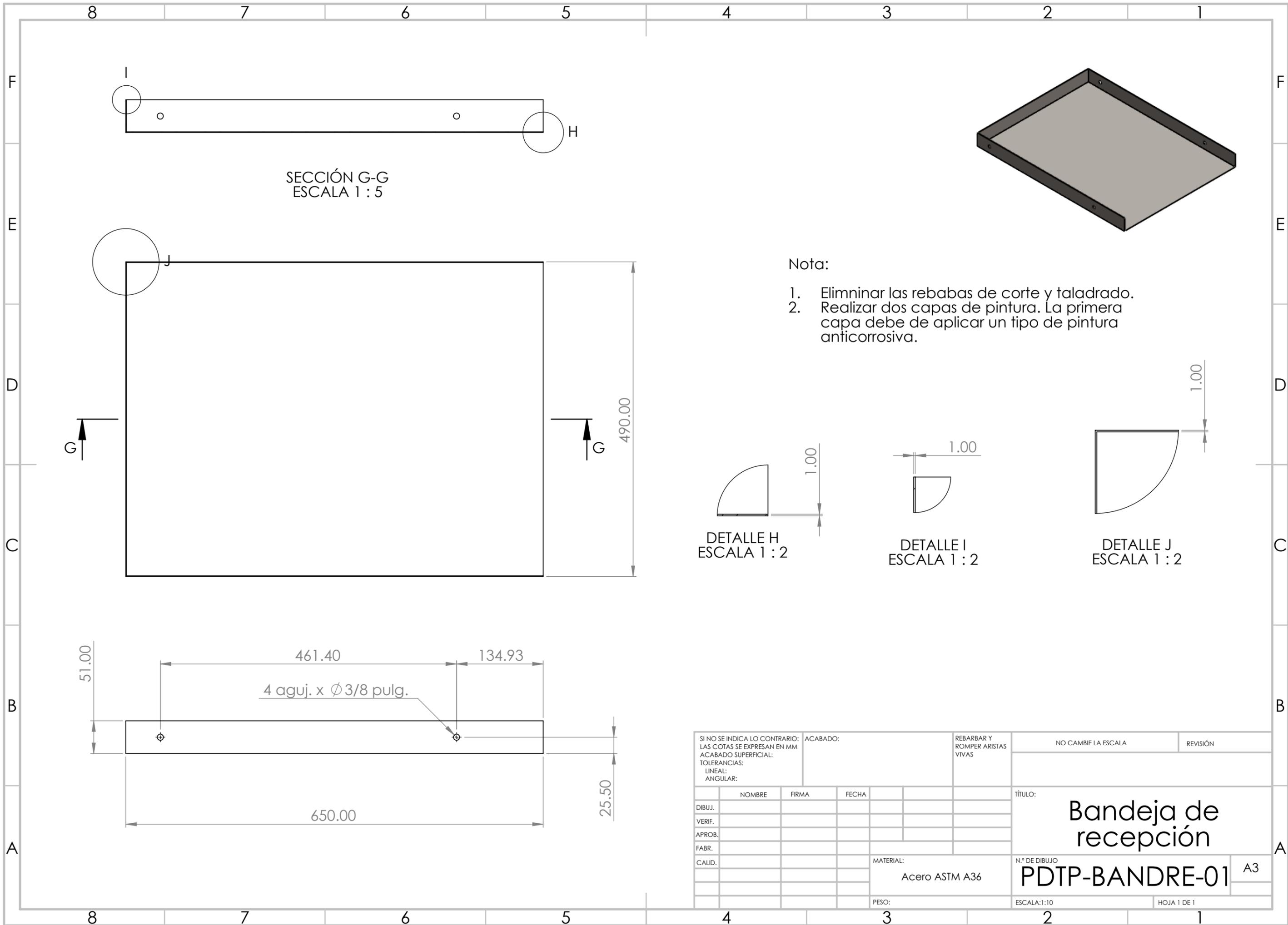
4 aguj. x ϕ 12.00

4 aguj. x ϕ 12.00

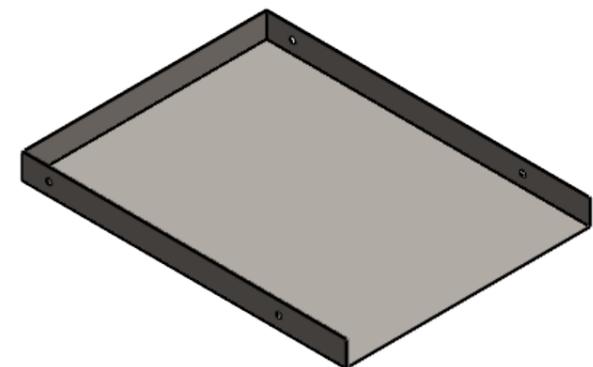
Nota:

1. Eliminar las rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar dos capas de pintura. La primera capa debe de aplicar un tipo de pintura anticorrosiva.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.								Plancha de anclaje	
APROB.									
FABR.								N.º DE DIBUJO	
CALID.						MATERIAL:		PDTP-PLADAN-01	
						Acero ASTM A36		A3	
						PESO:		ESCALA:1:5	
								HOJA 1 DE 1	

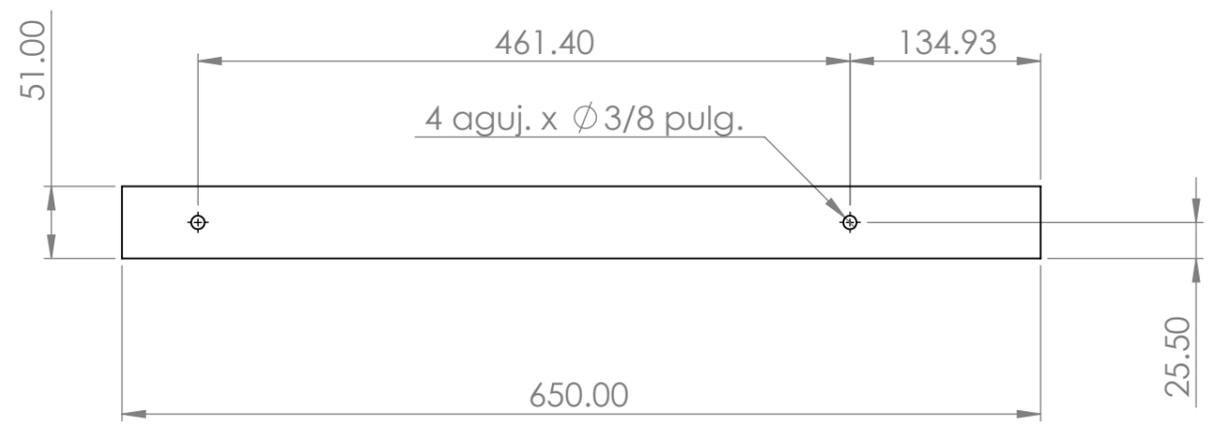
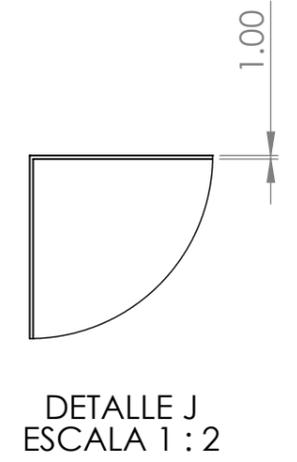
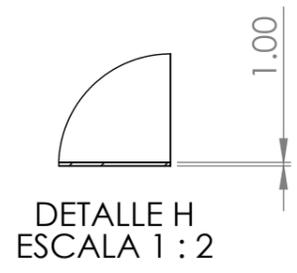


SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 5



Nota:

1. Elimninar las rebabas de corte y taladrado.
2. Realizar dos capas de pintura. La primera capa debe de aplicar un tipo de pintura anticorrosiva.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		Bandeja de recepción	
VERIF.						N.º DE DIBUJO		A3	
APROB.						MATERIAL:		Acero ASTM A36	
FABR.						PESO:		ESCALA:1:10	
CALID.						HOJA 1 DE 1			