

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UNA TRITURADORA ACTUADA POR SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA ELIMINAR BOTELLAS PLÁSTICAS EN LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

JEISSON MAURO CHAVEZ TANTARICO

ASESOR

JUAN CARLOS VIVES GARNIQUE

<https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE UNA TRITURADORA ACTUADA POR
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ELIMINAR
BOTELLAS PLÁSTICAS EN LA UNIVERSIDAD
CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

PRESENTADA POR
JEISSON MAURO CHAVEZ TANTARICO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alejandro Segundo Vera Lázaro
PRESIDENTE

Elmer Rolando Polo Briceño
SECRETARIO

Juan Carlos Vives Garnique
VOCAL

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis padres, Segundo y Teodolinda por su enorme esfuerzo, apoyo incondicional y por haber confiado todos estos años en mí.

Índice

Resumen	11
Abstract	12
I. Introducción	13
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo general	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
1.2. Justificación	14
1.3. Situación problemática	14
1.3.1. Formulación del problema	15
II. Marco teórico	16
2.1. Estado del arte	16
2.1.1. Productos similares existentes	17
2.2. Bases teórico científicas	18
2.2.1. Plásticos	18
2.2.2. Ventajas de los plásticos	18
2.2.3. Clasificación de los plásticos	19
2.2.4. Tereftalato de polietileno (PET)	20
2.2.5. Propiedades del PET	21
2.2.6. Reciclaje	21
2.2.7. Tecnologías de reciclado para el PET	21
2.2.8. Máquina	25
2.2.9. Trituración	25
2.2.10. Tipos de trituradoras	26
2.2.11. Radiación solar	40
2.2.12. Instalación solar fotovoltaica aislada	41
III. Diseño	55
3.1. Metodología	55
3.1.1. Estadística	55
3.1.2. Muestras y población	55
3.1.3. Encuestas	57
3.1.4. Parámetros de diseño	58
3.1.5. Hipótesis	59
3.1.6. Variables	59

3.2.	Diseño conceptual de máquina	60
3.2.1.	Estructura de funciones	60
3.2.2.	Descripción de funciones.....	60
3.2.3.	Requisitos del diseño	61
3.2.4.	Criterios de valoración.....	61
3.2.5.	Matriz morfológica	63
3.3.	Selección conceptual de máquina	64
3.3.1.	Lista de soluciones	64
3.3.2.	Criterios de importancia y ponderación.....	66
3.3.3.	Valoración de criterios	67
3.3.4.	Matriz de decisión.....	69
3.4.	Selección conceptual de instalación fotovoltaica.....	70
IV.	Resultados	72
4.1.	Cálculo del tamaño de muestra	72
4.1.1.	Promedio muestral	72
4.1.2.	Varianza muestral	72
4.1.3.	Máximo error de muestreo tolerado.....	72
4.1.4.	Nivel de confianza.....	72
4.1.5.	Tamaño de muestra	72
4.2.	Análisis de encuestas.....	75
4.3.	Masa promedio de cada envase	81
4.4.	Flujo de botellas por día	81
4.5.	Capacidad de producción de la máquina trituradora.....	81
4.6.	Cálculos de la máquina trituradora	81
4.6.1.	Fuerza de corte.....	84
4.6.2.	Energía de trituración	86
4.6.3.	Potencia de corte.....	87
4.6.4.	Potencia a transmitir por elemento.....	88
4.6.5.	Cálculo de potencia del motor	89
4.6.6.	Cálculo de poleas y fajas	89
4.6.7.	Cálculo de transmisión por engranajes	94
4.6.8.	Cálculo del eje	99
4.6.9.	Selección de rodamientos	115
4.7.	Manual de uso de la máquina	117
4.8.	Selección de materiales para fabricación.....	117

4.9.	Cálculos del sistema fotovoltaico	118
4.9.1.	Selección de paneles solares	122
4.9.2.	Selección de baterías.....	125
4.9.3.	Selección de reguladores	126
4.9.4.	Selección del convertidor	127
4.9.5.	Selección de ángulo óptimo de paneles solares	128
4.9.6.	Selección de estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos	129
4.9.7.	Dimensionamiento de conductores.....	131
4.10.	Análisis económico y financiero	136
4.10.1.	Costos de máquina	136
4.10.2.	Costos de instalación fotovoltaica.....	136
4.10.3.	Presupuesto total del proyecto	137
4.10.4.	Rentabilidad del proyecto (análisis financiero).....	137
V.	Simulación	139
5.1.	Análisis estático de cuchilla.....	139
5.2.	Análisis estático y de fatiga del eje	140
5.3.	Análisis estático de estructura	142
VI.	Conclusiones.....	145
VII.	Recomendaciones.....	146
VIII.	Referencias bibliográficas	147
IX.	Anexos.....	150

Lista de figuras

Figura 1: Aplicaciones y usos de los termoplásticos	19
Figura 2: Envases de PET.....	20
Figura 3: Simbología de reciclaje.....	21
Figura 4: Reciclado químico de envases PET	23
Figura 5: Diagrama del proceso de reciclado mecánico del PET	24
Figura 6: Proceso de reciclado mecánico	24
Figura 7: Métodos de trituración	25
Figura 8: Cortadora rotativa tipo picadora de forraje	26
Figura 9: Molino de martillos.....	27
Figura 10: Molino de discos	28
Figura 11: Molino de cuchillas.....	28
Figura 12: Trituradora de martillos	29
Figura 13: Trituradora de mandíbula.....	30
Figura 14: Trituradora de cuchillas	31
Figura 15: Geometría de banda plana.....	32
Figura 16: Banda en V.....	33
Figura 17: Abreviatura de nomenclatura Optibelt.....	33
Figura 18: Engranés.....	34
Figura 19: Engranés rectos	34
Figura 20: Nomenclatura de engranes rectos	34
Figura 21: Cojinete de una hilera de bolas con ranura profunda.....	38
Figura 22: Rodamiento de bolas con contacto angular.....	39
Figura 23: Rodamiento de rodillos cilíndricos	40
Figura 24: Rodamiento de rodillos esféricos	40
Figura 25: Panel solar fotovoltaico.....	42
Figura 26: Horas de pico solar.....	43
Figura 27: Batería estacionaria monobloc	46
Figura 28: Batería estacionaria translúcida	47
Figura 29: Batería estacionaria hermética	47
Figura 30: Batería níquel cadmio	48
Figura 31: Regulador.....	50
Figura 32: Convertidor	52
Figura 33: Señal de salida de los convertidores	52
Figura 34: Ángulo de acimut	53
Figura 35: Ángulo de inclinación	53
Figura 36: Componentes de la botella.	58
Figura 37: Estructura de funciones	60
Figura 38: Funciones de máquina.....	61
Figura 39: Matriz morfológica	63
Figura 40: Selección de instalación fotovoltaica.....	70
Figura 41: Disposición de componentes de trituradora.....	82
Figura 42: Cuchilla de corte	84
Figura 43: Tipo de faja	90
Figura 44: Perfil de polea para 1 faja	92

Figura 45: Perfil de polea para 2 fajas	93
Figura 46: Disposición de transmisión por fajas	94
Figura 47: Disposición de transmisión por engranes.....	95
Figura 48: Referencia de disposición del eje.....	99
Figura 49: Diagrama de cuerpo libre del eje mayor	100
Figura 50: Medidas de cuchilla	103
Figura 51: Referencia de áreas para cálculo de masa.....	103
Figura 52: Cargas en el plano ZX.....	104
Figura 53: Fuerzas cortantes y momentos flectores en eje x.....	106
Figura 54: Cargas en el plano ZY.....	107
Figura 55: Fuerzas cortantes y momentos flectores en eje Y	109
Figura 56: Factor Kfs.....	114
Figura 57: Factor de sensibilidad a la muesca q.....	114
Figura 58: Latitud de ubicación.....	119
Figura 59: Irradiación solar diaria	120
Figura 60: estructura de soporte	129
Figura 61: Área de paneles fotovoltaicos	130
Figura 62: Área de control.....	130
Figura 63: Esquema de área de control	131
Figura 64: Esquema de instalación fotovoltaica.....	135
Figura 65: cargas aplicadas a estructura zona 1	143
Figura 66: carga aplicada a zona 2	143
Figura 67: factor de seguridad de estructura	144

Lista de tablas

Tabla 1: Ventajas de los plásticos.....	18
Tabla 2: Propiedades del PET	21
Tabla 3: Métodos de trituración por clase de material	25
Tabla 4: Nivel de confianza.....	57
Tabla 5: Características de la botella.....	59
Tabla 6: Ponderación de criterios.....	67
Tabla 7: Valoración de criterios	68
Tabla 8: Matriz de decisión	69
Tabla 9: Régimen de trabajo.....	71
Tabla 10: Número de encuestas por carrera profesional.....	74
Tabla 11: Volumen de botellas PET.....	82
Tabla 12: Datos técnicos del PET.....	85
Tabla 13: Número de dientes.....	95
Tabla 14: Irradiación mensual	119
Tabla 15: Máxima demanda de la carga.....	121
Tabla 16: Características técnicas de panel fotovoltaico.....	122
Tabla 17: Tensión de trabajo de sistema fotovoltaico	124
Tabla 18: Selección de panel fotovoltaico.....	125
Tabla 19: Presupuesto de la máquina	136
Tabla 20: Presupuesto de instalación fotovoltaica	136
Tabla 21: Costo total del proyecto.....	137
Tabla 22: Cálculo de bonos de carbono.....	137
Tabla 23: Flujo de caja	138

Lista de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia	150
Anexo 2: Muestra piloto de consumo total diario de bebidas en plástico PET	151
Anexo 3: Muestra piloto	152
Anexo 4: Encuesta	153
Anexo 5: Dimensiones de botella pet	154
Anexo 6: Selección de motor.....	158
Anexo 7: Factor de servicio de faja	159
Anexo 8: Selección de poleas estándar	160
Anexo 9: Selección de longitud de faja estándar.....	161
Anexo 10: Potencia nominal de faja.....	162
Anexo 11: Factor de ángulo de contacto	163
Anexo 12: Factor de desarrollo de fajas	164
Anexo 13: Selección de factores para engranajes	165
Anexo 14: Peso de polea conducida	171
Anexo 15: Peso de engranaje	172
Anexo 16: Peso de separador	173
Anexo 17: Acero de eje	174
Anexo 18: Factor de modificación de superficie.....	174
Anexo 19: Factor de confiabilidad	175
Anexo 20: Tiempo de vida de rodamientos.....	175
Anexo 21: Selección de rodamientos	176
Anexo 22: Propiedades de acero AISI D2.....	177
Anexo 23: Energía solar incidente diaria de Lambayeque	178
Anexo 24: Calibre de conductores eléctricos	179
Anexo 25: Maquinas del mercado	180
Anexo 26: Planos.....	181

Resumen

En los últimos años, la comunidad estudiantil de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo ha ido incrementado considerablemente y por lo tanto el consumo de bebidas. Este suceso ha traído como consecuencia el aumento de residuos sólidos de plástico en el campus universitario. En el presente trabajo de investigación se diseñó una máquina trituradora de botellas de plástico PET con ayuda de las herramientas matriz morfológica, seguido de una matriz de decisión y luego con el software Solidworks, con el único fin de facilitar el reciclaje y hacer más eficiente el manejo de residuos sólidos plásticos en la Universidad. Además, la máquina será actuada por un sistema fotovoltaico, que aprovecha la energía solar para generar energía eléctrica. Este sistema utiliza energía renovable y produce poca o ninguna emisión de carbono, es silenciosa y de bajo costo a largo plazo. Con ayuda de la estadística se realizó 378 encuestas dentro del campus universitario para cuantificar el consumo de bebidas, siendo así un consumo aproximado de 1 674 botellas por día o 30 kg de PET por día. El diseño de la máquina se inicia con el cálculo de la fuerza de corte, luego la potencia de accionamiento (3 HP), las transmisiones flexibles, transmisión por engranajes, ejes y finalmente los rodamientos. Los elementos que conforman la trituradora son: motor, tolva cerrada, cuchillas, separadores, ejes, engranajes, poleas, bandas en V, rodamientos y su propia estructura. Con la energía solar incidente en la localidad y la máxima demanda de carga para el sistema fotovoltaico se calculó y seleccionó 9 paneles fotovoltaicos, 6 baterías, 3 reguladores, un inversor, cables conductores y 3 estructuras para el soporte de paneles. Con el VAN y TIR se determinó que el proyecto de tesis es factible desde el punto de vista económico ya que el retorno de la inversión se da en 4 años.

Palabras clave: Diseño, trituradora, PET y sistema fotovoltaico.

Abstract

In recent years, the student community of the Santo Toribio de Mogrovejo Catholic University has increased considerably and therefore the consumption of beverages. This event has resulted in an increase in solid plastic waste on the university campus. In the present research work, a PET plastic bottle crushing machine was designed with the help of the morphological matrix tools, followed by a decision matrix and then with the Solidworks software, with the sole purpose of facilitating recycling and making recycling more efficient. management of solid plastic waste at the University. In addition, the machine will be operated by a photovoltaic system, which uses solar energy to generate electricity. This system uses renewable energy and produces little or no carbon emissions, is quiet and low cost in the long run. With the help of statistics, 378 surveys were carried out within the university campus to quantify the consumption of beverages, thus being an approximate consumption of 1,674 bottles per day or 30 kg of PET per day. The design of the machine starts with the calculation of the cutting force, then the drive power (3 HP), the flexible transmissions, gear transmission, shafts and finally the bearings. The elements that make up the shredder are: motor, closed hopper, blades, separators, shafts, gears, pulleys, V-belts, bearings and its own structure. With the incident solar energy in the locality and the maximum load demand for the photovoltaic system, 9 photovoltaic panels, 6 batteries, 3 regulators, an inverter, conductor cables and 3 structures for supporting the panels were calculated and selected. With the VAN and TIR it was determined that the thesis project is feasible from the economic point of view since the return on investment occurs in 4 years.

Keywords: Design, crusher, PET and photovoltaic system.

I. Introducción

En 1970 se celebró por primera vez el día de la Tierra, se señaló el desarrollo de un nuevo nivel de conciencia y preocupación sobre el medio ambiente. En 1976, el gobierno federal de los Estados Unidos aprobó la ley sobre conservación de recursos y recuperación (RCRA), en la que se promovía la reutilización, reducción, incineración y reciclado de materiales. Esto condujo a propiciar cambios importantes en dos campos: la manipulación de residuos peligrosos y reciclado de materiales no peligrosos como el plástico [1].

Actualmente en el mundo en que vivimos sería difícil dejar de usar los plásticos porque ya estamos acostumbrados a emplearlos a diario. Este producto se ha vuelto un estilo de vida para todos, lo encontramos a todo momento y en todas partes: utensilios de cocina, envases de bebidas, bolsas, cables eléctricos, en tuberías y hasta en nuestra vestimenta.

El problema más grande que tienen estos productos es que luego de desecharse de una manera no adecuada tardan cientos de años en degradarse generando así contaminación ambiental y problemas de salud en la población. Un ejemplo claro son las bebidas envasadas mayormente en plástico PET, que luego de cumplir su objetivo se arrojan inadecuadamente por la calle tardando cientos de años en degradarse y peor aún, si se entierran suelen tardar más años en degradarse.

Es importante reflexionar sobre nuestros actos y empezar a cuidar nuestro medio ambiente, a no explotar los recursos naturales y apoyar las 3R, es decir, “Reducir, Reciclar, Reutilizar” para el bien de todos nosotros.

En el presente el trabajo de investigación se pretende diseñar una máquina trituradora de botellas de plástico PET, especialmente las de agua, gaseosas y rehidratantes con el único fin de facilitar el reciclaje y hacer más eficiente el manejo de residuos sólidos plásticos en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Además, la máquina será actuada por un sistema fotovoltaico, que aprovecha la energía solar para generar energía eléctrica. Esta es una energía renovable y produce poca o ninguna emisión de carbono, es silenciosa y es de bajo costo a largo plazo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Diseñar una trituradora actuada por un sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de botellas plásticas PET del campus universitario por día.
- Calcular la capacidad de producción de la máquina trituradora.
- Diseñar los componentes de la máquina trituradora y dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Evaluar económica y financieramente el proyecto.

1.2. Justificación

Se justifica en lo social al crear conciencia en las personas al implementar una nueva cultura de reciclaje en nuestra región y país que tanta falta hace.

Se justifica en lo ambiental con el uso de máquinas trituradoras como medio eficiente para reducir la contaminación y acumulación de residuos sólidos en el medio ambiente.

La justificación tecnológica se da con el uso de una máquina trituradora actuada por un sistema fotovoltaico, la cual permite un manejo eficiente de residuos y un sistema amigable con la naturaleza (energías renovables) al no depender de energía eléctrica proporcionada por la red.

Económicamente se justifica con el ahorro en costos de facturación de energía eléctrica, así como la venta de hojuelas para retorno de la inversión.

1.3. Situación problemática

En los últimos años, con el incremento de la población estudiantil en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ha incrementado también el consumo de todo tipo bebidas en el campus, especialmente la de bebidas de agua, gaseosa y

rehidratantes. Por esta razón, creció considerablemente el volumen de residuos sólidos plásticos en el campus, la cual trae como consecuencia la polución por plástico que es la acumulación de productos plásticos en el medio ambiente.

Otro efecto importante del aumento de residuos sólidos plásticos en el campus es que la descomposición de estos residuos tarda miles de años y al no reciclarse por completo generan contaminación ambiental y problemas de salud.

Con el fin de erradicar la acumulación de residuos sólidos plásticos dentro del campus universitario se debe hacer uso de trituradoras.

1.3.1. Formulación del problema

Hechas las consideraciones anteriores, cabe señalar que la siguiente tesis está orientada a responder la siguiente interrogante:

¿Se consigue eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo con el diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico?

II. Marco teórico

2.1. Estado del arte

Reciclar botellas de plástico PET es bueno para la conservación del medio ambiente, todos tenemos la posibilidad de hacerlo y convertirlo en un hábito.

El Ingeniero Jaime Cámara Creixell construyó la planta de reciclaje de botellas PET más grande del mundo en Toluca, México denominada PetStar. La expansión y construcción concluyó a finales del 2013.

La empresa PetStar fue constituida en el año 2006 mediante una asociación entre Avangard Mexico con Promotora Ambiental (PASA).

Es un edificio de 10 pisos creado para impactar lo menos posible al ecosistema del lugar, se reciclan 3 100 millones de botellas de plástico al año, cantidad que podría llenar el estadio Azteca 2,5 veces. En total, se producen 50 000 toneladas de resina reciclada de Pet.

En la actualidad otorga trabajo a casi 1 000 personas directamente y 25 000 personas indirectamente [2].

El proceso de reciclaje en PetStar se detalla a continuación:

Primero, en un almacén se guarda la materia prima, es decir, bloques de botellas que pueden contener hasta 700 kg. Luego pasan a un contenedor, donde comenzara el proceso de prelavado en seco, en el que la máquina en un proceso químico, elimina la suciedad superficial y retira las etiquetas, polvo o tierra.

Posteriormente, en otra área, una banda transportadora las envía a un cuarto de molienda, transformándola en hojuelas. Estas son lavadas nuevamente para quitarles algún rastro de pegamento. Después, en otro cuarto se elimina el agua o humedad.

A continuación pasan por un silo y pasan control de calidad. Luego se funden y se transforman en pequeñas porciones de resina aglomerada: que serán enviadas a una zona donde mediante nitrógeno se removerán sobrantes de material en los bordes, para luego pasar a un proceso de cristalización y policondensación – reacción química para formar polímeros, lo que hace más resistente a la resina, y apta para formar nuevas botellas o envases para alimentos [3].

También puede utilizarse para crear playeras o bolsas.

2.1.1. Productos similares existentes

Con relación al trabajo de investigación se ha encontrado trabajos similares con los siguientes autores y temas:

Un primer trabajo corresponde a Mauricio Falconi y Robinson Tiaguaro (2009), quienes realizaron la propuesta de “diseñar y construir un molino triturador de botellas plásticas desechables” con la finalidad de incentivar el reciclaje y generar una fuente de trabajo. El diseño se inició con el cálculo del motor de accionamiento, luego las correas trapezoidales, selección de poleas, cálculo de eje del rotor, selección de rodamientos y cuchillas de corte, diseño de tolva y cámara de molienda, cálculo de uniones y finalmente el diseño de la estructura.

Se estableció para su venta un costo de ganancia del 25% que comparado con el precio de una maquina importada es menor que el 50% del costo. Un dato importante es que la máquina es un 80 % desmontable [4].

Un segundo trabajo corresponde a Alex Vásquez (2013) quien hizo la propuesta de “diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h del laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica” de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador. Se realizó encuestas a trabajadores de la Universidad para hallar el consumo promedio de botellas al día y dieron como resultado 812 botellas PET/día. Con este dato se inició el cálculo y diseño de la máquina, luego se dibujó y se hicieron análisis de tensiones y factores de seguridad con el programa computacional Solidworks. La máquina se diseñó para un flujo de materia prima de 15 kg/h con un recipiente de almacenamiento de 70 kg [5].

Un tercer trabajo corresponde a Diego Pilatasig y Freddy Pozo (2014), quienes realizaron la propuesta de diseño y construcción de una máquina para moler plástico PET para la microempresa de reciclaje “Santa Anita” en Ecuador. El trabajo se desarrolló con el objetivo de preservar el medio ambiente y mejorar el proceso de tratamiento del plástico PET en la microempresa. Las técnicas utilizadas en el trabajo fueron mediante la estadística y análisis de datos de las encuestas hechas en un principio. Como parte inicial del diseño se consideró una potencia de 10 HP para la

máquina. Sus principales piezas son: la cámara de molienda, las cuchillas de acero, las poleas, las cribas y la tolva. La máquina cumplió con las expectativas desde el punto de vista técnico y económico [6].

2.2. Bases teórico científicas

2.2.1. Plásticos

Los plásticos son un conjunto de materiales orgánicos que abarcan elementos como el carbono, combinado con otros elementos como el hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. El plástico es sólido es su etapa final, pero en una parte de su manufactura es suave para ser moldeado por diferentes técnicas por medio de calor y/o presión [7].

2.2.2. Ventajas de los plásticos

Las ventajas más resaltantes que brindan los plásticos con respecto a otros materiales se observan en la tabla 1:

Tabla 1: Ventajas de los plásticos

Propiedades	Notas
Ligereza	De masa pequeña. Poseen densidades bajas en el rango de 830 a 2.500 kg/m ³ .
Elasticidad	Soportan elevados esfuerzos sin fracturarse y recuperan su forma inicial cuando la fuerza es removida.
Resistencia a la fatiga	Soportan esfuerzos mecánicos y regresan a su lugar inicial.
Bajo coeficiente de fricción	No se calientan en exceso ante la fricción.
Aislamiento térmico	La conductividad térmica de los plásticos es mala, así que pueden ser utilizados para manijas de utensilios de cocina o recipientes para trasladar líquidos calientes.
Resistencia a la corrosión	Son muy buenos para resistir a los ácidos débiles y soluciones acuosas saladas.
Costo	La materia prima del plástico es más económico que la del metal.
Reciclabilidad	100 %

Fuente: El ABC de los plásticos [7]

2.2.3. Clasificación de los plásticos

Se clasifican en 3 grandes grupos:

2.2.3.1. Termoplásticos

Son plásticos con moléculas situadas de tal manera, que cuando el material es calentado sus moléculas se agotan y se vuelven más blandas. Esto hace que el material se pueda forjar por diferentes maneras y al momento de enfriarse hace que vuelva a su estado normal [7].

En la figura 1 se muestra las aplicaciones y usos de los principales termoplásticos:

Termoplásticos		Aplicaciones	Usos después del reciclado	
Poliétileno tereftalato	PET	 PET	Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD	 PE-HD	Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Poliétileno de baja densidad	PEBD	 PE-LD	Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC	 PVC	Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP	 PP	Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS	 PS	Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Figura 1: Aplicaciones y usos de los termoplásticos

Fuente: http://albinaparra.blogspot.pe/2013_05_01_archive.html

2.2.3.2. Termofijos

Denominados también termoestables. No sufren alteraciones al ser calentados y una vez que son sólidos no pueden volver a trabajar [7].

2.2.3.3. Elastómeros

Los elastómeros son de origen vegetal o sintético y poseen la propiedad de elongación de incluso 30 veces su tamaño usual regresando a su estado natural sin sufrir cambios. Existen elastómeros termofijos y elastómeros termoplásticos con la misma cualidad [7].

2.2.4. Tereftalato de polietileno (PET)

El PET es un poliéster aromático muy utilizado en los envases de bebida y textiles, pertenece al conjunto de los materiales sintéticos llamados poliésteres. El PET se caracteriza por su alta pureza, resistencia y tenacidad, es decir, tiene excelentes propiedades mecánicas.

Químicamente se obtiene por medio de la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol [8].



Figura 2: Envases de PET

Fuente: <https://historiasdeempaques.wordpress.com/tag/tereftalato-de-polietileno/>

2.2.5. Propiedades del PET

Tabla 2: Propiedades del PET

Fórmula molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Resistencia a la tracción [MPa]	55-75
Densidad como amorfo [g/cm^3]	1 370
Densidad como cristalino [g/cm^3]	1 455
Módulo de Young [MPa]	2 800-3 100
Punto de fusión [$^{\circ}C$]	260
Reciclabilidad [%]	100

Fuente: Vam der Vegt A.K., Govaert L.E. (2005), "Polymeren, van keten totkunstof, Ed. Centraal Boekhuis, Germany, pág. 24-28

2.2.6. Reciclaje

Es un procedimiento que consiste en someter un material ya utilizado a un tratamiento total o parcial, para obtener un nuevo producto. El reciclaje es una de las mejores alternativas para disminuir el volumen de los desechos en el mundo.

De otra manera se puede definir como, obtener materias primas a partir de desechos [9].



Figura 3: Simbología de reciclaje

Fuente: <https://twenergy.com/a/que-significan-los-simbolos-de-reciclaje-158>

2.2.7. Tecnologías de reciclado para el PET

Para el reciclaje del PET existen 2 formas las cuales se detallan a continuación:

2.2.7.1. Reciclado químico

El reciclado químico trata distintas fases mediante la cual las moléculas de los polímeros se destruyen dando lugar a sus materias primas como: ácido tereftálico purificado (PTA) o dimetil tereftalato (DMT) y etilenglicol (EG), que se pueden utilizar para elaborar nuevos productos plásticos.

El reciclado químico solo es rentable para líneas de más de 50 000 toneladas al año [5].

Los principales procesos existentes son:

✓ **Pirólisis:**

Es la separación de las moléculas por calentamiento en ausencia de oxígeno. Este procedimiento forma hidrocarburos líquidos o sólidos para luego ser procesados en refinerías. La pirolisis del plástico PET produce carbón activado.

✓ **Hidrogenación**

El tratamiento de los plásticos es con hidrógeno y calor. Las cadenas poliméricas del plástico PET son quebradas y transformadas en petróleo sintético que puede ser empleado en refinerías y plantas químicas por la ausencia de oxígeno.

✓ **Gasificación**

El plástico se calienta con aire u oxígeno. De esa manera, se obtienen el monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ser empleados para la elaboración del metanol o amoniaco.

✓ **Metanólisis**

Se trata de la aplicación del metanol en el PET. El PET se descompone en sus diversas partes para obtener sus moléculas básicas, incluido el dimetiltereftalato y el etilenglicol, los cuales pueden ser repolimerizados para crear resina virgen.

✓ **Chemolysis**

Consiste en la aplicación de poliésteres, poliuretanos, poliacetales y poliamidas. Se aplica procesos solvolíticos como la hidrólisis para reciclarlos y elaborarlos otra vez en monómeros básicos para la repolimerización de nuevos plásticos [10].



Figura 4: Reciclado químico de envases PET

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

[10]

2.2.7.2. Reciclado mecánico

Proceso más utilizado. Consiste en el lavado, separación y molienda de los envases.

El reciclado mecánico de plástico PET no contamina el medio ambiente, dicho de otra forma es menos o nada contaminante y de poca inversión al lado del reciclado químico.

El reciclado mecánico es la mejor alternativa que se puede tomar tomando en consideración que la mayoría de plásticos son derivados del petróleo, un recurso no renovable y el cual cada día es más costoso.

El reciclado mecánico tiene el siguiente proceso:

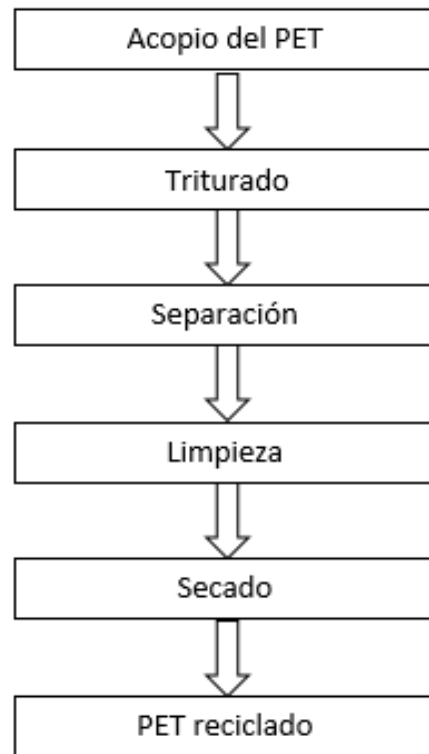


Figura 5: Diagrama del proceso de reciclado mecánico del PET

Fuente: Elaboración propia

En la *Figura 6* se muestra las etapas:



Figura 6: Proceso de reciclado mecánico

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>

[10]

2.2.8. Máquina

Los autores Mateo A, González A y González D definen como máquina a un “grupo de piezas u órganos unidos entre ellos, de los cuales uno por lo menos habrá de ser móvil, y en su caso, de órganos de accionamiento, circuitos de mando y de potencia, etc., asociadas de manera solidaria para una aplicación concreta” [11].

2.2.9. Trituración

Se entiende por trituración de sólidos a la conversión de un material en partes o trozos de menor tamaño por medio de machacado o molido [12].

Conforme a las propiedades físicas de un material como su dureza, su fragilidad o tenacidad se utilizan métodos diferentes de trituración, como se observa en la tabla 3:

Tabla 3: Métodos de trituración por clase de material

CLASE DE MATERIAL	CLASE DE TRITURACIÓN
Material duro	Presión, impacto
Material frágil	Fractura
Material tenaz	Escisión, corte

Fuente: Fundamentos de tecnología química para formación profesional [12]

En la figura 7 se detallan los métodos de trituración, siendo:

- a) Presión.
- b) Impacto.
- c) Fricción.
- d) Escisión.

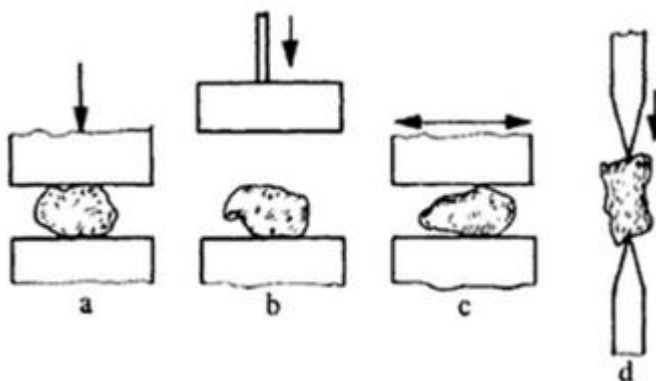


Figura 7: Métodos de trituración

Fuente: Fundamentos de tecnología química para formación profesional [12]

La reducción de tamaño del material suele realizarse en 2 etapas:

- a) Reducción preliminar: Trituración.
- b) Reducción fina: Molienda [13].

2.2.10. Tipos de trituradoras

Existen diferentes tipos de máquinas para el triturado de materiales tales como máquinas trituradoras, molinos y cortadoras. Para el presente trabajo se descarta las trituradoras de mandíbulas y trituradoras giratorias ya que las capacidades de estas máquinas son muy superiores a lo requerido en este proyecto, además de ser máquinas para trituración de materiales duros.

2.2.10.1. Máquinas cortadoras rotativas

Estas máquinas tienen una cámara de corte amplia la cual tiene un eje y cuchillas que se encuentran repartidas uniformemente en toda su longitud y pueden estar perpendicular al eje o con un ángulo de inclinación.

La máquina cortadora rotativa se puede alinear de forma horizontal o vertical siendo la ultima la más óptima y eficiente. Esta máquina gira a grandes revoluciones, ideal para la agropecuaria, es decir para moler materiales húmedos [5].



Figura 8: Cortadora rotativa tipo picadora de forraje

Fuente: A. Vásquez, «Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica,» Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Febrero, 2013 [5]

Los molinos tienen una relación de reducción de material muy alta, es decir, el producto es fino.

En el siguiente apartado se muestran los molinos que pueden ser utilizados para moler botellas de plástico PET.

2.2.10.2. Molino de martillos

Contienen en su interior martillos oscilantes que golpean el material al girar el molino. Los martillos están sujetos a pivotes y estos a un eje rotatorio.

El material que ingresa por la tolva es destruido por los martillos para luego pasar por el tamiz o criba.

Esta máquina trabaja por consecuencia de impacto, compresión, frotamiento y cizalladura del material, como se observa en la figura 9:

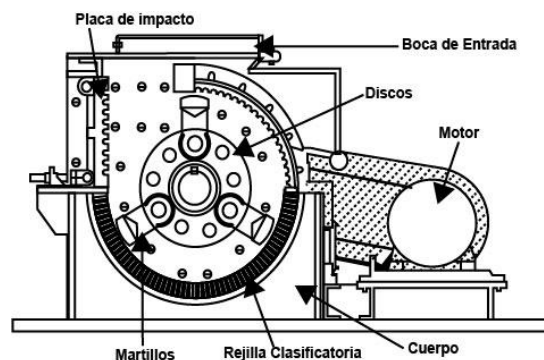


Figura 9: Molino de martillos

Fuente: <http://www.trituracionymolienda.com/Molinos.html>

2.2.10.3. Molino de discos

Existen 2 tipos de molino de discos: molino de disco único y de doble disco.

En el molino de disco único el material pasa a través de la separación estrecha que hay entre el disco que gira y la armadura estacionaria del molino.

El molino de doble disco, como su nombre lo dice, consiste en 2 discos, lisos o dentados, que están enfrentados y giran de manera opuesta. El material para moler cae por efecto de la gravedad. Este molino ha ido evolucionando hasta

conocerse como molino de rodillos. El grado de cizallamiento es mayor que la del molino de disco único.



Figura 10: Molino de discos

Fuente: A. Vásquez, «Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica,» Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Febrero, 2013 [5].

2.2.10.4. Molino de cuchillas

Parecido al molino de martillos. En este molino se pueden colocar distintos tipos de cuchillas. Tiene un tamiz el cual se encarga de controlar el tamaño de partículas. El tamaño de molido depende también de la longitud que hay entre las cuchillas del eje del rotor y las cuchillas estacionarias. La velocidad de rotación del molino de cuchillas oscila entre los 200 y 800 rpm.

Es recomendable que el material a moler no sobrepase el tamaño de las cuchillas y que la carga nunca venza la mitad de su capacidad [5].



Figura 11: Molino de cuchillas

Fuente: A. Vásquez, «Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica,» Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Febrero, 2013 [5].

Las trituradoras se utilizan mayormente para ruptura de materiales duros, tiene como principio de funcionamiento la compresión lenta, cizallamiento e impacto.

La trituración es la primera etapa de reducción de tamaño de cualquier material y tiene por finalidad obtener un producto fácil de transportar [13].

En el siguiente apartado se detalla los tipos de trituradoras que pueden ser utilizadas para cortar el plástico PET.

2.2.10.5. Trituradora de martillos

Similar al funcionamiento del molino de martillos, excepto que los martillos no pivotan en el eje portamartillos lo que le otorga una elevada fuerza al impacto en la cámara de trituración. El material se desmenuza por percusión.

Esta máquina puede ser utilizada tanto para materiales duros y frágiles para cualquier sector industrial.

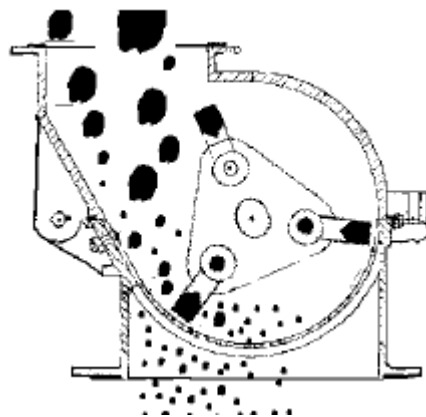


Figura 12: Trituradora de martillos

Fuente: A. Vásquez, «Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica,» Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Febrero, 2013 [5].

2.2.10.6. Trituradora de mandíbula

Trituradora para reducción de sólidos no muy fina con alta producción y baja velocidad, la alimentación pasa mediante dos quijadas pesadas, como se muestra en la figura 13 una es fija y la otra móvil alternante con un punto de pivote. El material a triturar pasa con lentitud hasta el espacio más pequeño, donde es triturado.

Se utilizan en materiales duros y abrasivos [13].

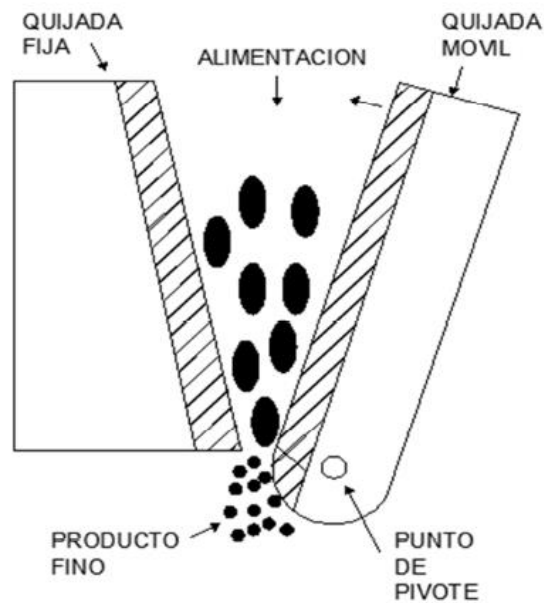


Figura 13: Trituradora de mandíbula

Fuente: [13]

2.2.10.7. Trituradora de cuchillas rotativas

Su funcionamiento es similar a la del molino de cuchillas. Las cuchillas pueden tener geometrías triangulares o circulares y poseen una gran masa. Son los más utilizados para el triturado de botellas de plástico PET.



Figura 14: Trituradora de cuchillas

Fuente: <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/molino-triturador-de-plastico/>

Energía y potencia en equipos de reducción de tamaño

La energía que se requiere para la reducción de tamaño de una partícula se expresa con la ecuación (1) [14]:

$$\frac{dE}{dD} = -\frac{K}{D^n} \quad (1)$$

Donde:

E: Energía por unidad de masa [kWh/t]

D: Diámetro medio de partículas [mm]

K: Constante

n: Potencia

La energía en función de la potencia y masa se expresa como:

$$E = \frac{P}{m} \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia consumida [kW]

m: Masa procesada [ton/h] [14]

Leyes de trituración

Entre las leyes de la trituración, la más conocida para trituración es:

Ley de Rittinger

En el año 1867 Von Rittinger postuló su teoría conocida como teoría superficial de desmenuzamiento donde decreta que la energía generada de forma eficaz durante la molturación o desmenuzamiento sería proporcional a la nueva superficie producida durante dicho procedimiento [15].

Integrando las ecuación (1) se obtiene la ecuación de Rittinger cuando $n = 2$.

$$E = \frac{P}{m} = K_r \cdot \left[\frac{1}{Dp_p} - \frac{1}{Dp_a} \right] \quad (3)$$

K_r = Constante de Rittinger

Dp_a = Diámetro medio de partículas alimentadas [mm]

Dp_p = Diámetro medio de partículas del producto [mm]

Transmisiones por bandas

Los elementos de máquinas elásticos o flexibles como bandas se emplean en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a distancias comparativamente largas. Con regularidad estas transmisiones se usan como reemplazo de engranes, ejes, cojinetes y otros dispositivos de transmisión de potencia. En muchos casos su utilización simplifica el diseño de una máquina y disminuye su costo [16].

Tipos de transmisiones por banda

Transmisiones de banda plana o redonda

Las actuales transmisiones de banda plana constan de un núcleo elástico fuerte rodeado por un elastómero; estas bandas tienen grandes ventajas sobre las transmisiones de engranes y bandas en V. Una transmisión de banda plana tiene una eficiencia de 98%, que es igual a las transmisiones por engranes. Las bandas planas producen poco ruido a comparación de bandas en V o engranes [16].

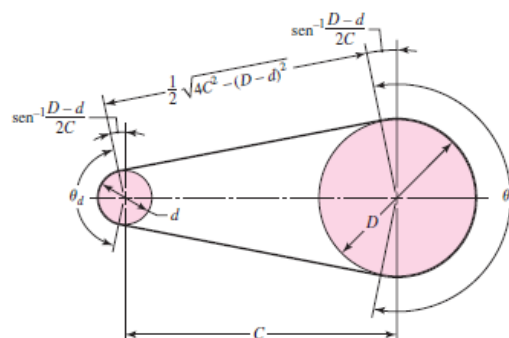


Figura 15: Geometría de banda plana

Fuente: Shigley, J., Diseño en ingeniería mecánica [16]

Transmisiones de bandas en V o trapezoidales

La eficiencia de una transmisión de banda en V varía entre 70 a 96%. Este tipo de banda ha sido estandarizado por los fabricantes [16], en este caso Optibelt recomienda cálculos y tablas para el diseño de este tipo de transmisiones.

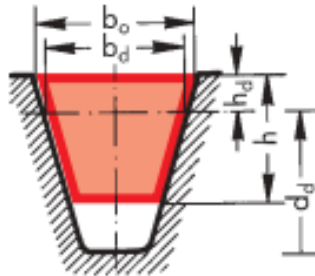


Figura 16: Banda en V

Fuente: Optibelt

Los cálculos recomendados por Optibelt se desarrollan a continuación.

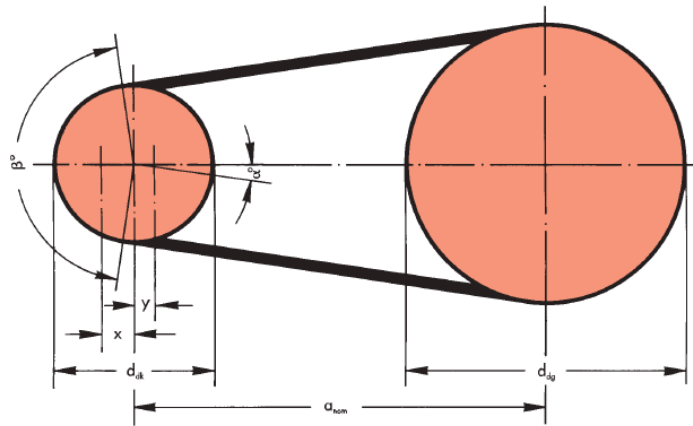


Figura 17: Abreviatura de nomenclatura Optibelt

Fuente: Optibelt

Transmisiones por engranes

Los engranes son ruedas dentadas cilíndricas que se utilizan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hacia otro. Los dientes de un engrane impulsor se insertan con precisión en los espacios entre los dientes del engrane impulsado. Los dientes del impulsor hacen girar a los dientes del impulsado [17].



Figura 18: Engranés

Fuente: <https://www.lifeder.com/que-es-un-engrane/>

Engranés cilíndricos rectos

Los engranes cilíndricos rectos tienen dientes paralelos al eje de rotación y se utilizan para transmitir movimiento de un eje a otro eje paralelo. De todos los tipos de engranes, el engrane recto es el más fácil de diseñar.

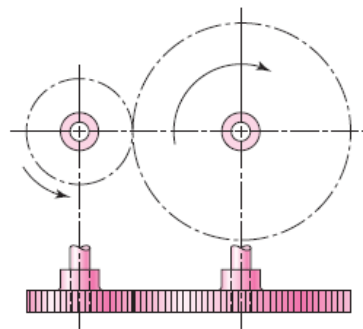


Figura 19: Engranés rectos

Fuente: Shigley, J., Diseño en ingeniería mecánica [16]

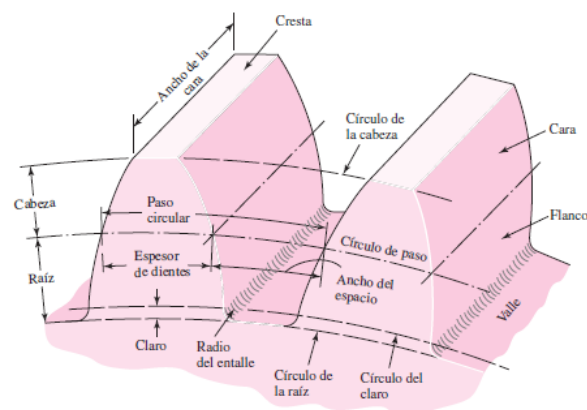


Figura 20: Nomenclatura de engranes rectos

Fuente: Shigley, J., Diseño en ingeniería mecánica [16]

El modulo máximo para los engranajes se calcula con la ecuación:

$$m = \frac{2 \cdot C}{Z_p \cdot (1 + m_g)}$$

Donde:

m: Módulo máximo

C: Distancia entre centros [mm]

m_g : Relación de transmisión

Z_p : Número de dientes del piñón

El número de dientes del piñón y engranaje se calcula con la ecuación:

$$Z_p + Z_g = \frac{2 \cdot C}{m}$$

$$Z_p = \frac{(Z_p + Z_g)}{(1 + m_g)}$$

Donde:

Z_g : Número de dientes del engranaje.

El ancho del piñón se calcula con la ecuación:

$$6,2 m < F < 19 m$$

La asociación americana de fabricantes de engranajes (AGMA) fundada en 1916 establece normas para el cálculo, diseño y fabricación de engranajes.

El método AGMA permite el cálculo de dientes de los engranajes cilíndricos rectos por resistencia y fatiga superficial [18]. A continuación se detalla las fórmulas para el cálculo:

Calculo por resistencia a la fatiga

El cálculo de la potencia máxima que podrá transmitir los dientes de engranajes por resistencia a la fatiga se resuelve con la ecuación [18]:

$$P_{rf} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{D_p \cdot n_p \cdot S_{at} \cdot m \cdot F \cdot J \cdot K_L \cdot K_v}{K_S \cdot K_m \cdot K_T \cdot K_R \cdot K_O}$$

Donde:

P_{rf} : Potencia que podrá transmitir [CV]

m: Modulo en el plano transversal [mm/diente]

D_p : Diámetro de paso del piñón [mm]

n_p : Número de rpm del piñón

S_{at} : Esfuerzo admisible del material [kgf/mm²]

F : Ancho del diente [mm]

J : Factor geométrico

K_L : Factor de vida

K_V : Factor dinámico

K_S : Factor de tamaño

K_m : Factor de distribución de carga

K_T : Factor de temperatura

K_0 : Factor de sobrecarga

K_R : Factor de seguridad

La velocidad tangencial en la transmisión por engranajes se calcula con la ecuación:

$$V_t = \omega_c \cdot \frac{D_p}{2}$$

Donde:

V_t : Velocidad tangencial [m/s]

D_p : Diámetro de paso [mm]

ω_c : Velocidad angular [rad/s]

La carga tangencial en el engranaje se calcula con la ecuación:

$$W_t = \frac{33\,000 \times P}{V_t}$$

Donde:

W_t : Carga tangencial a transmitir [lbf]

P : Potencia [HP]

V_t : Velocidad tangencial [pie/min]

El esfuerzo en la raíz del diente es:

$$S_t = \frac{W_t \cdot K_0 \cdot K_S \cdot K_m}{K_V \cdot m \cdot F \cdot J}$$

$$S_t < \frac{S_{at} \cdot K_L}{K_T \cdot K_R}$$

Donde:

S_t : Esfuerzo calculado en la raíz del diente [kgf/mm²]

W_t : Carga tangencial a transmitir [kgf]

Calculo por desgaste a la fatiga superficial

La durabilidad superficial mide la resistencia de los dientes de engranajes relacionándolos al fenómeno de fatiga conocido con el nombre de picaduras.

Se puede calcular la potencia máxima que se podrá transmitir los dientes previniendo la picadura del material con la ecuación [18]:

$$P_{dfs} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{n_p \cdot F \cdot C_V \cdot I}{C_o \cdot C_s \cdot C_m \cdot C_f} \right) \cdot \left(\frac{S_{ac} \cdot D_p \cdot C_L \cdot C_H}{C_T \cdot C_R \cdot C_p} \right)^2$$

Donde:

C_V : Factor dinámico

I : Factor geométrico

C_o : Factor de sobrecarga

C_s : Factor de tamaño

C_m : Factor de distribución de carga

C_f : Factor de condición superficial

n_p : Número de rpm del piñón

S_c : Esfuerzo de contacto calculado [kgf/mm²]

F : Ancho del diente [mm]

C_L : Factor de vida

C_H : Factor de relación de dureza

C_T : Factor de temperatura

C_R : Factor de seguridad

C_p : Coeficiente que depende de las propiedades elásticas del material

D_p : Diámetro de paso del piñón [mm]

S_{ac} : Esfuerzo admisible de contacto [kgf/mm²]

P_{dfs} : Potencia que puede transmitir [CV]

Eje

Un eje o árbol de transmisión es un elemento de dispositivos mecánicos que transmite movimiento giratorio y potencia. Es parte de cualquier sistema mecánico donde la potencia se transmite desde un motor que puede ser un motor eléctrico o un motor de combustión, a otras partes que giran en el sistema mecánico [17].

Cojinetes

El objetivo de un rodamiento o cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina. El termino cojinete con contacto de rodadura se refiere a una gran variedad de cojinetes llamados rodamientos, los cuales usan bolas esféricas o algún otro tipo de rodillos entre los elementos estacionario y móvil. El tipo más común de cojinete soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales, o una combinación de radiales y axiales (de empuje) [17].

Los componentes de un cojinete con contacto de rodadura son la pista interior, la pista exterior y elementos rodantes. La pista exterior es estacionaria, y está sujeta a la caja de la máquina. La pista interior se introduce a presión en el eje giratorio, y en consecuencia, gira con él. La trayectoria de la carga es del eje hacia la pista interior, a las bolas, a la pista exterior, y por ultimo a la caja. La presencia de bolas permite poca fricción por parte del eje [17].

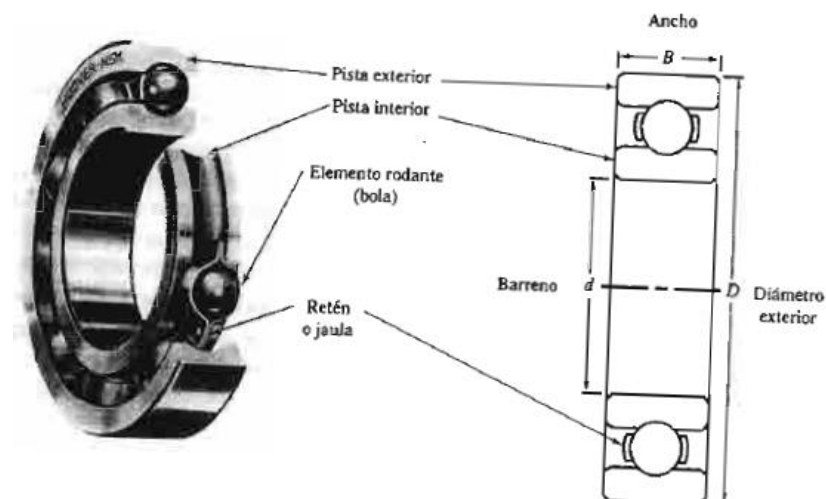


Figura 21: Cojinete de una hilera de bolas con ranura profunda

Fuente: Mott, Robert, Diseño de elementos de máquina [17]

Tipos de rodamientos

Rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda

Rodamientos diseñados para resistir cargas radiales. La ranura profunda permite soportar una carga de empuje bastante apreciable [17].

Rodamiento de doble hilera de bolas y ranura profunda

Al tener doble hilera de bolas, se incrementa la capacidad de carga radial porque existen más bolas que comparten la carga [17].

Rodamiento de bolas con contacto angular

Un lado de cada pista, en un rodamiento de contacto angular, es más alto para permitir adaptación a mayores cargas de empuje [17].

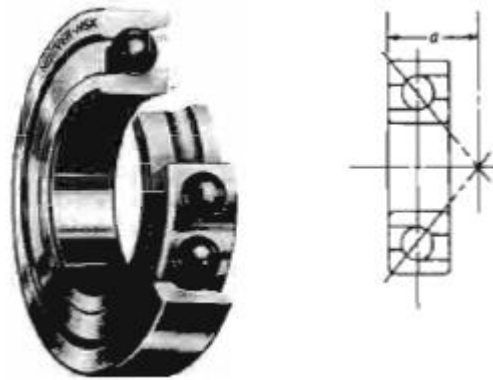


Figura 22: Rodamiento de bolas con contacto angular

Fuente: Mott, Robert, Diseño de elementos de máquina [17]

Rodamiento de rodillos cilíndricos

Con el cambio de esferas con rodillos cilíndricos se obtiene mayor capacidad de carga radial. La capacidad de carga de empuje es mala, porque cualquier carga de empuje se aplicaría al costado de los rodillos, lo cual causa fricción y no movimiento verdadero de rodadura [17].



Figura 23: Rodamiento de rodillos cilíndricos

Fuente: Mott, Robert, Diseño de elementos de máquina [17]

Rodamiento de rodillos esféricos

Llamado así porque existe rotación real de la pista exterior en relación con los rodillos y con la pista interior cuando no hay alineamientos angulares [17].



Figura 24: Rodamiento de rodillos esféricos

Fuente: Mott, Robert, Diseño de elementos de máquina [17].

2.2.11. Radiación solar

El sol, estrella que se halla a una temperatura aproximada de 5 500 °C, en cuyo interior se da una serie de reacciones que generan una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía que libera el sol se transfiere al exterior mediante la conocida radiación solar [19].

Tipos de radiación solar

- Directa: es la que recibida la tierra del sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
- Difusa: es la que sufre transformaciones en su dirección hacia la tierra por el desvío en su paso por la atmósfera.
- Albedo: es la combinación de radiación directa y difusa que recibe la tierra [19].

Irradiación

Es la energía por unidad de superficie en un tiempo determinado y se mide en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m^2) [20].

2.2.12. Instalación solar fotovoltaica aislada

Es un sistema auto-abastecedor, ya que utiliza la irradiación solar para producir energía eléctrica necesaria para abastecer una instalación (vivienda, pozo, sistema de riego, etc.) [20].

En general, un sistema fotovoltaico está formado por:

- El generador fotovoltaico o panel fotovoltaico que suministra la tensión/corriente encargada de mantener la batería cargada.
- La batería que es la encargada de suministrar energía eléctrica a la instalación fotovoltaica en el momento que la irradiación solar este escasa o nula.
- El regulador es el elemento que tiene por función controlar el estado de carga de la batería.
- El suministro que hace alusión a la instalación que debe alimentar el sistema fotovoltaico [20].

2.2.12.1. Panel fotovoltaico

Llamado panel solar o panel fotovoltaico, su primordial función es la de aportar energía a la instalación a partir de la irradiación solar.

Está formado por un conjunto de células fotovoltaicas en serie y/o paralelo, para adecuar el panel fotovoltaico a los niveles de tensión y corriente, puesto que cada célula puede distribuir alrededor de 0,5 voltios [20].

La placa fotovoltaica está diseñada para soportar condiciones que se dan al aire libre y se estima su vida útil hasta 25 años.



Figura 25: Panel solar fotovoltaico

Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/panel-fotovoltaico>

Tipos de paneles

Las células se construyen con la cristalización del silicio, por lo que se encuentran tres tipos de paneles:

- **Monocristalino:** tiene una estructura cristalina totalmente ordenada. Se consigue del silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce a simple vista por su monocromía azulada oscura y metálica.
- **Policristalino:** tiene una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares disminuyen su rendimiento. Se construye de la misma forma que el monocristalino pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Tienen distintos tonos de azules y grises metálicos.
- **Amorfo:** presentan un elevado grado de desorden y muchos fallos estructurales en su combinación química. Tiene un color homogéneo [20].

Energía generada por un panel

Para su cálculo se debe conocer la energía generada por un panel solar durante un día. La I_{panel} es la corriente de pico o corriente máxima, HPS corresponde a las horas de pico solar y 0,9 al rendimiento del panel. Para ello se utiliza la ecuación [20]:

$$E_{panel} = 0,9 \times I_{panel} \times HPS_{\beta}$$

Donde.

E_{panel} : Energía del panel [Ah/día]

I_{panel} : Corriente máxima del panel [A]

HPS_{β} : Horas de pico solar [h]

Numero de paneles en una instalación

Para el cálculo en paralelo de los paneles solares se utiliza la ecuación:

$$n_{\text{paneles-paralelo}} = \frac{C_{\text{max}}}{E_{\text{panel}}}$$

Para el cálculo en serie de los paneles solares se utiliza la ecuación:

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{panel}}}$$

Donde:

$n_{\text{paneles-paralelo}}$: Número de paneles en paralelo.

$n_{\text{paneles-serie}}$: Número de paneles en serie.

V_{panel} : Voltaje de panel [V]

C_{max} : Consumo máximo [Ah/día]

2.2.12.2. Horas de pico solar

Se puede definir las horas de pico solar (HPS) como las horas de irradiación diarias, (o horas luz), y cuya estimación puede variar entre 3 a 7 horas al día, dependiendo del lugar y mes de la instalación [20].

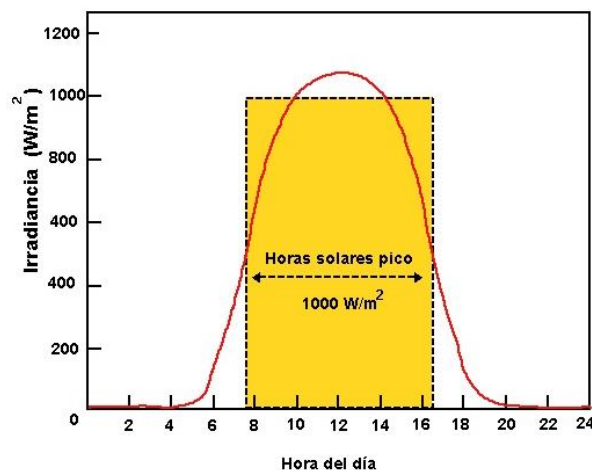


Figura 26: Horas de pico solar

Fuente: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>

Cálculo de horas de pico solar

Para obtener las HPS (HPS_{β}), se debe dividir el valor de la irradiación elegida R_{β} entre el valor de irradiación hipotética I_{β} [20].

Las horas de pico solar HPS viene dada por la ecuación:

$$HPS_{\beta} = \frac{R_{\beta}}{I_{\beta}} [h]$$

Donde:

R_{β} : Irradiación solar [kWh/m²]

I_{β} : Irradiancia hipotética [1 kW/m²]

HPS_{β} : Horas de pico solar [h]

2.2.12.3. Máxima demanda

Una de las condiciones iniciales a determinar en una instalación solar fotovoltaica aislada es la instalación eléctrica que se debe suministrar [20].

Por tanto, un primer paso es conocer el consumo diario de la instalación.

Para calcular la máxima demanda de la instalación se utiliza la ecuación:

$$P_{max} = \sum Cantidad \times horas \times P_{equipo} [Wh/día]$$

Donde:

Cantidad: número de equipos

P_{equipo} : Potencia del equipo.

2.2.12.4. Consumo de la instalación

Mediante la tensión del banco de baterías y máxima demanda que deberá tener la instalación, se obtiene el consumo (en amperios). Las tensiones típicas son de 12, 24 o 48 V y se calcula utilizando la ecuación:

$$I_{inst_max} = \frac{P_{max}}{V_{bat}}$$

Donde:

I_{inst_max} : Corriente instantánea máxima de consumo [Ah/día]

P_{max} : Energía máxima [Wh/día]

V_{bat} : Voltaje de la batería [V]

Como margen de seguridad hay que incrementar un 20 % al valor obtenido:

$$I_{max} = 1,2 \times I_{inst_max}$$

Donde:

I_{max} : Corriente máxima de consumo [Ah/día]

2.2.12.5. Pérdidas totales de la instalación

Las pérdidas totales (K_T) se calculan con la ecuación:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \times \left[1 - \frac{(K_A \times D_{aut})}{P_d} \right]$$

Donde:

K_A : Pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería. Su valor por defecto es del 0,5%.

K_B : Pérdidas debido al rendimiento de la batería. Tiene un valor por defecto de 5%.

K_C : Pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado (si existe), es decir, principalmente en instalaciones de 230 voltios. Los valores por defecto están entre el 80% y 95%, por lo que las pérdidas son entre el 20% y el 5%.

K_R : Pérdidas por rendimiento del regulador. Si no se conoce se toma el valor por defecto del 90%, por tanto, las pérdidas serán del 10%.

K_X : Otras pérdidas (por efecto joule, caídas de tensión). Se toma por defecto el valor de 10 %.

D_{aut} : Días de autonomía con baja o nula insolación.

P_d : Profundidad de descarga de la batería, dada por el fabricante; por defecto se toma un valor del 60% o 70%.

K_T : Pérdidas totales [20].

2.2.12.6. Consumo máximo

Luego de calculadas las pérdidas, se calcula el consumo máximo de la instalación (C_{max}), que es el cociente de dividir la corriente máxima de consumo (I_{max}) entre las pérdidas totales (K_T) [20].

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T}$$

Donde:

C_{max} : Consumo máximo [Ah/día]

2.2.12.7. Batería

El acumulador o batería es un aparato electroquímico que transforma energía potencial química en energía eléctrica.

La labor principal de la batería en un sistema solar fotovoltaico es la de acumular la energía generada para que pueda ser empleada en tiempos donde la iluminación es escasa o nula [19].

Las baterías más utilizadas en sistemas fotovoltaicos son las estacionarias, que se utilizan también como sistemas de alimentación ininterrumpida (alumbrado de emergencia, señalización, etc.). Su principal propiedad es que son capaces de persistir largos periodos de tiempo totalmente cargadas y además son capaces de soportar descargas profundas de forma eventual [20].

Tipos de baterías

- **Estacionarias monobloc:** está construida en un solo bloque; es decir, no es necesario vincularlas para alcanzar los 12 voltios y son de menor capacidad que las translúcidas o herméticas de una célula. Se emplean en instalaciones de poca potencia. Suelen ser más grandes que las usadas en vehículos, no obstante, eso dependerá de la capacidad de dicha batería [20].



Figura 27: Batería estacionaria monobloc

Fuente: <https://cymasol.com/BATERIA-ESTACIONARIA-OPZS-12V-375AH-C100-CYM-POWER>

- **Estacionarias translúcidas o transparentes:** son acumuladores que están separadas en células pero el material que lo envuelve hace visible el interior de la batería (transparente) o no (translúcidas). Por ser baterías de una célula su tensión es de 2,2 voltios, por lo que para obtener tensiones

mayores es necesario agruparlas en serie. Estas baterías son de mayor tamaño y peso que las monobloc y suelen ser distribuidas sin el electrolito (ácido) para hacer más fácil su instalación. El electrolito debe ser rellenado después de ser ubicado [20].



Figura 28: Batería estacionaria translúcida

Fuente: <http://solarmat.es/es/acumuladores-opzs/bateria-estacionaria-6x-6-opzs-420-u-power-12v-630ah-c100.html>

- **Estacionarias herméticas:** llamados también sin mantenimiento; no se tiene acceso a su interior aunque sus cualidades son iguales, en relación a las reacciones de carga y descarga. Este tipo de baterías, pueden ser selladas gelificadas y presentan como cualidad que el electrolítico es mucho más denso, por lo que no se vierten y pueden montarse en cualquier lugar. Para obtener dicha densidad se debe añadir dióxido de silicio [20].



Figura 29: Batería estacionaria hermética

Fuente: <https://comerciosolar.es/baterias-monoblock-plomo-acido-12v/737-bateria-hermetica-sin-mantenimiento-mega-luxe-12v260ah-c100.html>

- **Níquel-cadmio:** se llaman así debido al material del cátodo, que es el níquel hidratado, y el ánodo, que es el cadmio. La tensión nominal de las baterías níquel cadmio es de 1,2 voltios, por lo que para obtener la tensión de 12 voltios se necesitan 10 baterías.

Estas baterías son más caras que las de plomo ácido y sus componentes son bastante tóxicos [20].



Figura 30: Batería níquel cadmio

Fuente: <https://grupoindustronic.com/baterias-ups-niquel-cadmio/>

Capacidad

Se define como capacidad de un acumulador o batería a la cantidad de electricidad que puede abastecer a un sistema y se mide en amperios por hora (Ah).

La capacidad de la batería es afectada básicamente por la temperatura, aumenta si ésta aumenta y disminuye en el caso contrario, cogiendo como referencia una temperatura ambiente de 25 °C [20].

Profundidad de descarga

Se define como profundidad de descarga al porcentaje de la capacidad total de la batería que es empleada en un ciclo de carga o descarga. Se clasifica en:

- **Descargas superficiales:** toleran descargas del 20% de la capacidad nominal, sin que se produzca una disminución en la vida útil de la batería.
- **Descargas profundas:** toleran descargas del 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca una disminución en la vida útil de la batería. Este valor lo da el fabricante. Si no lo facilita, se toma un valor entre 60 o 70% para cálculos [20].

Vida útil

La vida útil de la batería se evalúa en ciclos, que se entiende como el número de veces que se genera la carga y descarga. Esto es, con cada carga y descarga (ciclo) la batería va perdiendo propiedades. Así pues, a más ciclos, más se deteriora la batería [20].

Ubicación de baterías

Las baterías deben ubicarse en un lugar:

- Fresco.
- Ventilado.
- Evitando temperaturas extremas.
- Lejos de los niños [19].

Número de baterías necesarias

Para calcular el número de baterías necesarias hay que saber la capacidad del banco de baterías de toda la instalación, hay que emplear el mismo valor de profundidad de descarga de la batería (P_d) utilizada para el cálculo de pérdidas totales [20].

La capacidad del campo de baterías se determina con la ecuación

$$C_{bat} = \frac{C_{max} \times D_{aut}}{P_d}$$

Donde:

C_{bat} : Capacidad del banco de baterías [Ah]

D_{aut} : Días de autonomía, con valores de 3 a 5 días.

El cálculo de número de baterías en paralelo se realiza con la ecuación

$$n_{bat-paralelo} = \frac{C_{bat}}{C_{nom}}$$

Donde:

$n_{bat-paralelo}$: Número de baterías en paralelo.

C_{nom} : Capacidad nominal de la batería [Ah]

Para verificar el número de baterías en serie se calcula:

$$n_{bat-serie} = \frac{V_{bat}}{V_{nom-bat}}$$

Donde:

$V_{nom-bat}$: Voltaje nominal de la batería [V]

2.2.12.8. Reguladores

El regulador es el que debe controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Sus principales funciones son:

- Evitar sobrecargas en la batería: una vez cargada la batería no debe continuar cargando. Así se evita la creación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en efecto se eleva la vida útil del acumulador.
- Evita la sobrecarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente: cuando una vez la batería este descargada no continúe abasteciendo corriente al sistema; en efecto se eleva la vida útil de la batería.
- Garantiza el funcionamiento del sistema con eficiencia [20].



Figura 31: Regulador

Fuente: <https://www.amvarworld.com/es/reguladores-solares-6ah/602-regulador-solar-6a-marca-paco.html>

Elección del regulador

Para escoger el regulador se debe calcular la corriente del regulador y para ello primero hay que consultar la corriente de campo fotovoltaico [20].

La corriente de campo fotovoltaico se calcula con la ecuación

$$I_{campo-fotov.} = I_{sc} \times \text{número de ramas}$$

Donde:

$I_{campo-fotov.}$: Corriente de campo fotovoltaico [A]

I_{sc} : Corriente en cortocircuito del panel [A]

Número de ramas: Número de paneles total.

Hay que colocar un factor de seguridad para evitar que el regulador trabaje al límite de la máxima corriente o corriente de campo fotovoltaico que debe soportar el regulador. Dicho factor a sumar es el 10 % de la corriente máxima que va a soportar ($I_{campo-fotov.}$) [20].

La corriente del regulador se calcula con la ecuación

$$I_{regulador} = I_{campo-fotov.} + I_{campo-fotov.} \times 10\%$$

$$I_{regulador} = 1,1 \times I_{campo-fotov.}$$

Donde:

$I_{regulador}$: Corriente del regulador [A]

Para el cálculo de número de reguladores se dispone de la ecuación

$$n_{reg} = \frac{I_{regulador}}{I_{reg}}$$

Donde:

n_{reg} : Numero de reguladores

I_{reg} : Corriente máxima del regulador [A]

La corriente máxima del regulador viene dado por el fabricante.

2.2.12.9. Convertidor

Se emplean para alterar la tensión y características de la intensidad que admiten, convirtiéndola a la apropiada para los usos que se necesite. Existen diferentes tipos de convertidores o inversores: cc/cc, ca/cc, ac/ac, cc/ca.

El más usado en las instalaciones fotovoltaicas son del tipo cc/ca, que convierte la tensión de las baterías a 230 voltios en corriente alterna (ca) [20].



Figura 32: Convertidor

Fuente: <https://www.merkasol.com/Inversor-Cargador-MasterPower-Omega-3000-24v-MPPT>

Como inversores se puede encontrar los de onda pura u onda modificada.

Los de onda sinusoidal modificada (modify sine wave-MSW) pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos pero en cargas inductivas como de un motor presentan problemas de rendimiento.

Los de onda sinusoidal pura (pure sine wave-PSW) son los más sofisticados de hoy en día. Diseñados para reproducir la energía suministrada por las compañías eléctricas [20].

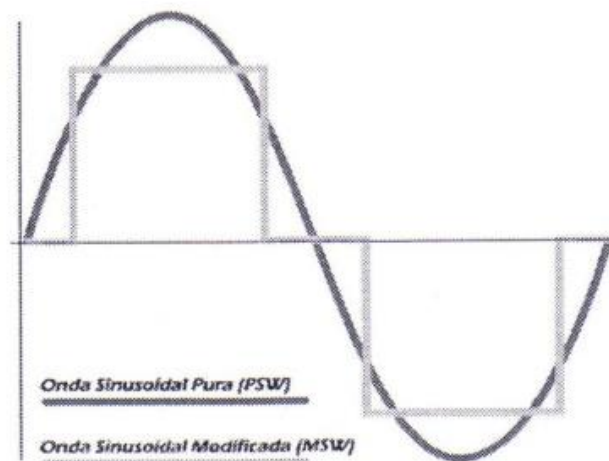


Figura 33: Señal de salida de los convertidores

Fuente: Energía solar fotovoltaica [20]

Elección del convertidor

Para la elección del convertidor o inversor se debe escoger una potencia superior a la demandada por la instalación.

2.2.12.10. Orientación del campo fotovoltaico

Ángulo de acimut (α): es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del generador y la dirección sur [21].

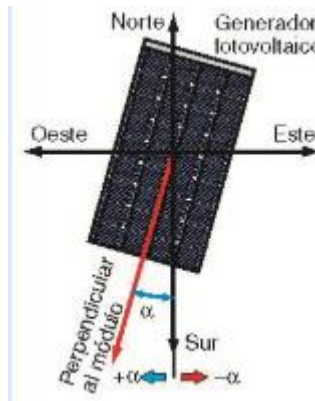


Figura 34: Ángulo de acimut

Fuente: <http://solaraction.blogspot.com/2012/12/calculo-instalacion-fotovoltaica.html> [21]

Ángulo de inclinación (β): es el ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal. Su valor es 0° si el panel se ubica de forma horizontal y 90° si se ubica vertical [21].

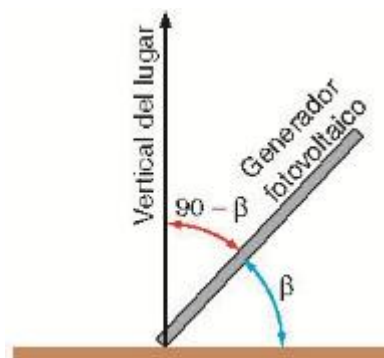


Figura 35: Ángulo de inclinación

Fuente: <http://solaraction.blogspot.com/2012/12/calculo-instalacion-fotovoltaica.html> [21]

Cálculo de inclinación óptima de paneles fotovoltaicos

La inclinación óptima será un valor constante, con un ángulo beta (β) que depende de la latitud del lugar y también su acimut (α) que depende del hemisferio donde está situado el generador o panel fotovoltaico [22].

Para maximizar la captación de la energía solar la superficie del panel tendrá que estar orientada hacia el hemisferio opuesto del lugar de instalación con un ángulo de acimut $\alpha = 0^\circ$ [22].

Para hallar la inclinación óptima de los paneles solares de una superficie fija se usa una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar. Tal fórmula está en función de la latitud del lugar y es la ecuación:

$$\beta = 3,7 + (L \times 0,69)$$

Donde:

L : latitud del lugar, sin signo (grados)

β : Ángulo de inclinación óptima (grados)

Dicha ecuación es permitida para aplicaciones de uso anual que busquen la máxima captación de energía solar durante el año [22].

2.2.12.11. Dimensionamiento de conductores

Para calcular la sección del conductor se debe conocer: el material que contiene (cobre o aluminio) y su conductividad eléctrica K , la longitud del cable (l) en metros, la corriente que atraviesa el conductor (I) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos (U) en voltios. La sección del conductor se calcula con la ecuación [20].

$$S = 2 \times \frac{LXI}{KXU}$$

Donde:

S : Sección del conductor [mm^2]

L : Longitud del cable [m]

I : Corriente que atraviesa el conductor [A]

U : Caída de tensión [V]

K : Conductividad del cobre [$56 \frac{m}{\Omega mm^2}$]

El cálculo en corriente alterna se basa de acuerdo a las normas del código nacional de electricidad (CNE).

III. Diseño

3.1. Metodología

3.1.1. Estadística

La estadística es el arte y la ciencia de recolectar, estudiar, presentar e interpretar datos. La estadística se clasifica en 2 grupos: estadística descriptiva y estadística inferencial.

- a) **Estadística descriptiva:** detalla un conjunto de datos, resúmenes tabulares, gráficos o numéricos de datos.
- b) **Estadística inferencial:** la población con la que trabaja el estadístico suelen ser muy amplias, de tal manera que puede ser tedioso recolectar información de todos. La estadística inferencial se basa en los resultados de una muestra para probar hipótesis acerca de las características de una población, la cual es un método menos tedioso para la recolección de información.

En base a lo dicho anteriormente, para la primera metodología de esta investigación se usa la estadística inferencial, ya que se necesita una muestra de la población para diagnosticar y cuantificar los residuos plásticos PET dentro de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

3.1.2. Muestras y población

La población es un conjunto de elementos homogéneos en el que se estudia una característica dada. A menudo no es posible estudiar a toda la población ya que es costoso.

Para ello se selecciona un conjunto representativo denominado muestra. Cuando esta muestra está bien escogida se puede obtener información de la población similar a un censo, pero más económico y con mayor rapidez.

Muestreo aleatorio simple es la manera más sencilla de obtener una muestra de una población. La muestra es aleatoria cuando:

- Cada componente de la población tiene la misma posibilidad de ser elegido.
- La población es igual en el total de las extracciones del muestreo.

Los pasos para el cálculo del tamaño de muestra se detallan a continuación:

Promedio muestral

La medida de localización más significativa es la media, o valor promedio de una variable. Si los datos son de una muestra, la media se denota por \bar{x} .

En las ecuaciones estadísticas se acostumbra denotar el valor de la primera observación de la variable x con X_1 , el valor de la segunda observación de la variable x con X_2 y así sucesivamente hasta X_i . La fórmula para el promedio muestral cuando se tiene una muestra de n observaciones se precisa en la ecuación [23]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = promedio muestral.

x_i = datos de la muestra.

n = número de datos de la muestra.

Varianza muestral

La varianza es una medida de variabilidad que utiliza todos los datos. La varianza está basada en la diferencia entre el valor de cada observación (X_i) y la media. A esta diferenciase le llama desviación respecto a la media. Si se trata de una muestra, una desviación respecto de la media se escribe $(x_i - \bar{x})$. Para calcular la varianza estas desviaciones respecto de la media se deben elevar al cuadrado.

La varianza muestral es la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto a la media y se divide entre $n-1$ [23].

La varianza muestral viene dada por la ecuación [23]:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Donde:

S^2 = varianza muestral.

Máximo error de muestreo tolerado

Por lo general es el 5% del promedio muestral.

Nivel de confianza

Este dato es a decisión del usuario, siendo 95% de confianza el valor más usado en estadística ($z=1,96$) [23] como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4: Nivel de confianza

Nivel de confianza	Z_{α}
99.7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Fuente: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682011000700006&script=sci_arttext

Determinación del tamaño de muestra

El cálculo de tamaño de muestra se realiza mediante una ecuación que relaciona dos términos. La incógnita es el número de elementos a encuestar y el término que permite despejar la incógnita está compuesto por factores que condicionan el tamaño de muestra. Entre estos factores cabe destacar el nivel de confianza, el error, tamaño de población y varianza muestral [24].

El tamaño de muestra se halla con la ecuación:

$$n = \frac{S^2}{\frac{e_{max}^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N-1}}$$

Donde:

N = población estudiantil total.

n = tamaño de muestra.

e_{max} = error máximo admisible.

3.1.3. Encuestas

La encuesta es un proceso que permite examinar cuestiones que hacen a la subjetividad y al mismo tiempo tener la información de un número importante de personas.

Así mismo, las encuestas permiten obtener datos de manera más sistemática que otros métodos de observación. Hace viable el registro de datos, estudiar a una población a través de muestras con conocimiento de márgenes de error [25].

3.1.4. Parámetros de diseño

3.1.4.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones o criterios de diseño más importantes de elementos o máquinas que se pueden considerar son:

Funcionalidad, resistencia/ esfuerzo, distorsión, desgaste, corrosión, seguridad, confiabilidad, manufacturabilidad, utilidad, costo, fricción, peso, vida, ruido, estilo, forma, tamaño, control, propiedades térmicas, superficie, lubricación, comercialización, mantenimiento, volumen, responsabilidad legal y capacidad de reciclado [16].

3.1.4.2. Características de la botella de plástico PET

Las bebidas envasadas en plástico PET más consumidas en la USAT son principalmente las bebidas gasificadas, bebidas rehidratantes y agua mineral, de hasta 625 ml. En la parte derecha de la **figura 36** se observa 4 componentes de la botella: tapa, anillo, etiqueta y recipiente.



Figura 36: Componentes de la botella.

Fuente: Tesis PUCP-Diseño de una máquina compactadora de botellas de plástico [26]

Para el cálculo de la capacidad de producción de la máquina trituradora de botellas de plástico PET se toma en cuenta las características de la botella PET, que se aprecian en la tabla 5:

Tabla 5: Características de la botella.

Masa [g]	14-22
Altura de la botella [mm]	210-260
Diámetro máximo [mm]	70
Diámetro de pico de la botella [mm]	32

Fuente: Tesis PUCP-Diseño de una máquina compactadora de botellas de plástico [26]

3.1.5. Hipótesis

El diseño de la trituradora actuada por sistema fotovoltaico si consigue eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

3.1.6. Variables

3.1.6.1. Variable independiente

- ✓ Diseño de la máquina trituradora actuada por sistema fotovoltaico.

3.1.6.2. Variable dependiente

- ✓ Eliminación de botellas plásticas (Volumen de residuos sólidos plásticos)

3.1.6.3. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	UNIDADES	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
V. dependiente	Volumen de residuos sólidos plásticos (flujo de botellas)	Peso o producción	Botellas PET	kg/día	Encuestas/análisis de encuestas
V. independiente	Diseño de máquina trituradora	Diámetro	Rotor	mm	Observación y análisis de documentos
		Torque		N.mm	Observación y análisis de documentos
		Velocidad	Ejes	rpm	Observación y análisis de documentos
		Potencia	Motor eléctrico	Hp	Observación y análisis de documentos
	Diseño de instalación fotovoltaica	Energía	Demanda	kWh/día	Observación y análisis de documentos
		Elementos	Paneles, reguladores, inversor y baterías		Observación y análisis de documentos

3.2. Diseño conceptual de máquina

3.2.1. Estructura de funciones

La función de la trituradora de botellas PET puede representarse en forma de una caja negra, donde se tiene en consideración tres magnitudes de entrada y de salida, como se muestra en la figura 37:

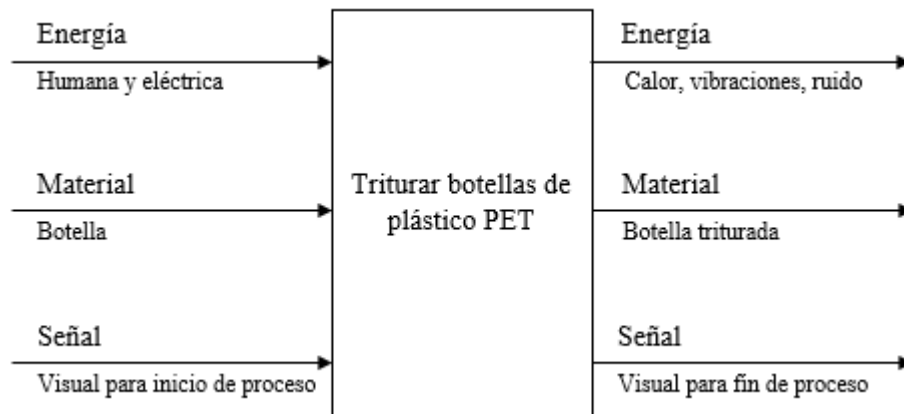


Figura 37: Estructura de funciones

Fuente: elaboración propia

3.2.2. Descripción de funciones

3.2.2.1. Función principal

La función principal de la máquina es triturar botellas de plástico.

3.2.2.2. Funciones parciales

- **Alimentar:** se introduce la botella de plástico dentro de la máquina.
- **Recibir:** la tolva permite introducir la botella de plástico.
- **Accionar:** método que genera movimiento al sistema.
- **Transmitir:** entrega torque para mover el rotor de la máquina.
- **Triturar:** procedimiento que transforma la botella en trozos más pequeños.
- **Almacenar:** la botella triturada es almacenada en un recipiente.

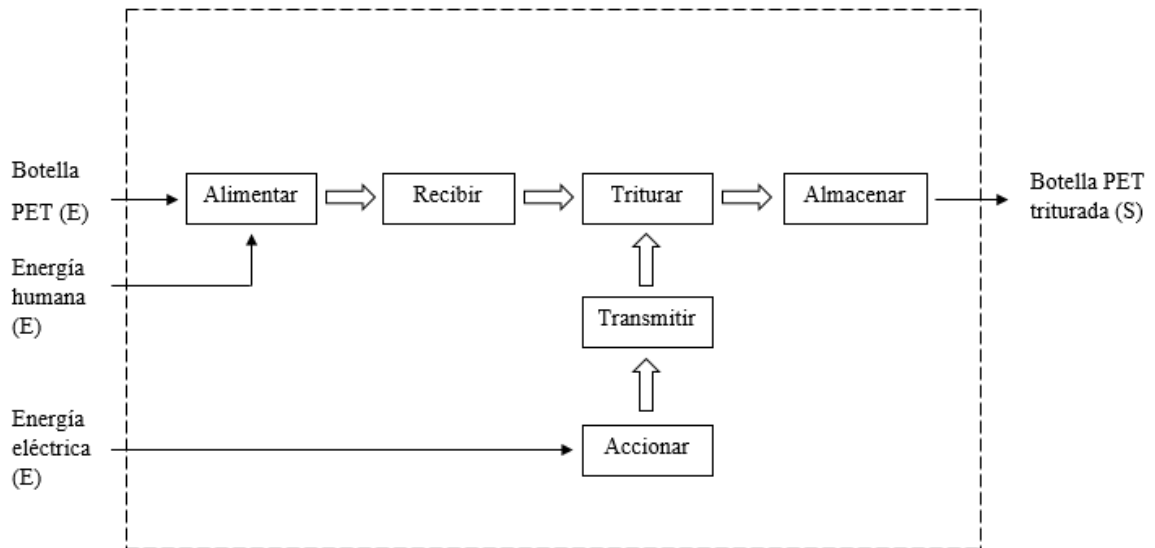


Figura 38: Funciones de máquina

Fuente: elaboración propia

3.2.3. Requisitos del diseño

El diseño adecuado debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Los materiales a triturar son el recipiente, tapa rosca y anillo de seguridad.
- La máquina debe tener una producción de 30 kg/h.
- La alimentación de botellas hacia la máquina será por la acción de fuerza humana.
- Por la baja capacidad de producción de la máquina en comparación con el mercado actual, deberá ser de fácil transporte y ubicación, es decir, sin problemas para ubicarla dentro del campus. Las dimensiones máximas serán de 1,5 m x 1,2 m x 1,7 m.
- De fácil operación y mantenimiento.
- Por estar ubicada dentro del campus universitario debe tener baja contaminación auditiva.

3.2.4. Criterios de valoración

De acuerdo a las consideraciones de diseño de la sección 3.1.4.1. se consideran 8 criterios, los cuales se aproximan a las necesidades del diseño de esta máquina.

- **Manufactura**

Indica la fácil construcción con bajo costo para la máquina.

- **Mantenimiento**

Se refiere a la facilidad de mantenimiento, es decir, a la simplicidad de todas las actividades para el correcto funcionamiento de la máquina.

- **Operación**

Se refiere a la fácil manipulación para cualquier persona encargada dentro del campus universitario.

- **Ruido**

Indica el exceso de sonido emitido durante el funcionamiento de la máquina.

- **Confiabilidad**

La máquina debe realizar su función principal en el tiempo de producción especificada, es decir, la máquina debe ser eficaz en el triturado de botellas PET y segura para el operador.

- **Ergonomía**

El objetivo de la ergonomía es la adaptación de la máquina a las características de las personas que la usarán. Por eso, el diseño de la máquina debe tener en cuenta características antropométricas del operador, siendo así, para el Perú una estatura que varía entre 1,60 m y 1,7 m.

- **Tamaño**

Se refiere al espacio que ocupara la máquina dentro del campus universitario, que además no debe ser de grandes dimensiones. La altura de la máquina está sujeto a las características antropométricas del operador de la máquina.

- **Seguridad**

La máquina debe ser segura para que el operador no sufra ningún daño durante su funcionamiento.

3.2.5. Matriz morfológica

En la presente tesis se desarrolla la matriz morfológica de Zwicky que es una técnica para generar soluciones en un corto tiempo y consiste en dividir un problema en sus diferentes atributos o características para luego darle soluciones. Con esta técnica se desea dar posibles soluciones para el diseño de la máquina trituradora.

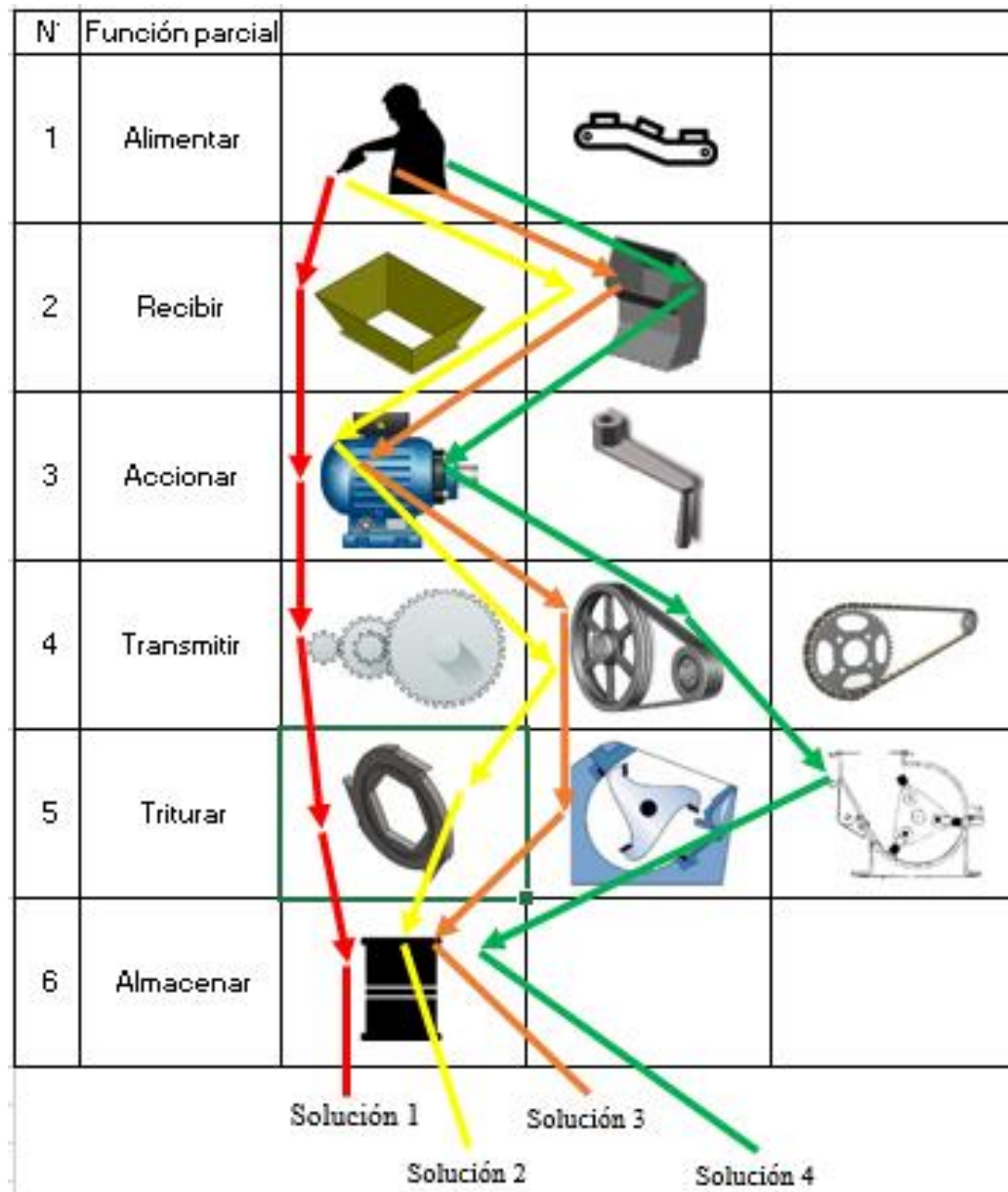


Figura 39: Matriz morfológica

Fuente: elaboración propia

3.3. Selección conceptual de máquina

Para la toma de decisiones utilizaremos la herramienta de matriz de decisión, la cual se basa en criterios, ponderaciones, valoración y tipos de trituradoras más usadas para plásticos.

3.3.1. Lista de soluciones

De acuerdo a la matriz morfológica, las características de cada solución se detallan a continuación:

- **Solución 1**

Se trata de la trituradora de cuchillas rotativas. Para esta solución la botella de plástico PET es alimentada manualmente por el operador hacia una tolva troncopiramidal abierta, para luego por acción de un motor y un reductor transmitir potencia hacia los rotores. Estos a su vez giran en sentido contrario por medio de engranajes. Finalmente su almacenamiento es mediante un depósito.

La disposición de los rotores y la cámara de alimentación de la solución 1 hacen que materiales de gran volumen y pared delgada sean propensos a rebotar.

A continuación algunas ventajas y desventajas para la solución 1:

Ventajas:

- ✓ Grandes bocas de alimentación.
- ✓ Trabaja con materiales de dureza media y baja.
- ✓ Elevada fuerza de trituración en comparación con la trituradora de martillos.
- ✓ Alta capacidad de producción.
- ✓ Facilidad de instalación, operación y mantenimiento.
- ✓ Rentable, de bajo costo.
- ✓ Bajo ruido.
- ✓ Triturado por corte o escisión.
- ✓ Si existe uniformidad de tamaño de partículas.
- ✓ Bajo costo de mantenimiento.
- ✓ Alto rendimiento de trituración.

Desventajas:

- ✓ Desgaste de cuchillas.
- ✓ Baja seguridad para el operador.

- **Solución 2**

Se trata de la trituradora de cuchillas rotativas. Para esta solución la botella de plástico PET es alimentada manualmente por el operador hacia una tolva cerrada para luego por acción de un motor y transmisiones flexibles (poleas y bandas) transmitir potencia hacia los rotores (cuchillas rotativas). Estos a su vez giran en sentido contrario por medio de engranajes. Finalmente su almacenamiento es mediante un depósito.

La máquina está compuesta por los siguientes elementos:

Una tolva de ingreso cerrado, motor, poleas, bandas, engranajes, las cuchillas de trituración con sus respectivos separadores, ejes donde se montan las cuchillas y separadores, rodamientos y su propia estructura.

Las ventajas y desventajas son similares a la solución 1, con excepción de que esta máquina cuenta con seguridad para el operador al tener la tolva cerrada, además la disposición de los rotores y la cámara de alimentación de la solución 2 hacen que materiales de gran volumen y pared delgada no sean propensos a rebotar.

- **Solución 3**

Se trata de la trituradora de cuchillas rotativas con disposiciones de cuchillas paralelas al eje. Para esta solución la botella de plástico PET es alimentada manualmente por el operador hacia una tolva cerrada, para luego por acción de un motor y transmisiones flexibles (poleas y bandas) transmitir potencia hacia el rotor. Finalmente su almacenamiento es mediante un depósito.

A continuación algunas ventajas y desventajas para la solución 3:

Ventajas:

- ✓ La disposición de una cámara de alimentación tipo tangencial hace que materiales de gran volumen y pared delgada no sean propensos a rebotar.
- ✓ Fácil operación.

- ✓ Alta seguridad para el operador.

Desventajas:

- ✓ Tiene un alto costo de fabricación.
- ✓ Alto costo de mantenimiento.
- ✓ Genera ruido.
- ✓ Desgaste de cuchillas.

- **Solución 4**

Se trata de la trituradora de martillos. Para esta solución la botella de plástico PET es alimentada manualmente por el operador hacia una tolva cerrada para luego por acción de un motor y transmisiones flexibles (poleas y fajas) transmitir potencia hacia el rotor. Finalmente su almacenamiento es mediante un depósito.

A continuación algunas ventajas y desventajas para la solución 4:

Ventajas:

- ✓ Amplio rango de tamaño de partículas.
- ✓ Trabaja con materiales duros o frágiles.
- ✓ Bajo costo de mantenimiento.
- ✓ Fácil operación.

Desventajas:

- ✓ Bajo rendimiento en comparación con la trituradora de cuchillas rotativas.
- ✓ Puede generar calor.
- ✓ Puede generar ruido.
- ✓ No existe uniformidad del tamaño de partículas.
- ✓ Triturado por percusión.
- ✓ Inversión inicial alta.

3.3.2. Criterios de importancia y ponderación

Se elabora de acuerdo a la importancia de cada criterio:

Importancia	Ponderación
Baja	1
Media	2
Alta	3

Tabla 6: Ponderación de criterios.

Criterio	Ponderación (P)
Manufactura	2
Mantenimiento	2
Operación	2
Ruido	3
Confiabilidad	3
Ergonomía	3
Tamaño	2
Seguridad	2

Fuente: elaboración propia

La justificación de la ponderación en los criterios establecidos se basa especialmente en el poco ruido que deberá emitir la máquina, ya que estará ubicada dentro del campus universitario, además de elegir la maquina más adecuada y eficiente para la trituración de botellas de plástico PET.

3.3.3. Valoración de criterios

Para la valoración se tomó en cuenta los requerimientos de la máquina, además de características, ventajas y desventajas de las soluciones en selección. Para el caso de ergonomía y tamaño se dio una puntuación media porque son criterios que dependen de los requisitos de la máquina.

Puntuación	Valoración
Muy pobre	1
Pobre	2
Media	3
Media alta	4
Alta	5

Tabla 7: Valoración de criterios

Criterios	Parámetros generales			
	Valoración (V)			
	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4
Manufactura	4	4	3	2
Mantenimiento	4	4	4	4
Operación	4	4	4	4
Ruido	5	5	3	2
Confiabilidad	3	4	3	2
Ergonomía	3	3	3	3
Tamaño	3	3	3	3
Seguridad	1	5	5	5

Fuente: elaboración propia

3.3.4. Matriz de decisión

Tabla 8: Matriz de decisión

Orden	Criterios	Ponderación	Parámetros generales							
			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4	
		P	V	V X P	V	V X P	V	V X P	V	V X P
1	Manufactura	2	4	8	4	8	3	6	2	4
2	Mantenimiento	2	4	8	4	8	4	8	4	8
3	Operación	2	4	8	4	8	4	8	4	8
4	Ruido	3	5	15	5	15	3	9	2	6
5	Confiabilidad	3	3	9	4	12	3	9	2	6
6	Ergonomía	3	3	9	3	9	3	9	3	9
7	Tamaño	2	3	6	3	6	3	6	3	6
8	Seguridad	2	1	2	5	10	5	10	5	10
	Total (Σ)			65		76		65		57

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la matriz de decisión la alternativa que cumple con los criterios establecidos es la solución 2.

3.4. Selección conceptual de instalación fotovoltaica

La instalación fotovoltaica (baterías, inversor y reguladores) y máquina trituradora serán instaladas en el área de mantenimiento de la universidad. Los paneles solares se instalarán en el techo del edificio antiguo de la universidad.

La máquina trituradora actuada por la instalación fotovoltaica tiene horas de trabajo, si trabaja diariamente se acortan las horas de trabajo, pero si trabaja semanalmente se extienden las horas de trabajo por el volumen de plásticos recolectados. Para la selección de la instalación fotovoltaica más adecuada se toma en cuenta el uso y costo que se dará a la instalación, como se muestra en la figura 40:

Instalación fotovoltaica		
Uso	Costo	Descripción
Diario	bajo	Menos horas de trabajo y energía de uso, por tanto, menos elementos en la instalación (paneles solares, reguladores, baterías, inversores, etc.).
Semanal	elevado	Más horas de trabajo y energía de uso, por tanto, más elementos en la instalación (paneles solares, reguladores, baterías, inversores, etc.).

Figura 40: Selección de instalación fotovoltaica

Fuente: elaboración propia

Por tanto, la instalación fotovoltaica será de uso diario, para evitar costos elevados en la instalación.

Régimen de trabajo semanal

Tabla 9: Régimen de trabajo

Días	Horas de trabajo (trituración)	Recolección de botellas	Carga del sistema
Lunes	9-10 am	Diaria	HPS
Martes	9-10 am	Diaria	HPS
Miércoles	9-10 am	Diaria	HPS
Jueves	9-10 am	Diaria	HPS
Viernes	9-10 am	Diaria	HPS
Sábado	9-10 am	Diaria	HPS

Fuente: elaboración propia

La carga del sistema depende de las HPS, normalmente se toma a partir de las 10 o 11 am, por tanto, no existe ningún problema con las horas de trabajo de la trituradora (9-10 am) ya que esta trabajara con la energía recaudada del día anterior.

IV. Resultados

4.1. Cálculo del tamaño de muestra

En primer lugar se tomó una muestra piloto de 30 alumnos dentro del campus (ANEXO 1 y 2).

4.1.1. Promedio muestral

Se calcula con la ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = promedio muestral.

x_i = datos de la muestra piloto (consumo diario).

n = número de datos de la muestra piloto.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{53}{30} = 1,767$$

4.1.2. Varianza muestral

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 0,8057$$

4.1.3. Máximo error de muestreo tolerado

(5% del promedio muestral)

$$e_{max} = 0,05 \times 1,767 = 0,088$$

4.1.4. Nivel de confianza

Con un nivel de confianza de 95%, se tiene de la tabla 4:

$$Z = 1,96$$

4.1.5. Tamaño de muestra

Se calcula con la ecuación:

$$n = \frac{S^2}{\frac{e_{max}^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N-1}}$$

Donde:

N = población estudiantil total (7 935).

n = tamaño de muestra.

e_{max} = máximo error de muestreo tolerado.

Z = 1,96

$$n = \frac{S^2}{\frac{e_{max}^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N-1}} = \frac{0,8057}{\frac{0,088^2}{1,96^2} + \frac{0,8057}{7935-1}} = 378 \text{ encuestas}$$

La muestra por carrera se calcula con el producto de la ponderación en el estrato y el tamaño de muestra (378).

Con ayuda de Excel se encontró el número de encuestas a realizar por carrera profesional en el campus universitario, el cual se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Número de encuestas por carrera profesional.

Carrera Profesional	Nº de matriculados 2017-I	Ponderación en el estrato Wh	Muestra por carrera
INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL	1031	0.130	49
DERECHO	925	0.117	44
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	823	0.104	39
ARQUITECTURA	738	0.093	35
INGENIERÍA INDUSTRIAL	638	0.080	30
CONTABILIDAD	459	0.058	22
MEDICINA HUMANA	441	0.056	21
PSICOLOGÍA	403	0.051	19
ENFERMERÍA	367	0.046	17
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN	321	0.040	15
COMUNICACIÓN	287	0.036	14
ODONTOLOGÍA	271	0.034	13
ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS	232	0.029	11
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA	208	0.026	10
ECONOMÍA	176	0.022	8
ADMINISTRACIÓN HOTELERA Y DE SERVICIOS TURÍSTICOS	161	0.020	8
ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS INTERNACIONALES	120	0.015	6
EDUCACIÓN INICIAL	97	0.012	5
EDUCACIÓN PRIMARIA	56	0.007	3
FILOSOFÍA Y TEOLOGÍA	56	0.007	3
ADMINISTRACIÓN Y MARKETING	55	0.007	3
GESTIÓN Y DESARROLLO TURÍSTICO	55	0.007	3
INGENIERÍA NAVAL	14	0.002	1
MATEMÁTICA E INFORMÁTICA	1	0.000	0

Fuente: Coordinador de dirección de estadística USAT- Mg. Manuel Hurtado Sánchez

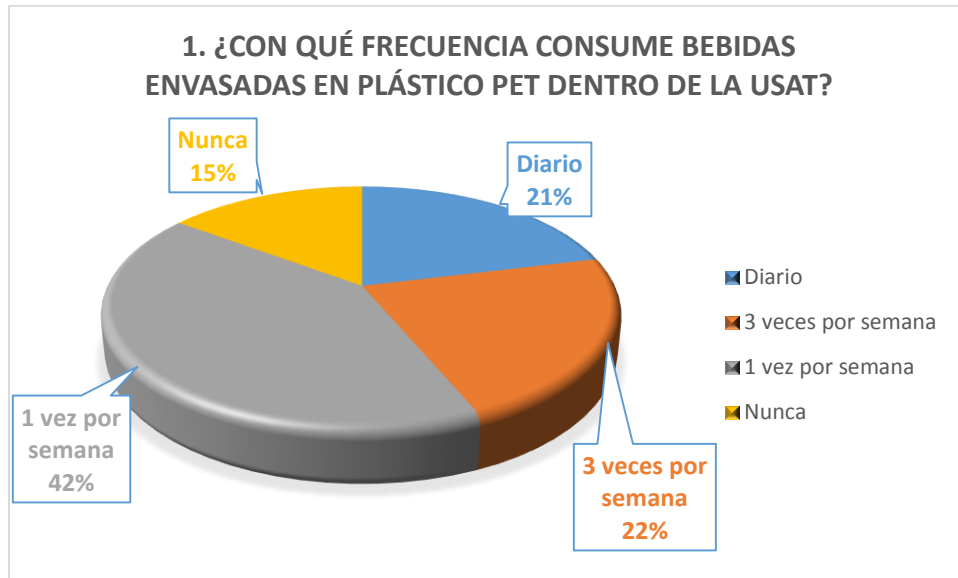
4.2. Análisis de encuestas

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a diferentes estudiantes y de diferentes carreras profesionales en el campus universitario de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo durante el periodo abril-mayo del 2017.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se tomó en consideración una muestra piloto (ANEXO 1) de 30 alumnos y una población estudiantil total de 7 935 alumnos en la USAT. Con ese dato, se tomó un tamaño de muestra de 378 alumnos para la encuesta (ANEXO 3), del cual se describe el resultado a continuación:

1.- ¿Con qué frecuencia consume bebidas envasadas en plástico PET dentro de la USAT?	
Alternativas	Respuesta
Diario	80
3 veces por semana	85
1 vez por semana	157
Nunca	56

Fuente: elaboración propia



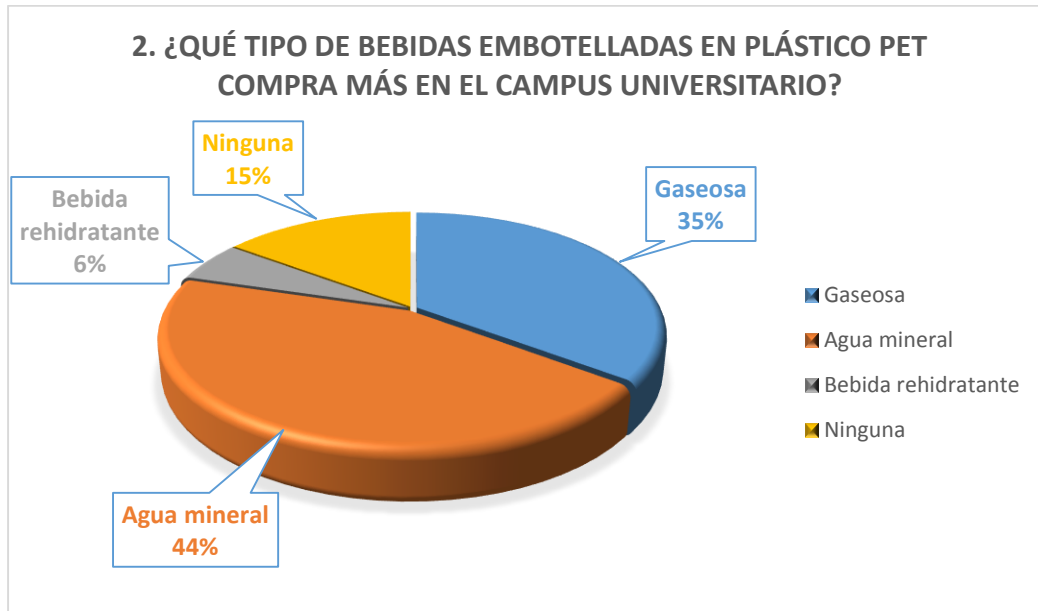
Fuente: elaboración propia

- ✓ La mayoría de los estudiantes consume bebidas envasadas en plástico PET 1 vez por semana con un 42%. Nótese que le sigue el consumo de 3 veces por semana con un 22%, luego el consumo diario con un 21%. Solo un 15% de los estudiantes no consume estas bebidas, la cual demuestra el gran consumo de bebidas en el campus universitario USAT.

2.- ¿Qué tipo de bebidas embotelladas en plástico PET compra más en el campus universitario?

Alternativas	Respuesta
Gaseosa	133
Agua mineral	168
Bebida rehidratante	21
Ninguna	56

Fuente: elaboración propia



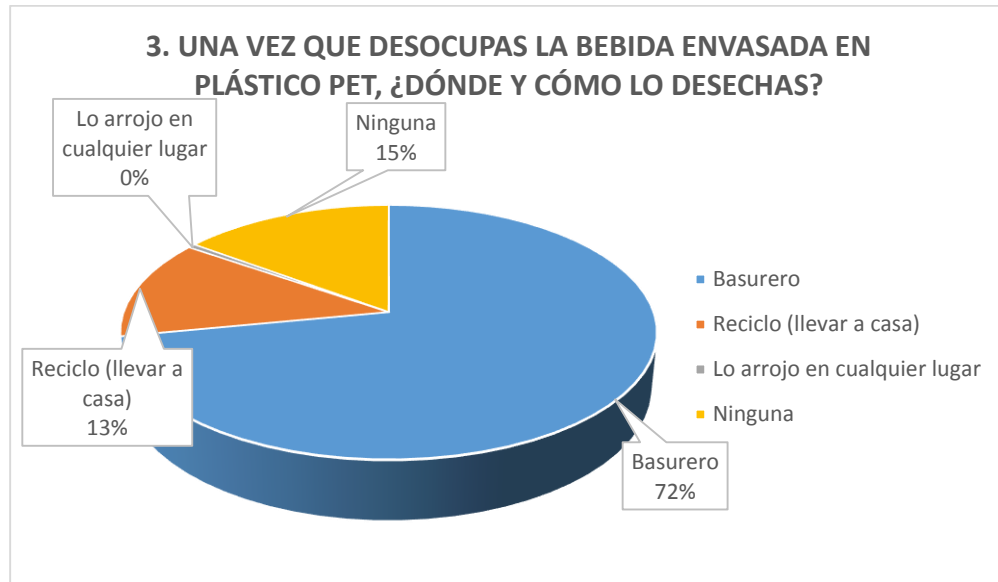
Fuente: elaboración propia

- ✓ El agua mineral con un 44% y la gaseosa con 35% son el tipo de bebidas más compradas dentro del campus universitario de la USAT. Cabe mencionar que solo un 6% consume bebidas rehidratantes. Así mismo, como en la primera pregunta de la encuesta, un 15% no consume ningún tipo de bebida.

3.- Una vez que desocupas la bebida envasada en plástico PET, ¿Dónde y cómo lo desechas?

Alternativas	Respuesta
Basurero	272
Reciclo (llevar a casa)	48
Lo arrojo en cualquier lugar	2
Ninguna	56

Fuente: elaboración propia



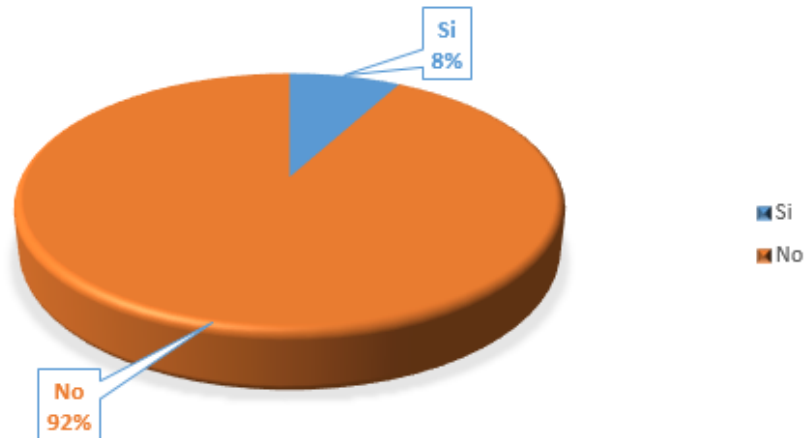
Fuente: elaboración propia

- ✓ Dentro del campus, la mayoría de los estudiantes tira el envase PET dentro del basurero (72%), lo cual hace fácil la recolección de estos desechos. El 13% de los estudiantes recicla estos desechos plásticos llevándolos a casa. El 15% de los estudiantes al no consumir ninguna bebida no genera desechos plásticos.

4.- ¿Se ha informado sobre el destino de estos productos dentro de la USAT?	
Alternativas	Respuesta
Si	30
No	348

Fuente: elaboración propia

4. ¿SE HA INFORMADO SOBRE EL DESTINO DE ESTOS PRODUCTOS DENTRO DE LA USAT?

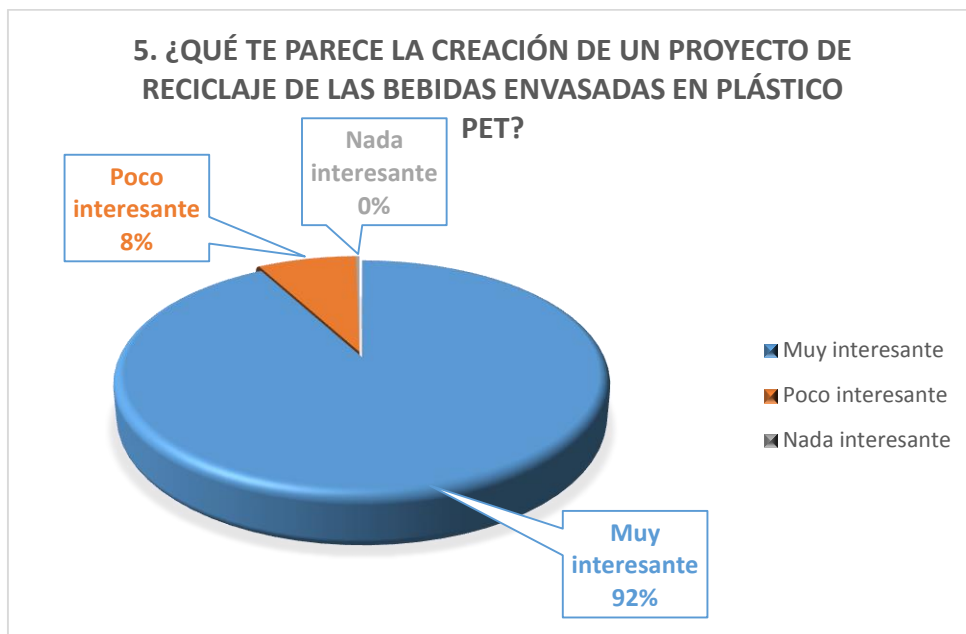


Fuente: elaboración propia

- ✓ Casi la totalidad de estudiantes no están enterados del destino de estos desechos (92%), cabe resaltar que un 8% si está informado sobre el destino de estos desechos, en la cual afirmaron que los trabajadores de limpieza llevan estos productos a casa.

5.- ¿Qué te parece la creación de un proyecto de reciclaje de las bebidas envasadas en plástico PET?	
Alternativas	Respuesta
Muy interesante	348
Poco interesante	29
Nada interesante	1

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

- ✓ Un 92% de los estudiantes está muy interesado en la creación de un proyecto de reciclaje de estos envases.

Resultado final de la encuesta

- ✓ El consumo diario promedio de bebidas envasadas en plástico PET, considerando las alternativas: diario, 3 veces por semana y una vez por semana en la primera pregunta, así como la alternativa reciclo (llevar a casa) en la tercera pregunta es del 26.1 % del total de la población.
- ✓ A este resultado se le resto un 5% por diversos factores tales como el que no se acaban de consumir estas bebidas en el campus, por lo tanto suelen llevarlos consigo y desecharlos fuera del campus, quedando un 21.1%, que equivale a 1 674,285 \approx 1 674 botellas/día. Cabe mencionar que el resultado puede que sea un poco elevado por la temporada cuando se realizó las encuestas.

4.3. Masa promedio de cada envase

Para el cálculo de la masa promedio se utiliza la Tabla 5, el promedio entre la masa mínima y máxima de la botella es la masa promedio.

$$m_{prom} = \frac{m_{min} + m_{max}}{2} = \frac{(14+22)g}{2} = 18 \text{ g} = 0,018 \text{ kg/bot}$$

Según la encuesta el consumo promedio al día de bebidas envasadas en plástico PET es de:

$$\# \text{ botellas pet / día} = 1\ 674$$

4.4. Flujo de botellas por día

El flujo de botellas generada por día se calcula multiplicando la masa promedio de cada envase y el consumo promedio al día:

$$\text{Flujo de botellas generada por día} \approx 30 \text{ kg/día}$$

4.5. Capacidad de producción de la máquina trituradora

La capacidad de producción por hora de la maquina será la misma que el flujo de botellas por día, es decir:

$$\text{Capacidad} = 30 \text{ kg/h}$$

4.6. Cálculos de la máquina trituradora

Para realizar este proceso, el triturador de PET está compuesto de los siguientes mecanismos:

Una tolva de ingreso, las cuchillas de trituración con sus respectivos separadores, que giran en sentidos opuestos y reducen el tamaño de ellas y finalmente caen sobre una criba que solo permiten pasar como producto terminado.

Las hojuelas caen sobre recipientes movibles que se introducen vacíos y se retiran cargados. Estos recipientes tienen 90 litros de capacidad.

El triturador debe reducir las botellas PET de 600 cc, 200 mm de altura y 60 mm de diámetro como máximo a hojuelas que tengan como mayor dimensión una longitud de 12,5 mm.

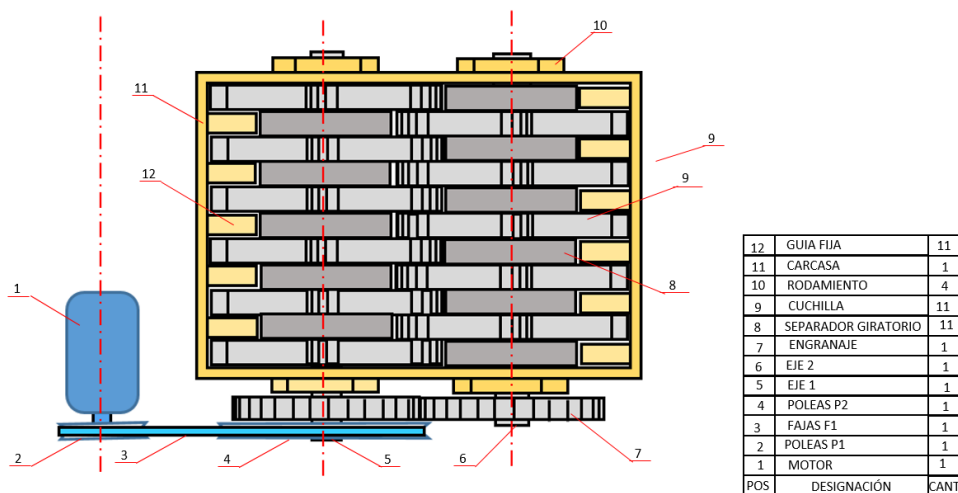


Figura 41: Disposición de componentes de trituradora

Fuente: elaboración propia

Problema de desecho de botellas PET

En la actualidad en la zona de la universidad se desecha un estimado de 30 kg diarios de botellas de agua mineral, gaseosas y otros, lo que produce la necesidad de reciclarlas para reducir el volumen de residuos sólidos plásticos.

Características de botellas PET

Las botellas desechadas en la zona son de las capacidades mostrados en la Tabla 11 siguiente:

Tabla 11: Volumen de botellas PET

Volumen de botella (cc)	Altura (mm)	Diámetro mayor (mm)	Espesor promedio (mm)	Peso de botella (gr)
600	220	72	0.3	25
1000	278	82	0.3	37
1500	320	88	0.25	47

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos de la tabla 11 se verifican en el ANEXO 4.

Condiciones de funcionamiento de la máquina

Las botellas serán procesadas por el Área de Mantenimiento de la Universidad. Este se ubica a espaldas del edificio antiguo de cuatro pisos donde se ha reservado un área de 4 x 8 m², cercana a una puerta de acceso, para la ubicación y procesamiento de las botellas la que se realizará en las siguientes condiciones:

- 1) La máquina funcionará diariamente para procesar todo el material acopiado durante un día, para evitar la acumulación de botellas.
- 2) El tiempo de funcionamiento diario será de una hora, dependiendo de la cantidad de material acopiado.
- 3) El personal destinado al proceso es de dos trabajadores, un operador de máquina y un ayudante.
- 4) Materia prima procesada: Exclusivamente botellas PET de agua mineral o gaseosas, con tapas, aplastadas o no.

Método de trituración

Para la reducción de tamaños se utilizan cuatro métodos de trituración (ver figura 7):

- Corte o escisión.
- Presión.
- Impacto.
- Fricción.

Para el caso de reducción de tamaño de botellas PET se utilizan principalmente las fuerzas de corte o escisión por ser un material tenaz (ver tabla 3).

Geometría de la cuchilla

Las cuchillas se construyen con placas circulares que tienen un radio de 100 mm y un espesor de 25 mm. Tienen cuatro puntas de corte espaciadas radialmente a 90°. Los filos de corte se ubican en las puntas, paralelas al eje axial de la cuchilla, con 25 mm de longitud y 1 mm de ancho.

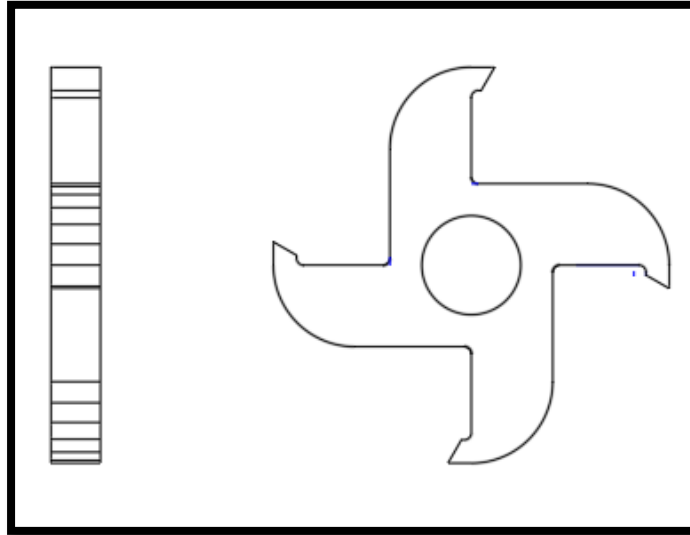


Figura 42: Cuchilla de corte

Fuente: elaboración propia

Las cuchillas de corte van montadas en los ejes, fijadas mediante chavetas y separadas por espaciadores de 29,5 mm de ancho.

4.6.1. Fuerza de corte

Para encontrar la fuerza de corte F_c para el PET se recurre al estudio estandarizado de ensayos en polímeros conocido como IZOD y CHARPY bajo norma ASTM D-256-88, esta norma establece un esfuerzo de cizallamiento de $55 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ usando una cuchilla de 1,5mm de espesor y una probeta de 2cm de ancho por 10 cm de largo con 2mm de espesor. Tomando en cuenta este valor se procede a calcular la fuerza de corte, para ello usando la ecuación de esfuerzo de corte se despeja la fuerza y se obtiene el valor.

Tabla 12: Datos técnicos del PET

POLIETILENTEREFTALATO				PET
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	900 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RE. AL CIZALLAMIENTO	K/cm ²	D-256	53453	55
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE	KPa			10

Fuente: ensayos IZOD Y CHARPY

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c}$$

Se despeja F_c :

$$F_c = \tau_c * A_c$$

Donde:

F_c : Fuerza de corte [kgf]

A_c : Área de corte [cm^2]

τ_c : Esfuerzo de corte [kgf/cm^2]

El área de corte de la cuchilla está dada por la longitud de corte del de 2,5 cm y el ancho de 0,1 cm por lo que el área de corte es:

$$A_c = 2,5 \text{ cm} * 0,1\text{cm} = 0,25\text{cm}^2$$

Sustituyendo valores, en la ecuación se tiene

$$F_c = \tau_c * A_c$$

$$F_c = 55 \frac{kgf}{cm^2} * 0,25\text{cm}^2 = 13,75 \text{ kgf}$$

$$F_c = 13,75 \text{ kgf} = 134,9 \text{ N}$$

4.6.2. Energía de trituración

La energía necesaria para triturar las botellas PET se calcula con la ecuación 3:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_r \cdot \left[\frac{1}{Dp_p} - \frac{1}{Dp_a} \right]$$

Donde:

K_r = Constante de Rittinger

Dp_p = Diámetro medio de partículas del producto [mm]

Dp_a = Diámetro medio de partículas de alimentación [mm]

El triturador debe reducir las botellas PET de 600 cc y 220 mm de altura a escamas (flakes) o también llamados hojuelas, que tengan como mayor dimensión una longitud de 12,5 mm.

Para el caso de botellas PET, la constante de Rittinger es $K_R = 130,9 \text{ Hp.h.pulg./ton}$ [15] y con las dimensiones promedio de botellas de 600 cc según el ANEXO 4 se tiene:

$$E = 130,9 \text{ HP h pulg/t} \cdot \left[\frac{1}{1,25 \text{ cm}} - \frac{1}{22 \text{ cm}} \right]$$

$$E = 98,7 \text{ HP h/t}$$

La energía unitaria es:

$$E = 0,0987 \text{ HP h/kg}$$

La potencia requerida para procesar un flujo másico de 30 kg/h resulta de despejar la ecuación 2:

$$P_{req} = E \cdot \dot{m}$$

Donde:

P_{req} : Potencia requerida [HP]

\dot{m} : Flujo másico [kg/h]

$$P_{req} = 0,0987 \text{ HP} \frac{\text{h}}{\text{kg}} \cdot 30 \text{ kg/h}$$

$$P_{req} = 2,96 \text{ HP}$$

4.6.3. Potencia de corte

El torque que aplica la cuchilla de corte se expresa como:

$$T_c = R \times F_c$$

Donde:

T_c : Torque de cuchilla [Nm]

R: Radio de cuchilla [mm]

Se considera que las 2 cuchillas que giran opuestas trabajan al mismo tiempo, entonces se tiene que multiplicar por 2 la ecuación del torque de la cuchilla:

$$T_c = 2 \times \frac{100 \text{ mm} \times 134,9 \text{ N}}{1000}$$

$$T_c = 26,98 \text{ Nm}$$

La potencia de corte se expresa como:

$$P_c = T_c \times \omega_c$$

Donde:

P_c : Potencia en el eje de corte [W]

ω_c : Velocidad angular [rad/s]

Generalmente las velocidades de molinos y trituradoras oscilan entre 200 y 800 rpm, dependiendo del material a triturar. Para materiales más duros se aplican menos revoluciones y para materiales frágiles lo contrario. Por lo tanto, para este caso se considera una velocidad de giro de 700 rpm, entonces para efectos de cálculo se convierte a rad/s:

$$\omega_c = 700 \text{ rpm} = 73,3 \text{ [rad/s]}$$

Entonces la potencia de corte es:

$$P_c = 26,98 \text{ Nm} \times 73,3 \text{ rad/s}$$

$$P_c = 1977,6 \text{ W}$$

$$P_c = 2,65 \text{ HP}$$

Esta potencia es cercana a los 2,96 HP determinados por la Ecuación de Rittinger, con un error del 10% lo que resulta aceptable.

4.6.4. Potencia a transmitir por elemento

La potencia que se debe transmitir, teniendo en cuenta a los rodamientos se expresa como:

$$P_{a1} = \frac{P_c}{i^n}$$

Donde:

P_{a1} : Potencia en el eje de accionamiento 1

P_c : Potencia de corte [HP]

i : Eficiencia de rodamiento = 0,99

n : Número de rodamientos

Considerando que los ejes de corte se apoyan en cuatro rodamientos, la potencia de accionamiento del eje motriz resulta:

$$P_{a1} = \frac{2,65}{0,99^4}$$

$$P_{a1} = 2,76 \text{ HP}$$

La transmisión de engranajes tiene una eficiencia de 0,98, entonces la potencia entregada por la faja es de:

$$P_{pol} = \frac{P_{a1}}{\eta_{eng}}$$

Donde:

P_{pol} : Potencia entregada por fajas [HP].

η_{eng} : Eficiencia de engranajes.

$$P_{pol} = \frac{2,76}{0,98}$$

$$P_{pol} = 2,82 \text{ HP}$$

Como la eficiencia de la transmisión por fajas se considera 0,96, se tiene que la potencia del motor de accionamiento es:

$$P_{mot} = \frac{P_{pol}}{\eta_{fajas}}$$

Donde:

P_{mot} : Potencia del motor [HP]

η_{fajas} : Eficiencia de fajas

$$P_{mot} = \frac{2,82}{0,96}$$

$$P_{mot} = 2,93 \text{ HP}$$

4.6.5. Cálculo de potencia del motor

Por el tipo de carga (1 hora al día), se asume un factor de servicio del motor eléctrico de 1, por lo que la potencia mínima del motor eléctrico será:

$$P_{mm} = F_{sm} * P_{mot}$$

Donde:

F_{sm} : Factor de servicio del motor.

P_{mm} : Potencia mínima del motor [HP].

$$P_{mm} = 1 * 2,93 \text{ HP}$$

$$P_{mm} = 2,93 \text{ HP}$$

$$P_{mm} = 2,18 \text{ kW}$$

Se selecciona un motor eléctrico estándar de las siguientes características (ver ANEXO 5):

Marca: WEG

Modelo: L90L WEG 22

Potencia (P): 2,2 kW (3 HP)

Fases: 1 (monofásico)

Velocidad: 1 750 rpm

4.6.6. Cálculo de poleas y fajas

Las poleas deben transmitir potencia en las siguientes condiciones:

Potencia a transmitir P_{tp} : 2,93 HP (2,2 kW)

Factor de servicio de fajas C_2 : 1,2 (ver ANEXO 6)

Potencia de diseño de faja: 3,5 HP (2,64 kW)

Velocidad motriz: 1 750 rpm

Velocidad polea conducida: 700 rpm

Ahora, siguiendo el cálculo recomendado por Optibelt:

Se calcula la relación de velocidad nominal con la ecuación:

$$r_{vn} = \frac{N_m}{N_c}$$

Donde:

r_{vn} = Relación de velocidades nominal

N_m = Velocidad de polea motriz

N_c = Velocidad de polea conducida

$$r_{vn} = \frac{1\ 750}{700}$$

$$r_{vn} = 2,50$$

La selección del tipo de faja se verifica en la figura 43:

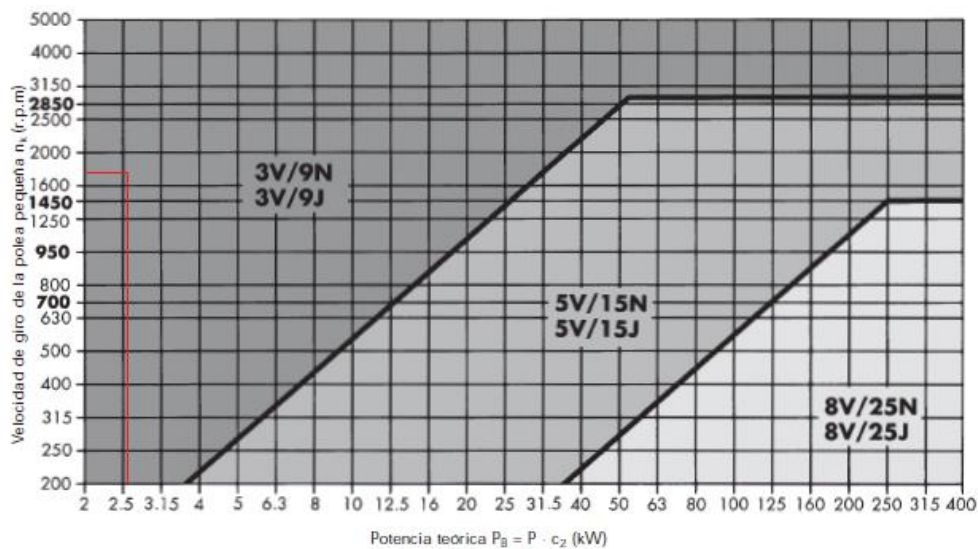


Figura 43: Tipo de faja

Fuente: Optibelt

En el gráfico para 2,64 kW y 1 750 rpm corresponde una faja tipo 3V/9N.

Selección de poleas estándar

Se seleccionan diámetros de poleas estándar, según Norma ISO 4183, de modo que la relación de velocidades se acerque lo más posible al valor obtenido (ver ANEXO 7).

Diámetro de polea motriz:

$$d_{dk} = 90 \text{ mm}$$

Diámetro de polea conducida:

$$d_{dg} = 224 \text{ mm}$$

La relación de velocidades:

$$r_v = \frac{d_{dg}}{d_{dk}}$$

$$r_v = \frac{224}{90}$$

$$r_v = 2,488$$

La velocidad de la polea conducida es:

$$N_c = \frac{1\ 750}{2,488}$$

$$N_c = 703,3 \text{ rpm} \approx 703 \text{ rpm}$$

El error de velocidad con respecto a la velocidad nominal de 700 rpm es de 3 rpm, que representan el 0,42 % de la velocidad nominal, por lo que es un valor aceptable.

Selección de faja y distancia entre centros

La distancia entre centros debe estar comprendidas en el rango de distancias siguiente:

$$C_{imin} = 0,7 (d_{dg} + d_{dk})$$

$$C_{iMáx} = 2 (d_{dg} + d_{dk})$$

Reemplazando valores:

$$C_{imin} = 0,7 (224 + 90)$$

$$C_{imin} = 220 \text{ mm}$$

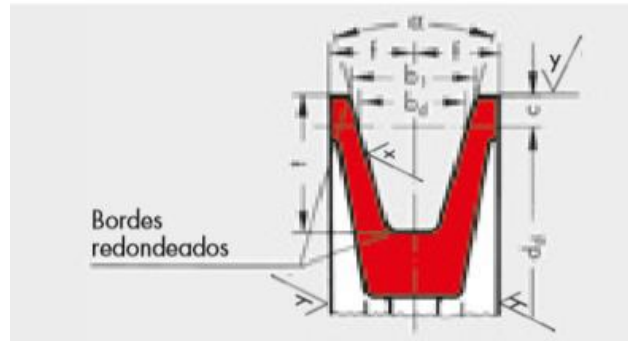


Figura 44: Perfil de polea para 1 faja

Fuente: Optibelt

$$C_{iMax} = 2 (224 + 90)$$

$$C_{iMax} = 628 \text{ mm}$$

Se selecciona una distancia entre centros $C_{sel}=379$ mm.

Longitud de la faja calculada es:

$$L_c = 2 \times C_{sel} + 1,57 \times (d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} - d_{dk})^2}{4 \times C_{sel}}$$

$$L_c = 2 \times 379 + 1,57 \times (224 + 90) + \frac{(224 - 90)^2}{4 \times 379}$$

$$L_c = 1\ 263 \text{ mm}$$

La longitud de la faja estándar seleccionada es 9N 1270 (ver ANEXO 8).

$$L_s = 1\ 270 \text{ mm}$$

Distancia entre centros real:

$$a_{nom} = C_{sel} - \frac{L_c - L_s}{2}$$

Donde:

a_{nom} : Distancia entre centros real [mm].

$$a_{nom} = 379 - \frac{1\ 263 - 1\ 270}{2}$$

$$a_{nom} = 382,6 \text{ mm}$$

Distancia mínima de ajuste según catálogo:

$$x_a = 45 \text{ mm}$$

Potencia transmitida ípor faja, según catalogo (ver ANEXO 9):

$$P_N = 2,65 \text{ kW/faja}$$

Ahora, se calcula el arco de abrazo y factor de ángulo de contacto C_1 :

$$\frac{(d_{dg}-d_{dk})}{a_{nom}} = \frac{(224 - 90)}{382,6} = 0,35$$

El arco de abrazo es de 160° con un factor de ángulo de contacto $C_1=0,99$ (ver ANEXO 10).

El factor de desarrollo C_3 es 0,96 (ver ANEXO 11).

Número de fajas requeridas:

$$Z_{req} = \frac{P_{tp} \times C_2}{P_N \times C_1 \times C_3}$$

$$Z_{req} = \frac{2,2 \times 1,2}{2,65 \times 0,99 \times 0,96}$$

$$Z_{req} = 1,05 \text{ fajas}$$

Se seleccionan 2 fajas.

Se utilizan poleas estándar de dos canales.

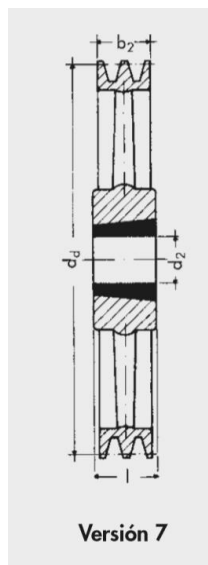


Figura 45: Perfil de polea para 2 fajas

Fuente: Catálogo Poleas Magic Grip –T - CSITD

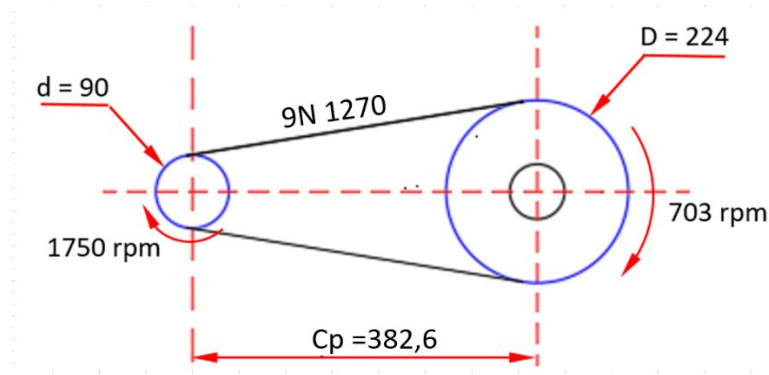


Figura 46: Disposición de transmisión por fajas

Fuente: elaboración propia

4.6.7. Cálculo de transmisión por engranajes

Se tiene un par de engranajes accionados por la polea conducida que gira 703 rpm y transmiten 3 HP que deben girar en sentidos opuestos a la misma velocidad y accionan los ejes de las cuchillas de corte. El piñón y el engranaje son iguales.

Se seleccionan engranajes cilíndricos de dientes rectos recortados y con un ángulo de 20° .

Los engranes deben transmitir potencia en las siguientes condiciones:

Potencia transmitida: $P_t = 3$ HP

Factor de servicio: $FS_e = 1,4$

Velocidad del engranaje: $N_e = 700$ rpm

Velocidad del engranaje: $N_p = 700$ rpm

Relación de transmisión: $m_g = 1$

Distancia entre centros: $C = 150$ mm

Número mínimo de dientes: $Z_p = 10$ dientes

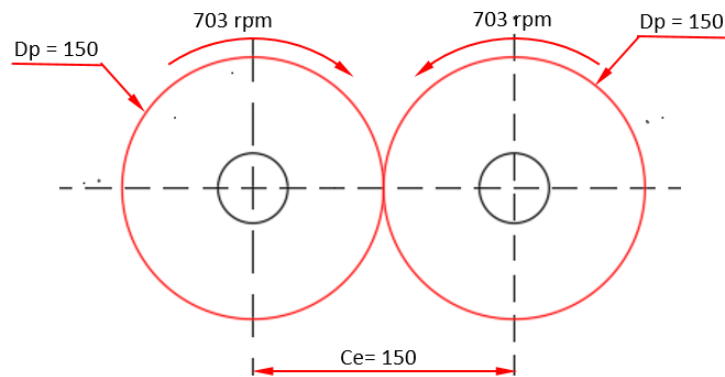


Figura 47: Disposición de transmisión por engranes

Fuente: elaboración propia

Cálculo del módulo máximo:

$$m = \frac{2 \cdot C}{Z_p \cdot (1 + m_g)}$$

$$m = \frac{2 \cdot 150}{10 \cdot (1 + 1)}$$

$$m = 15$$

Número de dientes del piñón y engranaje:

$$Z_p + Z_g = \frac{2 \cdot C}{m}$$

$$Z_p = \frac{(Z_p + Z_g)}{(1 + m_g)}$$

Estas ecuaciones se tabulan con valores del módulo menores a 15 en el siguiente cuadro:

Tabla 13: Número de dientes

C	m	$Z_p + Z_g$	Z_p	Z_g	m_g
150	6	50	25	25	1,00
150	8	37,5	13	24.5	1,88
150	10	30	15	15.0	1,00

Se selecciona la combinación de valores de número de dientes del piñón y engranaje con el que se obtiene una relación de transmisión igual a uno.

Entonces se tiene:

Módulo: $m=6$

Número de dientes del piñón: $Z_p=25$

Núm. de dientes del engranaje: $Z_g=25$

Dimensiones de los engranajes

Diámetro del engranaje: $D_e=150$ mm

Diámetro de piñón: $D_p=150$ mm

Ancho del piñón:

$$6,2m < (F) < 19 m$$

Reemplazando datos se tiene:

$$6,2(6) < (F) < 19 (6)$$

$$37,2 < (F) < 114$$

Se toma el ancho mínimo de 37,5 mm.

Cálculo por resistencia a la fatiga

La potencia que puede transmitir el engranaje es:

$$P_{rf} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{D_p \cdot n_p \cdot S_{at} \cdot m \cdot F \cdot J \cdot K_L \cdot K_v}{K_S \cdot K_m \cdot K_T \cdot K_R \cdot K_O \cdot K_B}$$

Donde:

Módulo: $m=6$

Diámetro de paso del piñón: $D_p=150$ mm

Velocidad de giro del engranaje: $n_p=703$ rpm

Esfuerzo admisible del material (acero): $S_{at}=26$ kgf/mm²

Ancho del diente: $F=37,5$ mm

Factor geométrico: $J=0,35$

Factor de vida: $K_L=0,62$ (para 10^8 ciclos).

Factor dinámico: $K_V=1$ (Curva 1-para engranajes de alta precisión sometidos a cargas pequeñas).

Factor de tamaño: $K_S=1$ (engranajes de acero bien seleccionados y con tratamiento térmico correcto).

Factor de distribución de carga: $K_m=1,6$ (ancho de diente menor a 50 mm).

Factor de temperatura: $K_T = 1$ (engranajes que no excedan la temperatura de 71 °C).

Factor de sobrecarga: $K_0 = 1,25$ (choques pequeños).

Factor de espesor de arco: $K_B = 1$

Factor de seguridad: $K_R = 1$ (requerimiento: de 100 falla 1).

Los valores de los factores en ANEXO 12.

$$P_{rf} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{150 \text{ mm} \cdot 703 \text{ rpm} \cdot 26 \text{ kg/mm}^2 \cdot 6 \cdot 37,5 \text{ mm} \cdot 0,35 \cdot 0,62 \cdot 1}{1 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1}$$

$$P_{rf} = 46,7 \text{ CV}$$

$$P_{rf} = 46,06 \text{ HP}$$

A continuación se calcula la velocidad tangencial en el engranaje:

$$V_t = \omega_c \cdot \frac{D_p}{2}$$

$$V_t = 73,3 \text{ rad/s} \times \frac{150 \text{ mm}}{2} = 5,5 \text{ m/s} = 1 \text{ 080 Pies/min}$$

A continuación, se calcula el esfuerzo en la raíz del diente:

$$S_t = \frac{W_t \cdot K_0 \cdot K_s \cdot K_m}{K_V \cdot m \cdot F \cdot J}$$

Donde:

W_t : Carga tangencial a transmitir [kgf]

S_t : Esfuerzo calculado en la raíz del diente [kgf/mm²]

$$W_t = \frac{33 \text{ 000} \times P}{V_t} = \frac{33 \text{ 000} \times 3 \text{ Hp}}{1 \text{ 080 ptes/min}} = 91,6 \text{ lbf} = 41,5 \text{ kgf}$$

$$S_t = \frac{41,5 \text{ kgf} \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,6}{1 \cdot 6 \cdot 37,5 \text{ mm} \cdot 0,35}$$

$$S_t = 1,05 \text{ kgf/mm}^2$$

$$S_t < \frac{S_{at} \cdot K_L}{K_T \cdot K_R}$$

$$S_t < \frac{26 \times 0,62}{1 \times 1}$$

$$S_t < 16,12 \text{ kgf/mm}^2$$

Se verifica que el esfuerzo del material es más resistente que el esfuerzo calculado en la raíz del diente.

Cálculo por desgaste a la fatiga superficial

La potencia que puede transmitir el engranaje es:

$$P_{dfs} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{n_p \cdot F \cdot C_V \cdot I}{C_o \cdot C_s \cdot C_m \cdot C_f} \right) \cdot \left(\frac{S_{ac} \cdot D_p \cdot C_L \cdot C_H}{C_T \cdot C_R \cdot C_p} \right)^2$$

Donde:

Diámetro de paso del piñón: $D_p = 150$ mm

Factor dinámico: $C_V = 0,7$ (curva 3: engranajes de alta precisión sometidos a cargas dinámicas con velocidad de 5,5 m/s).

Factor geométrico: $I = 0,08$ (Para relación de transmisión 1 y 25 dientes).

Factor de sobrecarga: $C_o = 1,25$ (choques pequeños).

Factor de tamaño: $C_s = 1$ (para engranajes rectos con aplicaciones generales).

Factor de distribución de carga: $C_m = 1,6$ (ancho de diente menor a 50 mm).

Factor de condición de carga: $C_f = 1$ (para engranajes con buen acabado superficial).

Velocidad de giro del engranaje: $n_p = 703$ rpm

Esfuerzo de contacto (acero endurecido): $S_{ac} = 72$ kgf/mm²

Ancho del diente: $F = 37,5$ mm

Factor de vida: $C_L = 1$ (para 10^7 ciclos).

Factor de relación de dureza: $C_H = 1$ (para engranajes de dientes rectos).

Factor de temperatura: $C_T = 1$ (engranajes que no excedan la temperatura de 121 °C).

Factor de sobrecarga: $C_R = 1$ (Requerimiento: de 100 falla 1).

Factor de propiedades elásticas: $C_p = 61$ (material de engranaje y piñón: acero).

Los valores de los factores en ANEXO 12.

$$P_{dfs} = 6,98 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{703 \cdot 37,5 \cdot 0,7 \cdot 0,08}{1,25 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1} \right) \cdot \left(\frac{72 \cdot 150 \cdot 1 \cdot 1}{1 \cdot 1 \cdot 61} \right)^2$$

$$P_{dfs} = 16,1 \text{ CV}$$

$$P_{dfs} = 15,8 \text{ HP}$$

El engranaje es aceptable porque puede transmitir una potencia mayor a la requerida.

4.6.8. Cálculo del eje

Se tienen dos ejes operando en paralelo, de ellos se toma el de mayor carga para el diseño, es decir, el que soporta las 6 cuchillas, 5 separadores, engranaje, rodamientos y elemento flexible, como se ve en la figura 47:

Donde:

- 1) Elemento flexible
- 2) Engranaje
- 3) Rodamiento
- 4) Cuchilla y separador
- 5) Rodamiento

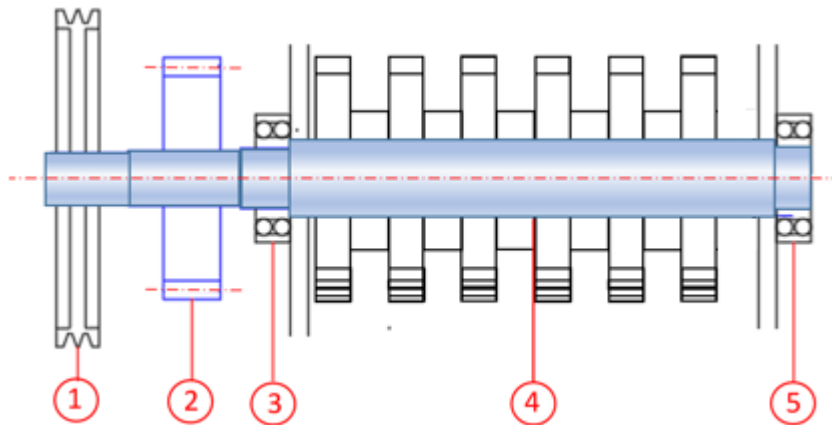


Figura 48: Referencia de disposición del eje

Fuente: elaboración propia

Las cargas que actúan en el eje se verifican en el diagrama de cuerpo libre, donde:

F_{1x} y F_{1y} son las fuerzas del elemento flexible.

F_{2x} y F_{2y} son las fuerzas del engranaje.

R_{Ax} , R_{Ay} , R_{Bx} y R_{By} son las reacciones de los rodamientos.

F_{3y} es la fuerza que actúa por el peso de cuchillas, separadores, eje y fuerza de corte.

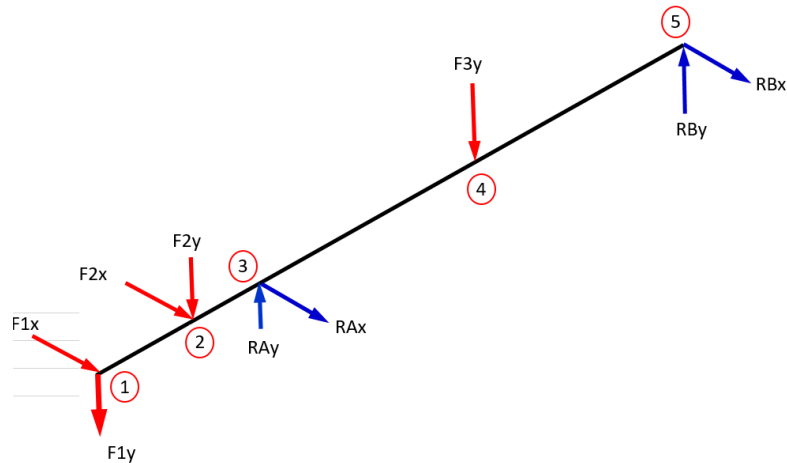


Figura 49: Diagrama de cuerpo libre del eje mayor

Fuente: Elaboración propia

PUNTO 1: Fuerzas de polea

En este punto actúan la fuerza flexionante de la polea en el plano ZX y el peso de la polea en el plano ZY.

Plano ZX

El torque sobre el eje se determina con:

$$T_e = \frac{63\,000 * P}{N_c}$$

Donde:

T_e : Torque sobre el eje [lbf-in]

P: Potencia [HP]

N_c . Velocidad de la polea conducida [rpm]

Se transmite 3 HP a 703 RPM, entonces:

$$T_e = \frac{63\,000 * 3}{703}$$

$$T_e = 268,847 \text{ lbf-in}$$

$$T_e = 3\,100 \text{ kgf-mm}$$

Fuerza tangencial sobre la polea conducida:

$$F_{tp} = \frac{2 * T_e}{d_{dg}}$$

El diámetro de paso de la polea conducida es de 224 mm, entonces:

$$F_{tp} = \frac{2 * 3 \ 100}{224}$$

$$F_{tp} = 27,67 \text{ kgf}$$

La fuerza flexionante para bandas trapezoidales que actúa en el eje X se calcula con la ecuación:

$$F_f = 1,5 * F_{tp}$$

$$F_f = 1,5 * 27,67$$

$$F_f = F_{1x} = 41,5 \text{ kgf}$$

Por la posición del motor esta fuerza actúa horizontalmente.

Plano ZY

Para el plano “ZY”, actúa el peso de la polea:

$$F_{1y} = 11 \text{ kgf (ANEXO 13)}$$

PUNTO 2: Fuerzas de engranaje

En este punto actúan la fuerza radial en el eje X y el peso con la fuerza tangencial del engranaje en el eje Y.

Plano ZX

Torque sobre el eje:

$$T_e = \frac{63 \ 000 * P}{n_p}$$

Donde:

T_e : Torque sobre el eje [lbf-in]

P: Potencia [HP]

n_p . Velocidad de giro de engranajes [rpm]

Considerando que el engranaje transmite los 3 Hp:

$$T_e = \frac{63 \ 000 * 3}{703}$$

$$T_e = 268,847 \text{ lbf-in}$$

$$T_e = 3 \ 100 \text{ kgf-mm}$$

Ahora, la fuerza tangencial se calcula con:

$$F_{te} = \frac{2 * T_e}{D_p}$$

Donde:

F_{te} : Fuerza tangencial del engranaje [kgf]

$$F_{te} = \frac{2 * 3 \cdot 100}{150}$$

$$F_{te} = 41,3 \text{ kgf}$$

La fuerza radial, por la disposición de los engranes actúa en el plano ZX, entonces considerando que el ángulo de presión es de 20° se tiene:

$$F_{re} = F_{te} * \tan \phi$$

$$F_{re} = 41,3 * 0,364$$

$$F_{re} = F_{2x} = 15,03 \text{ kgf}$$

Plano ZY

Actúan el peso y la fuerza tangencial del engranaje:

$$F_{pe} = 4,68 \text{ kgf (ANEXO 14)}$$

$$F_{te} = 41,3 \text{ kgf}$$

Donde:

F_{pe} : Fuerza de peso del engranaje [kgf].

Entonces se tiene que la fuerza F_{2y} es de 45,98 kgf.

PUNTO 4: Fuerza de las cuchillas y separadores

Plano ZY

Para calcular el peso de la cuchilla, primero se determina el volumen calculando el área de la cuchilla teniendo en cuenta la geometría que se muestra en la figura 49 y el ancho de la cuchilla que es de 2,5 cm. Luego con la densidad se halla su peso.

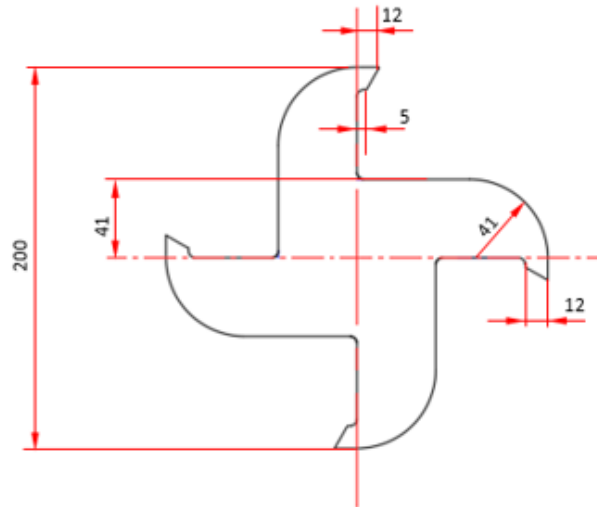


Figura 50: Medidas de cuchilla

Fuente: elaboración propia

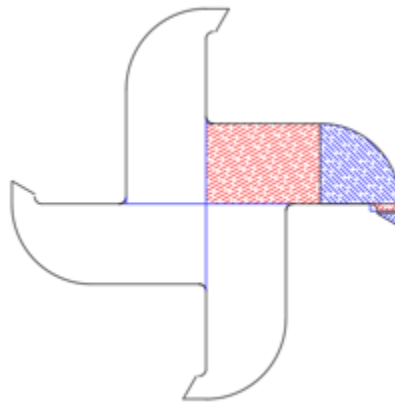


Figura 51: Referencia de áreas para cálculo de masa

Fuente: elaboración propia

El peso de cada cuchilla es de 2,625 kgf y como se tiene 6 cuchillas el peso total es de 15,75 kgf.

Los separadores son cilindros huecos de las siguientes dimensiones y materiales:

Diámetro interior: 5 cm

Diámetro exterior: 9,4 cm

Espesor: 2,95 cm

Material: ASTM A36

Entonces, se tiene:

Peso del separador: 1,15 kgf (ANEXO 15).

Como se tiene 5 separadores, el peso total de separadores es de 5,75 kgf.

Como aún no se conoce el peso del eje, se considera un valor aproximado de 6,08 kgf para efectos de cálculo.

La fuerza F_{3y} viene dada por la sumatoria de: peso de separadores, cuchillas, eje y la fuerza de corte (2 cuchillas actúan en un instante). Por tanto, F_{3y} es de 55,08 kgf y se considera como una carga puntual.

Calculo de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto

Las fuerzas en el plano “ZX” se muestran en la figura 51:

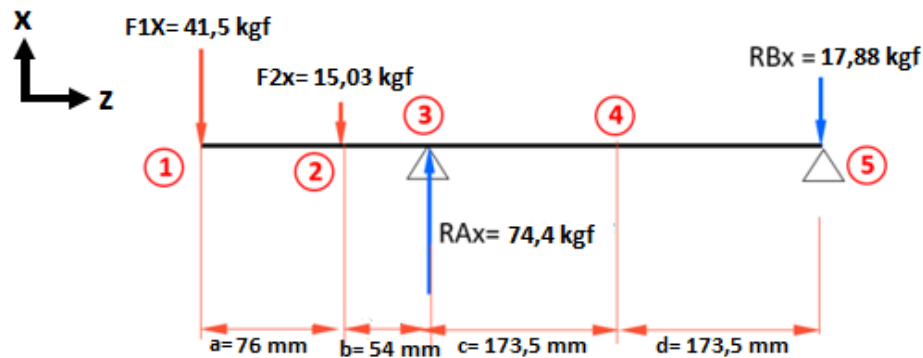


Figura 52: Cargas en el plano ZX

Fuente: elaboración propia

A continuación, los cálculos de las reacciones en los rodamientos con las ecuaciones de equilibrio de Newton:

$$\Sigma F_x = 0 (\uparrow +)$$

$$-41,5 - 15,03 + R_{Ax} + R_{Bx} = 0$$

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 56,53 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_3 = 0 (\curvearrow +)$$

$$41,5(130) + 15,03(54) + R_{Bx}(347) = 0$$

$$R_{Bx} = -17,88 \text{ kgf} = 17,88 \text{ kgf} (\downarrow)$$

Ahora se calcula R_{Ax} :

$$R_{Ax} + R_{Bx} = 56,53 \text{ kgf}$$

$$R_{Ax} = 74,4 \text{ kgf } (\uparrow)$$

Ahora los cálculos de las fuerzas cortantes y momentos flectores con las ecuaciones de equilibrio de Newton:

Tramo 1-2:

$$\Sigma F_{x \ 1-2} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-41,5 - V = 0$$

$$V = -41,5 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{1-2} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$41,5(76) + M_{1-2} = 0$$

$$M_{1-2} = -3 \ 154 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 2-3:

$$\Sigma F_{x \ 2-3} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-41,5 - 15,03 - V = 0$$

$$V = -56,53 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{2-3} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$41,5(130) + 15,03(54) + M_{2-3} = 0$$

$$M_{2-3} = -6 \ 206,62 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 3-5:

$$\Sigma F_{x \ 3-5} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-41,5 - 15,03 + 74,4 - V = 0$$

$$V = 17,87 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{3-5} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$41,5(477) + 15,03(401) - 74,4(347) + M_{3-5} = 0$$

$$M_{3-5} = 0 \text{ kgf-mm (en el punto 5)}$$

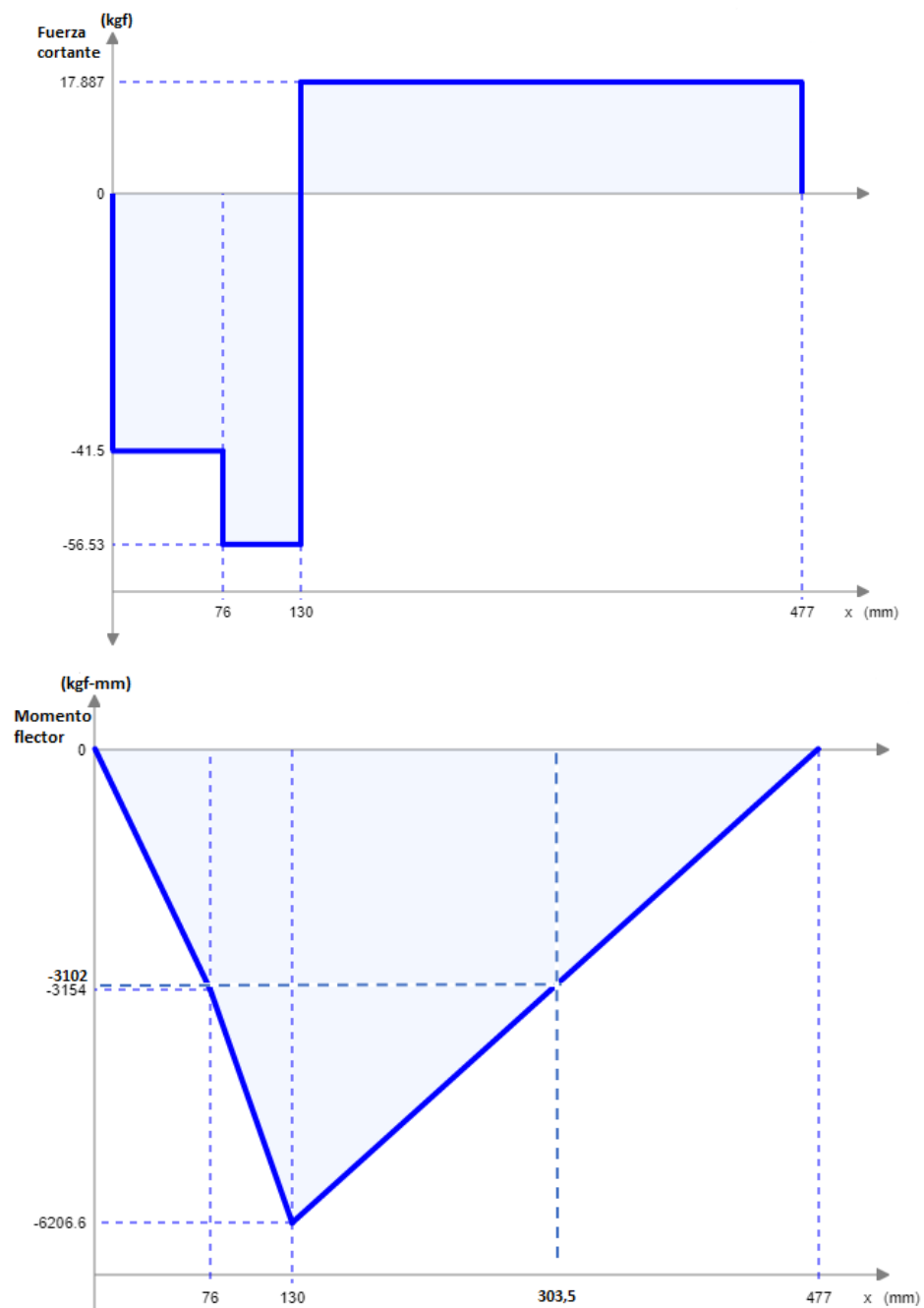


Figura 53: Fuerzas cortantes y momentos flectores en eje x

Fuente: elaboración propia

Las fuerzas en el plano "ZY" se muestran en la figura 53:

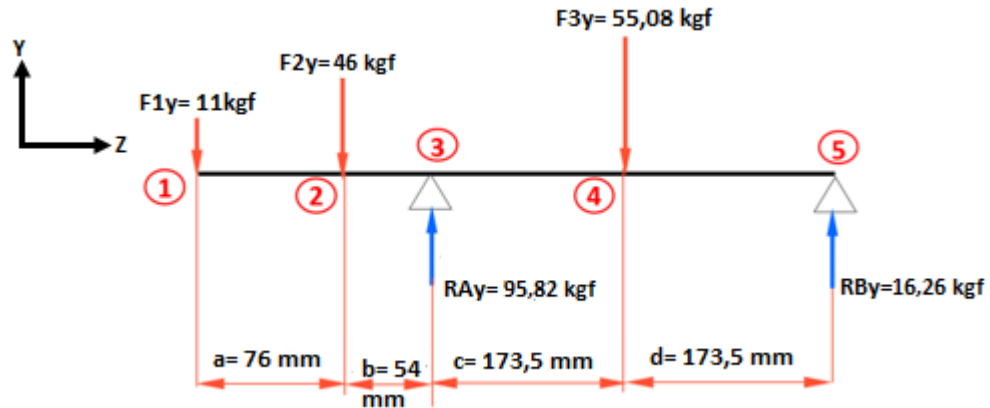


Figura 54: Cargas en el plano ZY

Fuente: elaboración propia

A continuación, los cálculos de las reacciones en los rodamientos con las ecuaciones de equilibrio de Newton:

$$\Sigma F_y = 0 (\uparrow +)$$

$$-11 - 46 - 55,08 + R_{Ay} + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 112,08 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_3 = 0 (\curvearrow +)$$

$$11(130) + 46(54) - 55,08(173,5) + R_{By}(347) = 0$$

$$R_{By} = 16,26 \text{ kgf}$$

Ahora se calcula R_{Ay} :

$$R_{Ay} + R_{By} = 112,08 \text{ kgf}$$

$$R_{Ay} = 95,82 \text{ kgf} (\uparrow)$$

Ahora los cálculos de las fuerzas cortantes y momentos flectores con las leyes de equilibrio de Newton:

Tramo 1-2:

$$\Sigma F_{y \ 1-2} = 0 (\uparrow +)$$

$$-11 - V = 0$$

$$V = -11 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{1-2} = 0 (\curvearrow +)$$

$$11(76) + M_{1-2} = 0$$

$$M_{1-2} = -836 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 2-3:

$$\Sigma F_{y \ 2-3} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-11 - 46 - V = 0$$

$$V = -57 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{2-3} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$11(130) + 46(54) + M_{2-3} = 0$$

$$M_{2-3} = -3 \ 914 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 3-4:

$$\Sigma F_{y \ 3-4} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-11 - 46 + 95,82 - V = 0$$

$$V = 38,82 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{3-4} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$11(303,5) + 46(227,5) - 95,82(173,5) + M_{3-4} = 0$$

$$M_{3-4} = 2 \ 821,27 \text{ kgf-mm}$$

Tramo 4-5:

$$\Sigma F_{y \ 4-5} = 0 \ (\uparrow+)$$

$$-11 - 46 + 95,82 - 55,08 - V = 0$$

$$V = -16,26 \text{ kgf}$$

$$\Sigma M_{4-5} = 0 \ (\curvearrow+)$$

$$11(477) + 46(401) - 95,82(347) + 55,08(173,5) + M_{4-5} = 0$$

$$M_{4-5} = 0 \text{ kgf-mm}$$

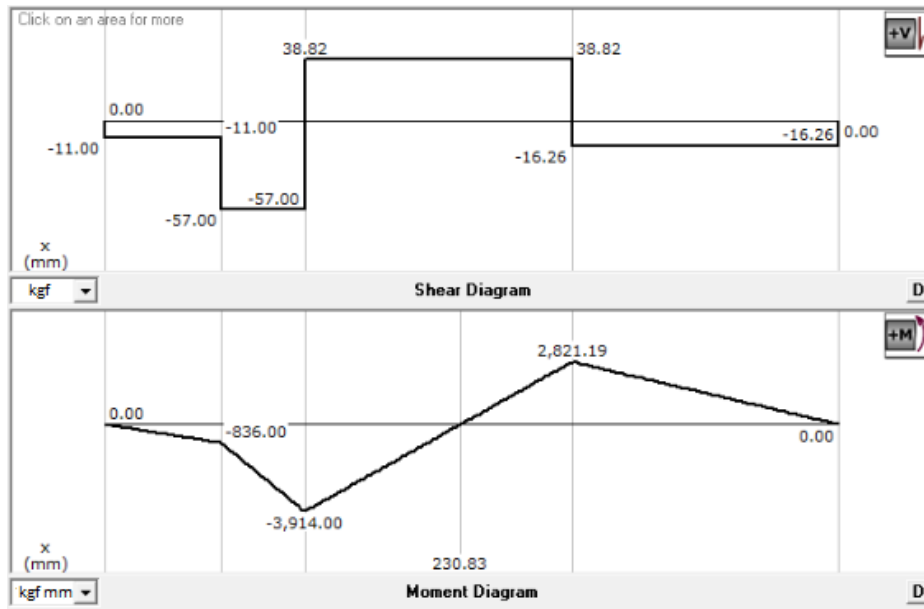


Figura 55: Fuerzas cortantes y momentos flectores en eje Y

Fuente: elaboración propia

Se estima que el diámetro del eje no exceda las 3 pulgadas (7,62 cm), entonces para esta consideración se debe utilizar un acero estirado en frío. El acero seleccionado es AISI 1010 (ANEXO 16) estirado en frío con valores de:

$$S_y = 44\,000 \text{ Psi}$$

$$S_{ut} = 53\,000 \text{ Psi}$$

MOMENTOS RESULTANTES

En los diagramas de fuerzas cortantes y momentos se observa que los momentos flectores de mayor valor se producen en los puntos donde se ubica uno de los rodamientos y las cuchillas de corte.

Por razones de montaje, para ubicar la polea, el engranaje, los rodamientos y las cuchillas de corte el eje tiene diámetros escalonados.

El momento flector resultante en un punto P se obtiene con los momentos flectores en el plano X y el plano Y.

$$M_p = \sqrt{M_{px}^2 + M_{py}^2}$$

Con estas expresiones se tiene:

En el punto 3 se ubica el rodamiento más cargado:

$$M_{3x} = 6\,206,6 \text{ kg} - \text{mm}$$

$$M_{3y} = 3\,914 \text{ kg} - \text{mm}$$

$$M_3 = \sqrt{6\,206,6^2 + 3\,914^2}$$

$$M_3 = 7\,337,66 \text{ kg} - \text{mm} = 636,9 \text{ lbf-in}$$

Torque máximo que transmite el eje:

$$T = 3\,100 \text{ kg} - \text{mm} = 268,85 \text{ lbf-in}$$

CÁLCULO DE DIÁMETRO POR CARGA ESTÁTICA

Para el cálculo del diámetro previo del eje se emplea la teoría de esfuerzo cortante de Von Mises por estar sometido a un torque y momento, entonces se tiene:

$$d = \left[\frac{16N}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Donde:

d: Diámetro previo [in]

N: Factor de seguridad. Se toma el valor de 2,5 para cargas dinámicas.

S_y : Resistencia a la fluencia [psi]

T: Torque máximo del eje [lbf-in]

M: Momento flector resultante [lbf-in]

$$d = \left[\frac{16(2,5)}{\pi(44\,000 \text{ psi})} (4(636,9 \text{ lbf} - \text{in})^2 + 3(268,85 \text{ lbf} - \text{in})^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0,732 \text{ in}$$

$$d = 18,6 \text{ mm}$$

CÁLCULO DE LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA MODIFICADO

Para el cálculo se utiliza la ecuación de Marin, la cual relaciona varios factores de modificación con el límite de resistencia a la fatiga del material seleccionado.

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e'$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga modificado [psi]

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga [psi]

K_a : Factor que modificación superficie.

K_b : Factor que modifica tamaño.

K_c : Factor que modifica carga.

K_d : Factor que modifica temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de efectos varios.

A continuación se calcula el factor K_a con la ecuación:

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Donde:

S_{ut} : Resistencia mínima a la tensión [kPsi]

Para un acabado superficial laminado o maquinado en frío (ANEXO 17), la ecuación es:

$$K_a = 2,7 * S_{ut}^{-0,265}$$

$$K_a = 2,7 * (53 \text{ kPsi})^{-0,265}$$

$$K_a = 0,943$$

Se calcula el factor K_b :

$$K_b = \begin{cases} \frac{d^{-0,107}}{0,3} & 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg.} \\ 0,91 * d^{-0,157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ pulg.} \end{cases}$$

Se considera un diámetro mínimo de 0,732 pulgadas, entonces se tiene la ecuación:

$$K_b = \frac{d^{-0,107}}{0,3}$$

$$K_b = \frac{0,732 \text{ pulg.}^{-0,107}}{0,3}$$

$$K_b = 0,909$$

Se calcula el factor K_c :

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

En este punto se considera que existen cargas de flexión, entonces el valor que se toma es de $K_c=1$.

Se desestima la temperatura, entonces para el factor de temperatura se considera un valor de $K_d=1$.

Para el estudio se considera un alto grado de confiabilidad (99,999%), entonces el factor de confiabilidad toma un valor de $K_e=0,62$ (ANEXO 18).

Como no hay condiciones para el factor de efectos varios en el inicio de cálculos se toma un valor de $K_f=1$.

Ahora, se calcula el límite de resistencia a la fatiga con la ecuación:

$$S_e' = 0,5 \times S_{ut}$$

Donde:

S_{ut} : Resistencia mínima a la tensión de material seleccionado

$$S_e' = 0,5 \times 53\,000 \text{ Psi}$$

$$S_e' = 26\,500 \text{ Psi}$$

Finalmente se calcula la resistencia a la fatiga modificada:

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S_e'$$

$$S_e = 0,943 \times 0,909 \times 1 \times 1 \times 0,62 \times 1 \times 26\,500$$

$$S_e = 14\,080,18 \text{ Psi}$$

CÁLCULO DE MOMENTO ALTERNANTE Y MEDIO

En este caso se trata de un eje con esfuerzo flexionante totalmente invertido, entonces los momentos se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2}$$

$$M_a = \frac{636,9 \text{ lbf-in} - (-636,9 \text{ lbf-in})}{2}$$

$$M_a = 636,9 \text{ lbf-in}$$

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$$

$$M_m = \frac{636,9 \text{ lbf-in} + (-636,9 \text{ lbf-in})}{2}$$

$$M_m = 0 \text{ lbf-in}$$

CÁLCULO DE TORQUE ALTERNANTE Y MEDIO

En este caso el torque es constante para toda la sección del eje.

$$T_a = 0 \text{ lbf-in}$$

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

$$T_m = \frac{268,85 \text{ lbf-in} + 268,85 \text{ lbf-in}}{2}$$

$$T_m = T_c = 268,85 \text{ lbf-in}$$

CÁLCULO DE DIÁMETRO POR CRITERIO DE GOODMAN

El criterio por fatiga de Goodman es muy conservador y se usa para esfuerzos alternantes y medios.

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

Donde:

d: Diámetro del eje [in]

n: Factor de seguridad. En este caso, se tendrá en cuenta para materiales dúctiles con cargas dinámicas ya que podría variar su magnitud con el tiempo al momento de triturar los picos de botellas, además por incertidumbre de análisis de esfuerzos y ambiente por lo tanto se toma un valor de 2,5.

K_f : Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por flexión.

Se calcula el factor K_f con las siguientes recomendaciones:

$$K_f = 2,5 \text{ para chaflán agudo.}$$

$$K_f = 1,5 \text{ para transición bien redondeada.}$$

Como en el punto de estudio hay un cambio de geometría existe concentración de esfuerzos, entonces para un chaflán agudo para flexión $K_f=2,5$.

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzos de fatiga por torsión. Para este factor se toma en cuenta los diámetros de 50 y 40 mm en el cambio de geometría. Además, se toma un radio de muesca de 1 mm como cálculo previo.

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

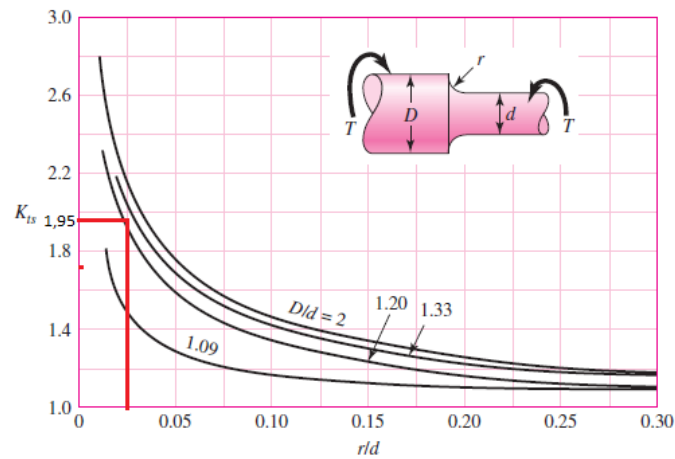


Figura 56: Factor Kfs

Fuente: [16]

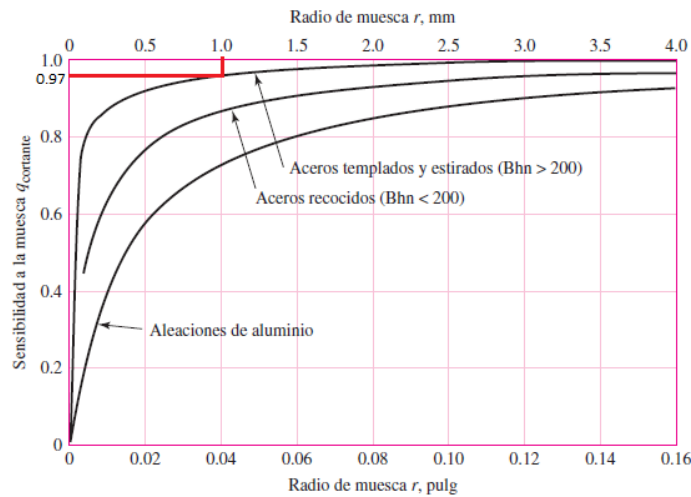


Figura 57: Factor de sensibilidad a la muesca q

Fuente: [16]

$$K_{fs} = 1 + 0,97 (1,95 - 1)$$

$$K_{fs} = 1,92$$

M_a : Momento alternante = 636,9 lbf-in

T_a : Torque alternante = 0

M_m : Momento medio = 0

T_m : Torque máximo = 268,85 lbf-pulg

Para este estudio se considera un eje con flexión y torsión constantes, es decir, el momento flexionante es reversible y la torsión constante, entonces M_m y T_a son cero.

El diámetro calculado es $d = 1,46$ pulg. = 37,1 mm.

Como cerca del punto de estudio existe una ranura para anillo de retención, se debe aplicar el factor de 1,06 al diámetro calculado, entonces $d = 39,3$ mm.

Se escoge un diámetro de 40 mm para el montaje del rodamiento y 50 mm para el montaje de las cuchillas y separadores.

CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD POR CRITERIO DE GOODMAN

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

Donde:

$d = 1,46$ pulg.

Calculando se tiene:

$n = 1,36$

Por el criterio de Goodman se tiene un factor de seguridad calculado de 1,36 que es aceptable para el diseño del eje.

4.6.9. Selección de rodamientos

La carga máxima de los rodamientos es:

$$R_{Ax} = 74,4 \text{ kgf}$$

$$R_{Ay} = 95,82 \text{ kgf}$$

La fuerza aplicada en el apoyo A es:

$$R_A = 121,3 \text{ kgf}$$

La carga que puede soportar el rodamiento se expresa como:

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D \times n_D \times 60}{L_R \times n_R \times 60} \right)^{\frac{1}{a}}$$

Donde:

C_{10} : Carga de rodamiento [kN].

L_D : Tiempo de vida deseada [h].

n_D : Velocidad de giro [rpm].

a: exponente, para rodamiento de bolas un valor de 3.

F_D : Fuerza aplicada al rodamiento [kN]

Condiciones de operación del rodamiento:

$$F_D = 121,3 \text{ kgf} = 1,2 \text{ kN}$$

$$L_D = 20\,000 \text{ h (ANEXO 19)}$$

$$n_D = 703 \text{ rpm}$$

Considerando que la empresa SKF clasifica sus rodamientos para una vida de 10^6 ciclos o revoluciones, entonces se tiene:

$$L_R \times n_R \times 60 = 10^6$$

Ahora se calcula la carga para el rodamiento:

$$C_{10} = 1,2 \left(\frac{20\,000 \times 703 \times 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10} = 11,3 \text{ kN}$$

Se selecciona un rodamiento rígido de bolas SKF 6208 ETN9 (ANEXO 20) de una hilera con cargas dinámicas y estáticas de:

$$C_{10} = 35,8 \text{ kN} = 3\,653 \text{ kgf}$$

$$C_0 = 20,8 \text{ kN} = 2\,122,4 \text{ kgf}$$

Estos valores superan ampliamente los requerimientos por lo que se consideran aceptables.

4.7. Manual de uso de la máquina

Para el correcto funcionamiento de la máquina se detalla a continuación los pasos a seguir:

1. Antes de la puesta en marcha, el operador debe tener puesto los equipos de protección personal EPP's para su seguridad: guantes, casco, lentes, audífonos, mascarilla y ropa industrial.
2. Revisar el interior de la máquina trituradora para verificar que no tenga algún elemento extraño que la pueda obstruir al iniciar su funcionamiento.
3. Verificar la carga de la instalación fotovoltaica para el correcto funcionamiento de la máquina.
4. Verificar la correcta tensión en los elementos flexibles (correas).
5. Para la puesta en marcha, enchufar la toma de alimentación de corriente.
6. Durante la puesta en marcha, llenar la tolva con botellas PET.
7. Al finalizar el proceso, apagar la máquina y hacer una limpieza a la cámara de alimentación donde se almacenan los residuos de plástico PET.
8. Verificar el desgaste de cuchillas y otros elementos, para pedir con anticipación los repuestos y no tener problemas al momento de la puesta en marcha.

4.8. Selección de materiales para fabricación

La selección de cada material se debe a la función que cumple dentro de la propuesta de la máquina, con esta aclaración se procede a dar materiales y una breve explicación de sus propiedades.

* **Cuchillas:** se construyen en acero AISI D2, este es un acero al carbono con alto contenido de cromo lo que la hace resistente al desgaste y no pierdan filo tan rápidamente. Son útiles en piezas que están sometidas a esfuerzos y además son de bajo costo. Sus aplicaciones típicas son para cuchillas de molinos de plástico, elementos de desgaste, cizallas, etc. (VER ANEXO 21)

* **Separadores:** como no están expuestos a esfuerzos, se construyen de acero ASTM A36.

* **Eje:** está hecho de un acero AISI 1010; es un acero al carbono, muy dúctil y con buena soldabilidad. Sus aplicaciones típicas son en bulones (tornillos grandes), ejes, tornillos, tuercas, etc.

* **Estructura:** se usa perfiles angulares de acero estructural A36, este acero soporta grandes cargas y puede ser flexible, también se elige este tipo de material por ser el más comercial en el país.

* **Soldadura:** la soldadura se realiza con un electrodo E6011, este electrodo soporta cargas de hasta 11.000 libras por pulgada cuadrada, y se está sobre estimando su carga de trabajo debido a que en el mercado peruano no se encuentra uno de menor rango de carga.

* **Engranajes:** se construyen de acero AISI 1020 resistente a la picadura, de bajo carbono y fácil maquinabilidad. Es ideal para elementos que necesitan dureza uniforme.

* **Placas de carcasa:** la carcasa se puede hacer con 2 tipos de materiales: la primera opción es placas de acero estructural A36 de 1/4 de pulgada equivalente a 6 mm de espesor o un acero 1020 del mismo espesor. Estos aceros con dicho espesor soportan cargas hasta de 250 kg por mm de espesor, de este modo el sistema de carcasa está estimado para soportar el peso de todos los elementos de la máquina.

4.9. Cálculos del sistema fotovoltaico

Para el cálculo y selección del sistema fotovoltaico, se halla primero la latitud y longitud de la universidad, para luego hallar la energía solar incidente diaria horizontal en la región Lambayeque (ANEXO 22).

La latitud y longitud de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ubicada en el departamento de Lambayeque se muestra en la figura 57:

Latitud: 6,760 310° sur

Longitud: -79,863 614°

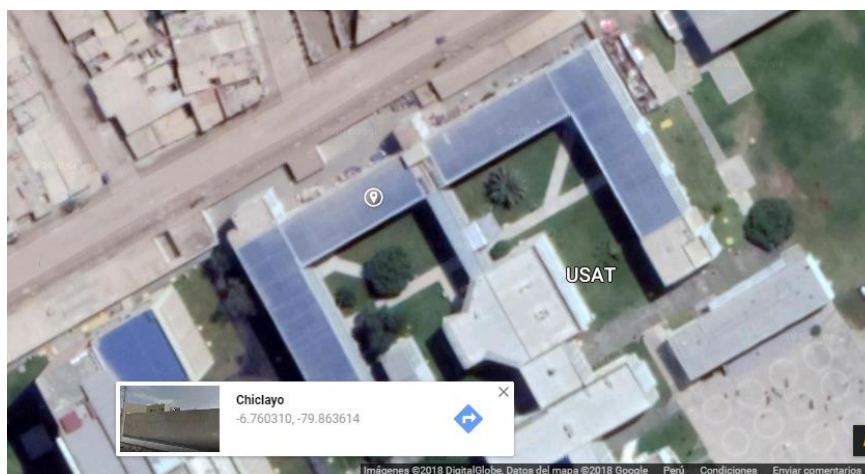


Figura 58: Latitud de ubicación

Fuente: google maps

Se consideran los datos que proporcionan el SENAMHI y la NASA para la irradiación solar.

Tabla 14: Irradiación mensual

MESES	IRRADIACIÓN SOLAR (kWh/m ²)	PROMEDIO IRRADIACIÓN SOLAR (kWh/m ²)
Enero	6 - 6,5	6,25
Febrero	6 - 6,5	6,25
Marzo	6 - 6,5	6,25
Abril	5 - 6	5,5
Mayo	5 - 5,5	5,25
Junio	4,5 - 5	4,75
Julio	5 - 5,5	5,25
Agosto	5,5 - 6	5,75
Septiembre	6,5 - 7	6,75
Octubre	5,5 - 6,5	6
Noviembre	6 - 6,5	6,25
Diciembre	6 - 6,5	6,25

Fuente: Senamhi

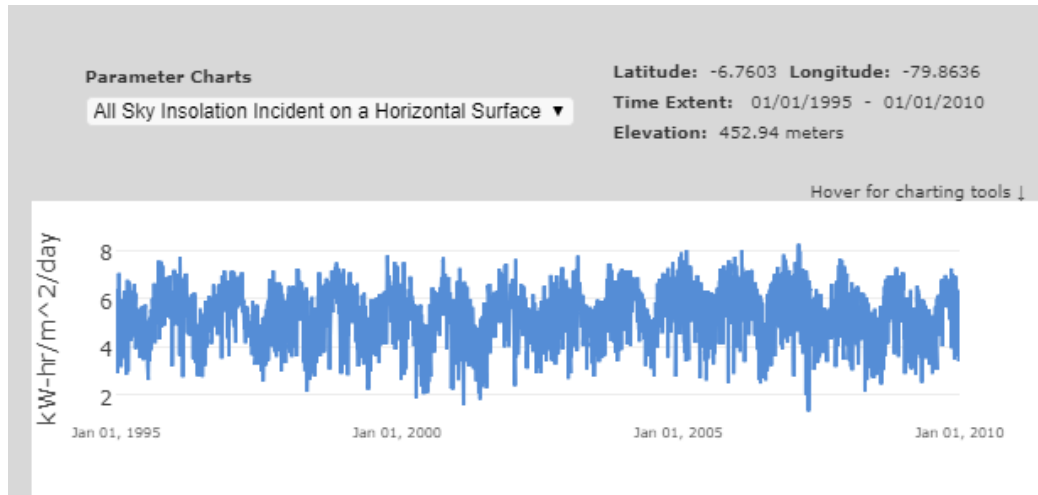


Figura 59: Irradiación solar diaria

Fuente: POWER DATA ACCESS VIEWER- <https://power.larc.nasa.gov/>

De los datos obtenidos por SENAMHI (tabla 14) y la NASA (Figura 58) se escoge: Como se va diseñar un sistema para uso diario anual, se escoge un valor promedio o el valor más pequeño de todo el año. Para el caso más desfavorable y como seguridad se utiliza 2,5 kWh/m²/día para las irradiación solar promedio en todo el año.

Las horas de pico solar HPS viene dada por la ecuación:

$$HPS_{\beta} = \frac{R_{\beta}}{I_{\beta}} \text{ [h]}$$

Donde:

R_{β} : Irradiación solar [kWh/m²]

I_{β} : Irradiancia hipotética [1 kW/m²]

HPS_{β} : Horas de pico solar [h]

$$HPS_{\beta} = \frac{2,5 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2}$$

$$HPS_{\beta} = 2,5 \text{ h}$$

El cálculo de la máxima demanda viene dada por la ecuación:

$$P_{\max} = \sum \text{Cantidad} \times \text{horas} \times P_{\text{equipo}} \text{ [Wh/día]}$$

Tabla 15: Máxima demanda de la carga

Descripción (equipo)	Cantidad	Potencia (W)	Uso diario (h)	Energía (Wh/día)
Motor eléctrico	1	2 230	1	2 230
Total				2 230

Fuente: elaboración propia

Ahora, se calcula el consumo de la instalación:

$$I_{inst_max} = \frac{P_{max}}{V_{bat}}$$

Donde:

I_{inst_max} : Corriente instantánea máxima de consumo [Ah/día]

P_{max} : Energía máxima [Wh/día]

V_{bat} : Voltaje de la batería [V]

$$I_{inst_max} = \frac{2\,230\text{ W}}{24\text{ V}} = 92,92\text{ Ah/día}$$

Como margen de seguridad hay que incrementar un 20 % al valor obtenido:

$$I_{max} = 1,2 \times I_{inst_max}$$

Donde:

I_{max} : Corriente máxima de consumo [Ah/día]

$$I_{max} = 1,2 \times 92,92\text{ Ah/día}$$

$$I_{max} = 111,5\text{ Ah/día}$$

Las pérdidas totales se calculan con la ecuación:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \times \left[1 - \frac{(K_A \times D_{aut})}{P_d}\right]$$

Donde:

K_A : Pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería. Su valor por defecto es del 0,5%.

K_B : Pérdidas debido al rendimiento de la batería. Por defecto, tiene un valor de 5%.

K_C : Pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay), es decir, principalmente en instalaciones de 230 voltios. Los valores por defecto suelen estar entre el 80% y 95%, por lo que las pérdidas oscilaran entre el 20% y el 5%.

K_R : Pérdidas debido al rendimiento del regulador empleado. Si no se conoce se toma el valor por defecto del 90%, por lo que las pérdidas serán del 10%.

K_X : Otras pérdidas no contempladas (por efecto joule, caídas de tensión. Se escoge un valor por defecto del 10 %.

D_{aut} : Días de autonomía con baja o nula insolación.

P_d : Profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante; por defecto se escoge un valor del 60% o 70%.

K_T : Pérdidas totales

$$K_T = [1 - (0,05 + 0,1 + 0,1 + 0,1)] \times \left[1 - \frac{(0,005 \times 3)}{0,7}\right]$$

$$K_T = 0,636$$

El consumo máximo se halla con la ecuación:

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T}$$

Donde:

C_{max} : Consumo máximo [Ah/día]

$$C_{max} = \frac{111,5 \text{ Ah/día}}{0,636}$$

$$C_{max} = 175,295 \text{ Ah/día}$$

4.9.1. Selección de paneles solares

Para seleccionar los paneles solares se toma en cuenta 3 fabricantes:

Tabla 16: Características técnicas de panel fotovoltaico

Fabricante	WAAREE WS-200/24 V	WAAREE WS- 200-12V	CSUN 320-72P
Potencia (W)	200	200	320
Corriente máxima (I_{max})	5,55	11,13	8,84
Corriente de c. circuito (I_{sc})	6	11,64	9,17
Tensión (V)	24	12	24
Eficiencia (%)	13,56	13,56	16,52

Precio (S/.)	752,12	696,4	885,5
--------------	--------	-------	-------

Fuente: elaboración propia

A continuación se calcula la energía que proporciona cada panel fotovoltaico con la siguiente ecuación:

$$E_{panel} = 0,9 \times I_{panel} \times HPS_{\beta}$$

Donde.

E_{panel} : Energía del panel [Ah/día]

I_{panel} : Corriente máxima del panel [A]

Para fabricante WAAREE WS-200/24 V

$$E_{panel} = 0,9 \times 5,55 \text{ A} \times 2,5 \text{ h}$$

$$E_{panel} = 12,48 \text{ Ah/día}$$

Para fabricante WAAREE WS-200/12 V

$$E_{panel} = 0,9 \times 11,13 \text{ A} \times 2,5 \text{ h}$$

$$E_{panel} = 25,04 \text{ Ah/día}$$

Para fabricante CSUN 320-72P

$$E_{panel} = 0,9 \times 8,84 \text{ A} \times 2,5 \text{ h}$$

$$E_{panel} = 19,89 \text{ Ah/día}$$

Ahora, se calcula el número de ramas o paneles fotovoltaicos en paralelo y en serie con las siguientes ecuaciones:

$$n_{\text{paneles-paralelo}} = \frac{C_{\text{max}}}{E_{\text{panel}}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{panel}}}$$

Donde:

$n_{\text{paneles-paralelo}}$: Número de paneles en paralelo.

$n_{\text{paneles-serie}}$: Número de paneles en serie.

V_{panel} : Voltaje de panel [V]

Para fabricante WAAREE WS-200/24 V

$$n_{\text{paneles-paralelo}} = \frac{C_{\text{max}}}{E_{\text{panel}}} = \frac{175,295 \text{ Ah/día}}{12,48 \text{ Ah/día}} = 14,046 \approx 15 \text{ paneles}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{panel}}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{24 \text{ V}}{24 \text{ V}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = 1$$

Por tanto, se necesitan 15 paneles solares en total.

Para fabricante WAAREE WS-200/12 V

$$n_{\text{paneles-paralelo}} = \frac{C_{\text{max}}}{E_{\text{panel}}} = \frac{175,295 \text{ Ah/día}}{25,04 \text{ Ah/día}} = 7 \text{ paneles}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{panel}}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = 2$$

Por tanto, se necesitan 14 paneles solares en total.

Para fabricante CSUN 320-72P

$$n_{\text{paneles-paralelo}} = \frac{C_{\text{max}}}{E_{\text{panel}}} = \frac{175,295 \text{ Ah/día}}{19,89 \text{ Ah/día}} = 8,813 \approx 9 \text{ paneles}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{V_{\text{bat}}}{V_{\text{panel}}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = \frac{24 \text{ V}}{24 \text{ V}}$$

$$n_{\text{paneles-serie}} = 1$$

Por tanto, se necesitan 9 paneles solares en total.

Para la elección del panel se toma en cuenta la tensión de trabajo óptima para el sistema fotovoltaico. La tensión óptima para el sistema que tiene una potencia de 2 230 W es de 24 V, como se muestra en la tabla 17:

Tabla 17: Tensión de trabajo de sistema fotovoltaico

Potencia demandada (en W)	Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (en V)
< de 1500 W	12V
Entre 1500 W y 5000 W	24V ó 48V
> 5000 W	120V ó 300V

Fuente: <http://www.yubasolar.net/2015/01/tutorial-instalacion-solar-fotovoltaica19.html>

Ahora, por eficiencia y precio se selecciona el fabricante CSUN 320-72P.

Tabla 18: Selección de panel fotovoltaico

Fabricante	WAAREE WS-200/24 V	WAAREE WS-200/12 V	CSUN 320-72P
Eficiencia (%)	13,56	13,56	16,52
N° de paneles	15	14	9
Precio panel por unidad (S/.)	752,12	696,4	885,5
Precio total (S/.)	11 281,8	9 749,6	7 969,5

Fuente: elaboración propia

4.9.2. Selección de baterías

A continuación se calcula el número de baterías necesaria. Para ello hay que conocer la capacidad del banco de baterías.

$$C_{bat} = \frac{C_{max} \times D_{aut}}{P_d}$$

Donde:

C_{bat} : Capacidad del banco de baterías [Ah]

$$C_{bat} = \frac{175,295 \text{ Ah/día} \times 3}{0,7}$$

$$C_{bat} = 751,263 \text{ Ah}$$

A continuación se detalla las características técnicas de la batería U POWER UP-GC12TOP con precio de S/.1 454,5.

Electrical Characteristics	
Nominal voltage	12 Volts
C100 Rated Capacity	260 Ah
C5 Rated Capacity	195Ah
Reserve Capacity @ 25A	480 min
Reserve Capacity @ 75A	133 min

Ahora, se calcula el número de baterías en paralelo con la ecuación

$$n_{bat-paralelo} = \frac{C_{bat}}{C_{nom}} = \frac{751,263 \text{ Ah}}{260 \text{ Ah}} = 2,9 \approx 3 \text{ baterías}$$

Donde:

$n_{bat-paralelo}$: Número de baterías en paralelo.

C_{nom} : Capacidad nominal de la batería [Ah]

Para verificar el número de baterías en serie se calcula:

$$\frac{V_{bat}}{V_{nom-bat}} = \frac{24}{12} = 2$$

Donde:

$V_{nom-bat}$: Voltaje nominal de la batería [V]

Con los resultados obtenidos se necesitan 6 baterías

4.9.3. Selección de reguladores

A continuación se calcula el regulador. Para ello, hay que consultar la corriente en cortocircuito del panel seleccionado:

$$I_{campo-fotov.} = I_{sc} \times \text{número de ramas}$$

Donde:

$I_{campo-fotov.}$: Corriente de campo fotovoltaico [A]

I_{sc} : Corriente en cortocircuito del panel [A]

Número de ramas: Número de paneles total.

$$I_{campo-fotov.} = 9,17 \text{ A} \times 9 = 82,5 \text{ A}$$

La corriente del regulador viene por la ecuación:

$$I_{regulador} = 1,1 \times I_{campo-fotov.}$$

Donde:

$I_{regulador}$: Corriente del regulador [A]

$$I_{regulador} = 1,1 \times 82,5 \text{ A} \approx 90 \text{ A}$$

A continuación se detalla las características técnicas del regulador PWM LCD 30 A 12/24 V DEL FABRICANTE MUST SOLAR con precio de S/.187,62.

Modelo		PC1600B-10-20		PC1600B-30-40		PC1600B-60-80		PC1600B-8048D		
Entrada	Voltaje FV	≤50V						≤100V		
	Intensidad nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A	
Salida	Voltaje sistema	12/24V Auto						48V		
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 (0.5V)								
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A	
	Autoconsumo	≤13mA						≤25mA		
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V						≤0.25V		
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V						≤0.10V		
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, ecualización								
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4								
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Ecualización		14.6V (13V~15.5V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4								
	Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4								
	Salida USB	5V, 1A x2				No tiene				
Características físicas	Sección cableado	≤6mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²		
	Temperatura trabajo	-20°C~55°C								
	Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm				196 x 111 x 54mm				
	Peso neto	355g				407g				

Se calcula el número de reguladores que se necesitan:

$$n_{\text{reg}} = \frac{I_{\text{regulador}}}{I_{\text{reg}}}$$

Donde:

n_{reg} : Numero de reguladores

I_{reg} : Corriente máxima del regulador [A]

$$n_{\text{reg}} = \frac{I_{\text{regulador}}}{I_{\text{reg}}} = \frac{90 \text{ A}}{30 \text{ A}} = 3 \text{ reguladores}$$

4.9.4. Selección del convertidor

Para la elección del convertidor o inversor se debe elegir una potencia superior a la potencia de salida.

Sabiendo que la P_{max} del sistema es de 2,23 kWh/día:

Al consular catálogos se toma un inversor cargador y regulador de carga ATERSA QUADRO 3 000 VA 24V PWM 50 A con 2 400 W de potencia nominal. El inversor cargador puede servir para cargar las baterías desde una fuente de 220 V como la red eléctrica en caso de fallas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Regulador de Carga	
Corriente Máxima Admitida	50 A
Voltaje Máx Voc	60 VDC
Consumo Stand By	20 W
Cargador de Batería	
Voltaje de Batería	24 V
Voltaje en Flotación	27 V
Protección Sobrevoltaje	30 V
Corriente Máx. de Carga	20 - 30 A
Inversor	
Voltaje de Salida (+/- 5%)	230 V
Potencia Pico (3 segs)	3600 W
Eficiencia	93%
Tipo de Onda	Senoidal Pura
características Físicas	
Dimensiones mm (Largo x Alto x Ancho)	100 x 272 x 355
Peso (Kg)	6.9

4.9.5. Selección de ángulo óptimo de paneles solares

Teniendo en cuenta la latitud del lugar en estudio de $-6,7603^\circ$ y ubicada en el hemisferio sur, el valor óptimo de inclinación de los paneles solares viene dada por la siguiente ecuación:

$$\beta = 3,7 + (L \times 0,69)$$

Donde:

L: latitud del lugar, sin signo (grados)

β : Ángulo de inclinación óptima (grados)

$$\beta = 3,7 + (6,7603 \times 0,69)$$

$$\beta = 8,36^\circ$$

Se toma un ángulo de 10° , para elección de estructuras de soporte de paneles fotovoltaicos.

Para aumentar la captación anual de los paneles solares, el ángulo de azimut debe ser $\alpha = 0^\circ$. Con esto, los paneles solares se orientan hacia el hemisferio norte.

<http://calculationsolar.com/blog/?p=8>

4.9.6. Selección de estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos

Se selecciona una estructura de aluminio para superficie plana, para 3 paneles de 24 V verticales del fabricante en línea momsolar.

El ángulo y medidas del soporte se deben solicitar a pedido y el precio del soporte es de S/.810.



Figura 60: estructura de soporte

Fuente: <https://www.monsolar.com/estructura-de-aluminio-para-superficie-plana-3-paneles-24-voltios-vertical.html>

En la figura 60 se muestra el lugar donde serán colocados los paneles fotovoltaicos con un área de $10 \times 2,5 \text{ m}^2$.



Figura 61: Área de paneles fotovoltaicos

Fuente: google maps

En la figura 61 y figura 62 se muestra el lugar donde será ubicado el control de la instalación fotovoltaica, máquina trituradora y almacenamiento de botellas con un área de $8 \times 4 \text{ m}^2$.



Figura 62: Área de control

Fuente: google maps

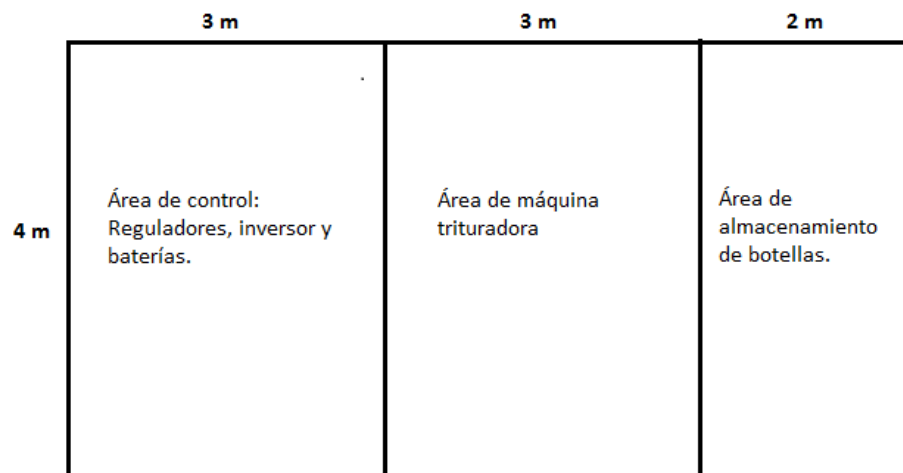


Figura 63: Esquema de área de control

Fuente: elaboración propia

4.9.7. Dimensionamiento de conductores

Los conductores a usar en la instalación son del material cobre.

La caída de tensión es un porcentaje de la tensión nominal y cambia de acuerdo a los equipos que interconectan:

- Caídas de tensión entre paneles y reguladores: 3%.
- Caídas de tensión entre regulador y batería: 1%.
- Caídas de tensión entre inversor y batería: 1 %.
- Caídas de tensión entre regulador e inversor: 1%.
- Caídas de tensión entre el inversor y carga: 3%.

Conductor del panel solar al regulador

Los paneles solares están distribuidos en 3 grupos, cada grupo tiene un regulador, entonces la corriente máxima que puede pasar por el conductor es:

$$I_{\text{campo-fotov.}} = 9,17 \text{ A} \times 3 = 27,51 \text{ A}$$

Se calcula la sección del conductor que va desde los paneles hasta el regulador. Dicho recorrido inicia en el techo, desde el panel más alejado del edificio de 4 pisos de la universidad hasta el final del techo, para luego descender hasta la superficie y

finalmente llegar a la sala de control. Como son 3 grupos, existen 3 longitudes, las cuales se verifican:

$$L_{1(p-r)} = 10 + 14 + 8 = 32 \text{ m}$$

$$L_{2(p-r)} = 6,5 + 14 + 8 = 28,5 \text{ m}$$

$$L_{3(p-r)} = 3,5 + 14 + 8 = 25,5 \text{ m}$$

La caída de tensión es:

$$U = V \times \frac{3}{100} = 24 \text{ V} \times 3/100 = 0,72 \text{ V}$$

Ahora, se calcula la sección del conductor para cada grupo:

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{K \times U}$$

Donde:

S: Sección del conductor [mm²]

L_(p-r): Longitud de cable del panel a regulador [m]

I: Corriente que atraviesa el conductor [A]

U: Caída de tensión [V]

K: Conductividad del cobre [$56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$]

$$S_{1(p-r)} = 2 \times \frac{32 \text{ m} \times 27,51 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 0,72 \text{ V}} = 43,66 \text{ mm}^2$$

$$S_{2(p-r)} = 2 \times \frac{28,5 \text{ m} \times 27,51 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 0,72 \text{ V}} = 38,88 \text{ mm}^2$$

$$S_{3(p-r)} = 2 \times \frac{25,5 \text{ m} \times 27,51 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 0,72 \text{ V}} = 34,79 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se utilizara cable de calibre estándar 1/0 AWG (ver ANEXO 23) para las 3 secciones.

Conductor de reguladores a las baterías

Se calcula la sección del conductor que va desde cada regulador hasta la conexión de baterías. Estos conductores se encuentran dentro del área de control.

La longitud aproximada de reguladores a baterías es:

$$L_{(r-b)} = 3,5 \text{ m}$$

La caída de tensión es:

$$U = V \times \frac{1}{100} = 24 \text{ V} \times 1/100 = 0,24 \text{ V}$$

La corriente máxima que puede pasar por el conductor es:

$$I_{\text{campo-fotov.}} = 9,17 \text{ A} \times 3 = 27,51 \text{ A}$$

Ahora, se calcula la sección del conductor:

$$S = 2 \times \frac{LXI}{KXU}$$

Donde:

S: Sección del conductor [mm^2]

$L_{(r-b)}$: Longitud de cable del regulador a baterías [m]

I: Corriente que atraviesa el conductor [A]

U: Caída de tensión [V]

K: Conductividad del cobre [$56 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$]

$$S = 2 \times \frac{3,5 \text{ m} \times 27,51 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2} \times 0,24 \text{ V}} = 14,32 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se utilizara cable de calibre estándar 4 AWG (VER ANEXO 23).

Conductor de las baterías al inversor

Se calcula la sección del conductor que va desde la batería final hasta el inversor.

La longitud es:

$$L_{(b-i)} = 3 \text{ m}$$

La caída de tensión es:

$$U = V \times \frac{1}{100} = 24 \text{ V} \times 1/100 = 0,24 \text{ V}$$

La corriente máxima que puede pasar por el conductor es:

$$I_{\text{campo-fotov.}} = 9,17 \text{ A} \times 9 = 82,5 \text{ A}$$

Ahora, se calcula la sección del conductor:

$$S = 2 \times \frac{LXI}{KXU}$$

Donde:

S: Sección del conductor [mm^2]

$L_{(b-i)}$: Longitud de cable de batería al inversor [m]

I: Corriente que atraviesa el conductor [A]

U: Caída de tensión [V]

K: Conductividad del cobre [$56 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$]

$$S = 2 \times \frac{3 \text{ m} \times 82,5 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 0,24 \text{ V}} = 36,83 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se utilizara cable de calibre estándar 1/0 AWG (VER ANEXO 23).

Conductor del inversor a la carga

Se calcula la sección del conductor que va desde el inversor hasta la carga que es el motor eléctrico. El dimensionado del cableado se realiza bajo recomendaciones del CNE-Utilización.

Longitud de inversor a carga es:

$$L_{(i-c)} = 4 \text{ m}$$

La caída de tensión es:

$$U = V \times \frac{5}{100} = 220 \text{ V} \times 5/100 = 11 \text{ V}$$

La corriente máxima que puede pasar por el conductor es:

$$I_{\text{nominal}} = \frac{P_i}{k \times V \times \cos\phi} = \frac{2 \ 230}{1 \times 220 \times 0,8} = 12,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{diseño}} = I_{\text{nominal}} \times 1,25 = 12,67 \text{ A} \times 1,25 = 15,83 \text{ A}$$

Ahora, se calcula la sección del conductor:

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{K \times U}$$

Donde:

S: Sección del conductor [mm^2]

$L_{(i-c)}$: Longitud del cable [m]

I: Corriente que atraviesa el conductor [A]

U: Caída de tensión [V]

K: Conductividad del cobre [$56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$]

$$S = 2 \times \frac{4 \text{ m} \times 15,83 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 11 \text{ V}} = 0,2 \text{ mm}^2$$

El CNE-Utilización, sección 030-002 recomienda para circuitos de fuerza un mínimo de $2,5 \text{ mm}^2$. Por tanto se selecciona un cable estándar calibre 12 AWG (VER ANEXO 23).

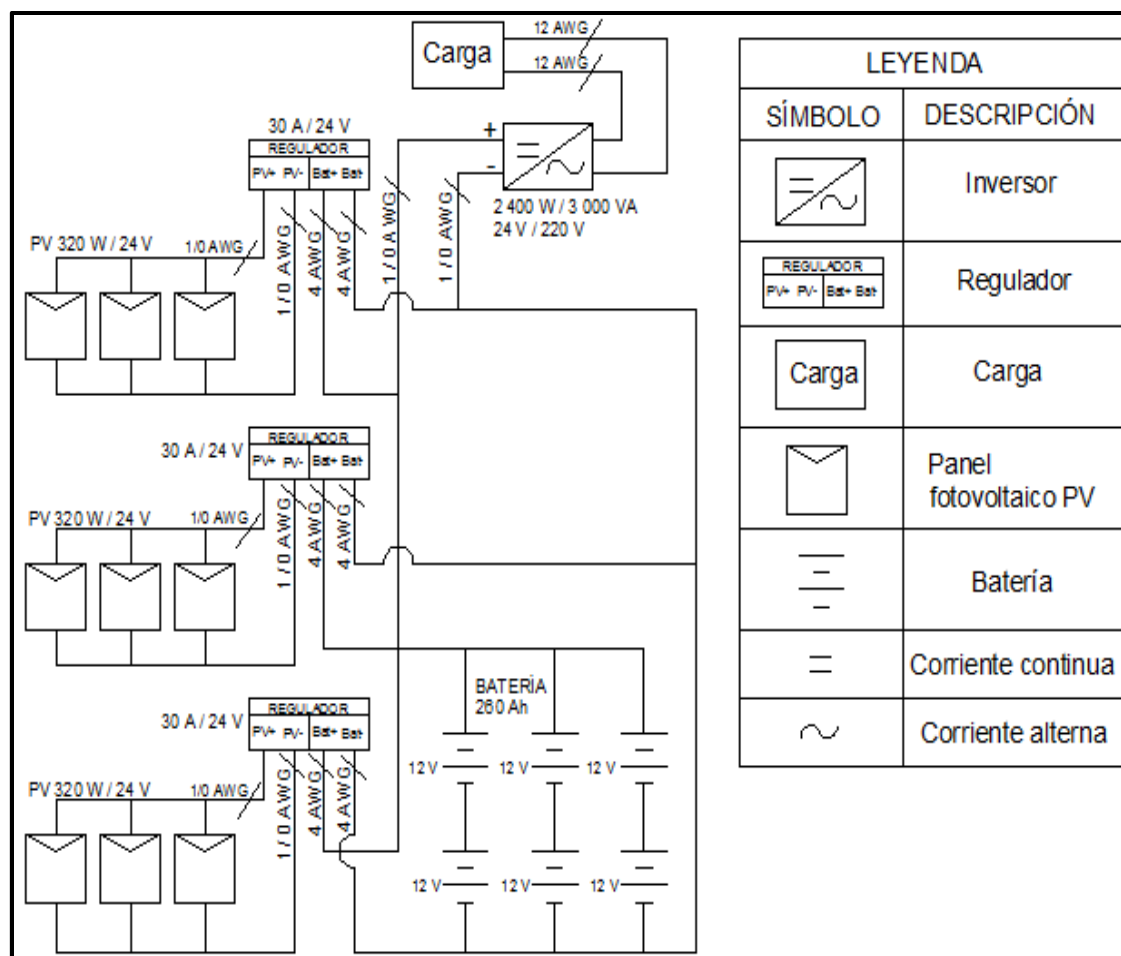


Figura 64: Esquema de instalación fotovoltaica

Fuente: elaboración propia

4.10. Análisis económico y financiero

4.10.1. Costos de máquina

Tabla 19: Presupuesto de la máquina

Descripción	Cantidad	P.U. (S/.)	Precio total (S/.)
Motor 3 HP-220V Monofásico	1	1 100	1 100
Polea Magic Grip - T (224mm-90 mm)	2	100	200
Faja en V 9N 1270 OPTIBELT	2	15	30
Engranajes AISI 1020	2	100	200
Ejes AISI 1010 estirado en frío	2	100	200
Cuchilla Aisi D2-59 HRC	11	30	330
Separador ASTM A-36	11	25	275
Criba	1	100	100
Carcasa ASTM A36 (1/4'')	1	420	420
Tolva	1	400	400
Estructura de soporte angular A36	1	450	450
Rodamiento SKF 6208 ETN9	4	35	140
Lengüeta DIN 6885 10x8/14x9	5	10	50
Fabricación (mano de obra y mecanizado)	1	1 250	1 250
Imprevistos	1	500	500
COSTO TOTAL (S/.)			5 645

Fuente: elaboración propia

4.10.2. Costos de instalación fotovoltaica

Tabla 20: Presupuesto de instalación fotovoltaica

Descripción	Cantidad	P.U. (S/.)	Precio (S/.)
Panel fotovoltaico 320 W/24 V	9	885,5	7 969,5
Batería 260 Ah	6	1 454,5	8 727
Regulador 30 A /24 V	3	187,62	562,86
Inversor 3 000 VA / 2 400 W	1	2 242	2 242
Cable 1/0 AWG (metros)	178	18,5	3 293
Cable 4 AWG (metros)	21	10	210
Cable 12 AWG (metros)	8	1,8	14,4
Estructura de soporte (3 paneles)	3	810	2 430
PRECIO TOTAL (S/.)			25 448,76

Fuente: elaboración propia

4.10.3. Presupuesto total del proyecto

Tabla 21: Costo total del proyecto

Descripción	Cantidad	P.U. (S/.)	Precio total (S/.)
Máquina trituradora	1	5 645	5 645
Instalación fotovoltaica	1	25 448,76	25 448,76
COSTO TOTAL (S/.)			31 093,76

Fuente: elaboración propia

4.10.4. Rentabilidad del proyecto (análisis financiero)

La rentabilidad del proyecto se calcula con el VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno).

El flujo de caja del proyecto se mide con la inversión, ingresos, egresos y utilidades desde el momento de funcionamiento del proyecto.

Los bonos de carbono son un mecanismo para reducir las emisiones de CO_2 en el ambiente, además se recibe un incentivo por estar contribuyendo a reducir estas emisiones de efecto invernadero. El análisis de bonos de carbono se da con el consumo anual, que es la multiplicación de los días de uso al año (216 días) por la demanda diaria (2,2 kWh). La equivalencia de $kgCO_2$ se detalla a continuación:

Tabla 22: Cálculo de bonos de carbono

Descripción	Cantidad
Consumo anual (kWh)	475,2
Factor de conversión ($kgCO_2/kWh$)	0,385
Equivalencia en $kgCO_2$	182,952

Fuente: elaboración propia

El precio por tonelada de CO_2 internacional es en promedio 10 dólares y este proyecto tiene una equivalencia anual de 182,957 $kgCO_2$, la cual no lo hace rentable económicamente, pero si lo justificamos ambientalmente es importante siempre mitigar

los gases de CO_2 así sea en poca medida, para bien de todos. En consecuencia, no se tomará como ingresos a los bonos de carbono.

Los ingresos son la venta de hojuelas de PET trituradas, con un costo de venta de S/.1,5 por kilogramo, siendo la venta diaria 30 kg y 9 meses al año (24 días al mes) de acopio de botellas PET. Los egresos se miden con el costo de mantenimiento anual, que se considera el 2,5% de la inversión. Las utilidades se miden con la resta entre ingresos y egresos en un periodo de tiempo. La tasa de interés social se considera 5% anual.

Interés anual	0.05
----------------------	-------------

Tabla 23: Flujo de caja

Años	0	1	2	3	4
Inversión (S/.)	-31093.76				
Ingresos		9720	9720	9720	9720
Egresos (mant.)		777.344	777.344	777.344	777.344
Utilidad	-31093.76	8942.656	8942.656	8942.656	8942.656

Fuente: elaboración propia

VAN	S/ 616.46
TIR	6%

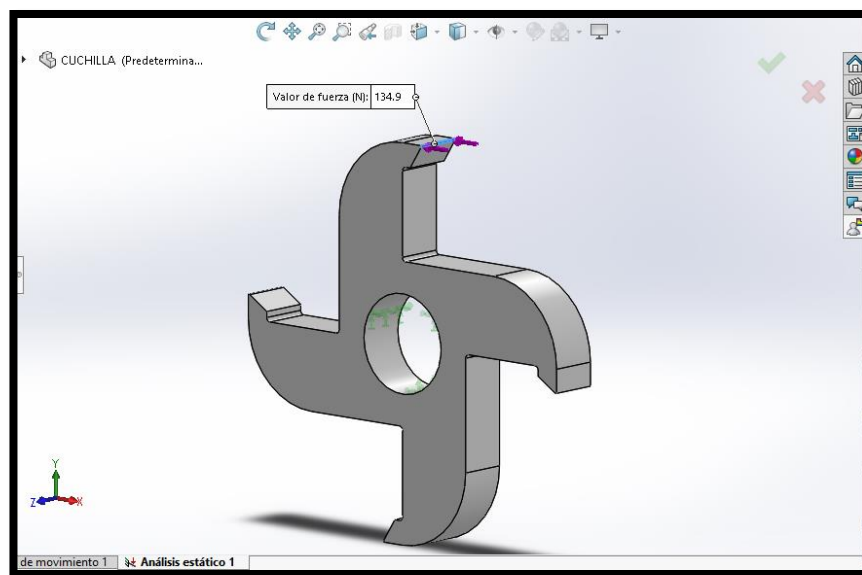
El VAN calculado es positivo, se recupera la inversión en 4 años, por lo tanto lo hace rentable.

El TIR es mayor a la tasa de interés social, lo cual hace rentable la inversión del proyecto.

V. Simulación

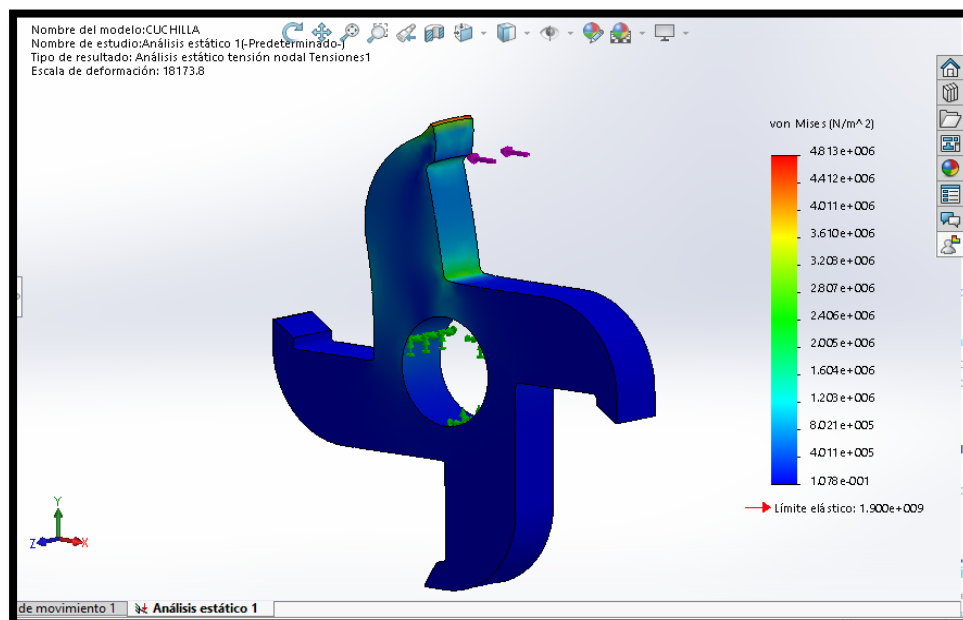
5.1. Análisis estático de cuchilla

Se hace la simulación a la cuchilla de corte para predecir su buen funcionamiento. La fuerza que actúa en contra de la cuchilla es de 134,9 N.



Fuente: Solidworks

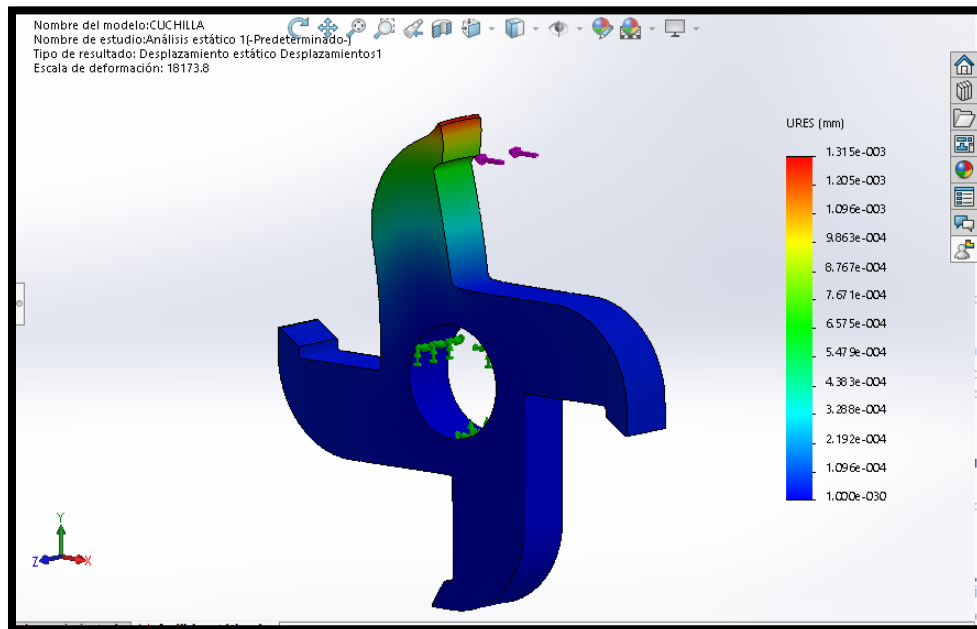
Tensiones de von mises



Fuente: Solidworks

La tensión máxima es de $4,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, la cual no supera el límite de $1,9 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ del material. Como la tensión máxima no supera el límite elástico del material, entonces no existe modo de falla en el diseño de la cuchilla.

Desplazamientos



Fuente: Solidworks

La deformación más crítica es de 0,001 31 mm, la cual no perjudica a la cuchilla al momento de triturar la botella de plástico PET.

5.2. Análisis estático y de fatiga del eje

Análisis estático

Los datos aplicados al software Solidworks son:

T: torque en el eje, que es de 30,4 Nm.

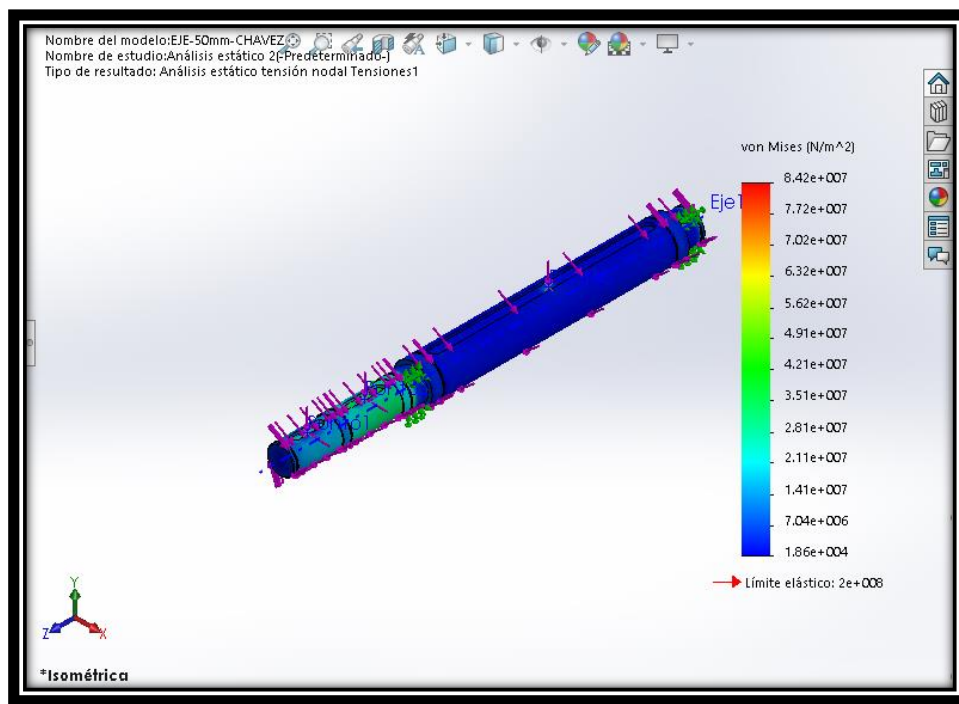
$$F_{1y} = 11 \text{ kgf} = 108 \text{ N.}$$

$$F_{2y} = 46 \text{ kgf} = 451 \text{ N.}$$

$$F_{3y} = 55,08 \text{ kgf} = 540 \text{ N.}$$

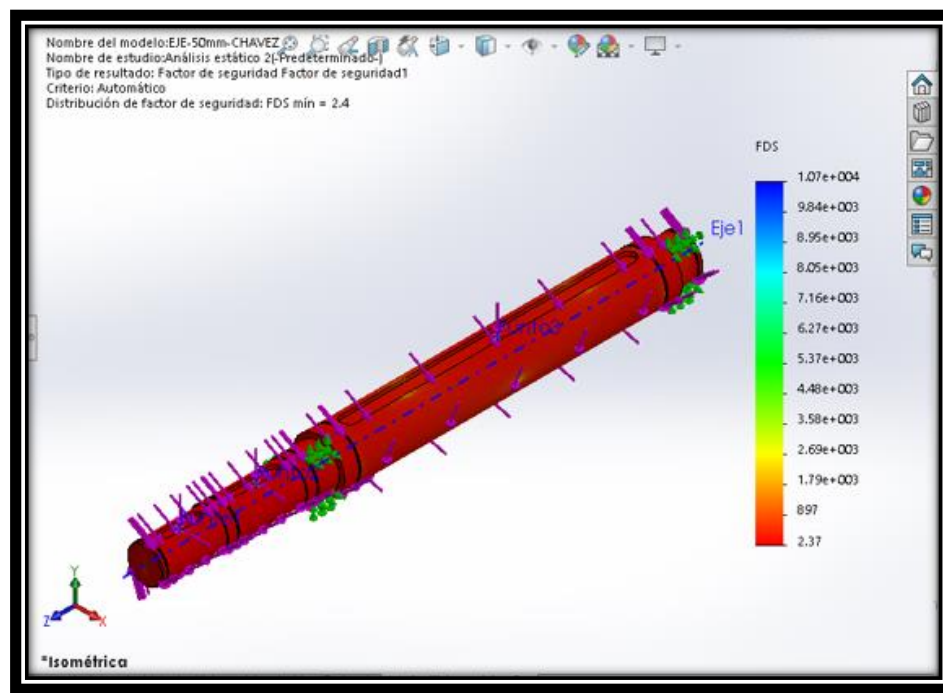
$$F_{1x} = 41,5 \text{ kgf} = 407 \text{ N.}$$

$$F_{2x} = 15,03 \text{ kgf} = 147,3 \text{ N.}$$



Fuente: Solidworks

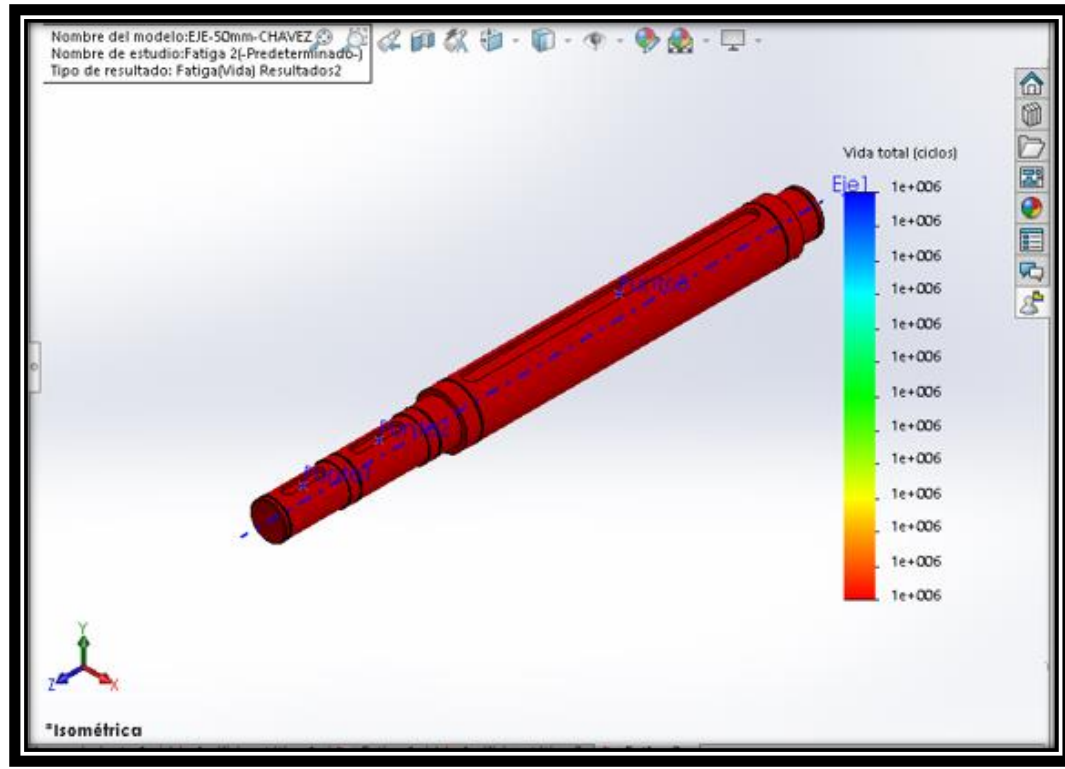
El estudio de análisis estático por tensiones de Von Mises demuestra que el eje no supera el límite elástico del material de $2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. La máxima tensión es de $8,42 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ y se encuentra en la ranura para el anillo de retención del rodamiento.



Fuente: Solidworks

El software genera un factor de seguridad de 2,37, lo cual es aceptable para el diseño.

Análisis de fatiga



Fuente: Solidworks

Para que un elemento tenga una vida infinita debe ser igual o mayor a 10^6 ciclos. Entonces, de acuerdo al estudio de análisis de fatiga, el eje tiene una vida infinita ya que se generan 10^6 ciclos en todas sus secciones del eje.

5.3. Análisis estático de estructura

Las cargas aplicadas a la estructura en el software son el peso de todos sus componentes. El apoyo de la estructura es fijo.

Las cargas aplicadas en la fig. 65 (zona 1 de estructura), corresponden al peso del sistema de trituración, tolva de ingreso, tolva de descarga y guarda protectora.

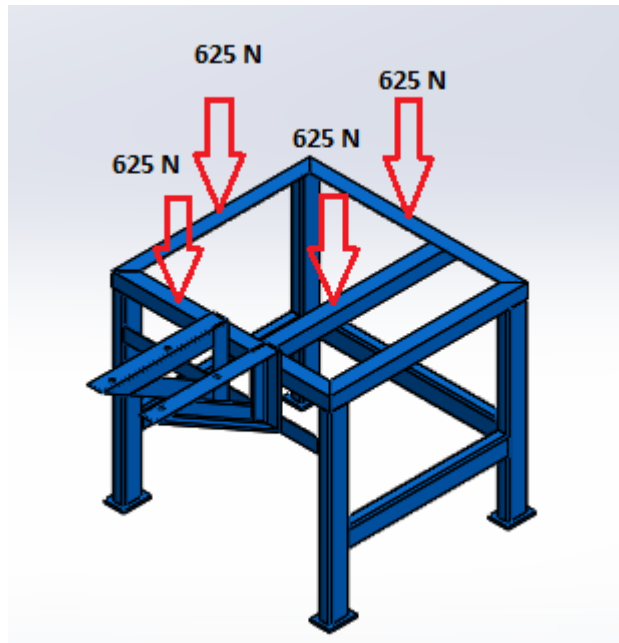


Figura 65: cargas aplicadas a estructura zona 1

Ahora, las cargas aplicadas a la zona 2 de la estructura solo corresponden al peso del motor, siendo su peso de 270 N, según catálogo.

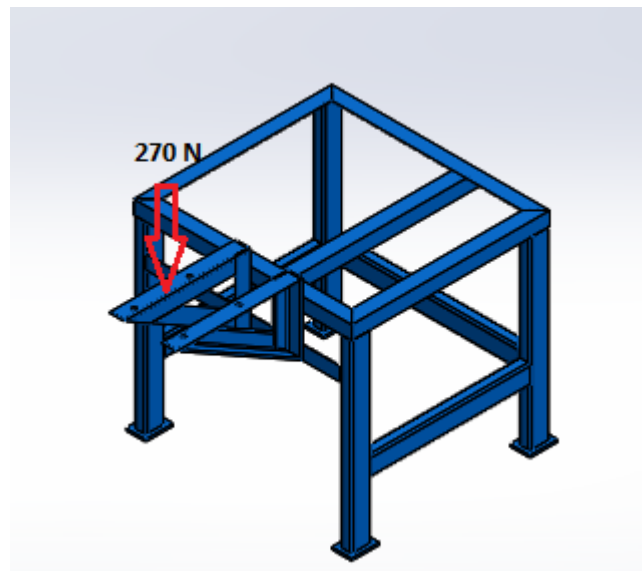


Figura 66: carga aplicada a zona 2

El estudio de análisis estático simulado en el software nos da como resultado un factor de seguridad mínimo de 3,2, el cual es muy aceptable para la estructura.

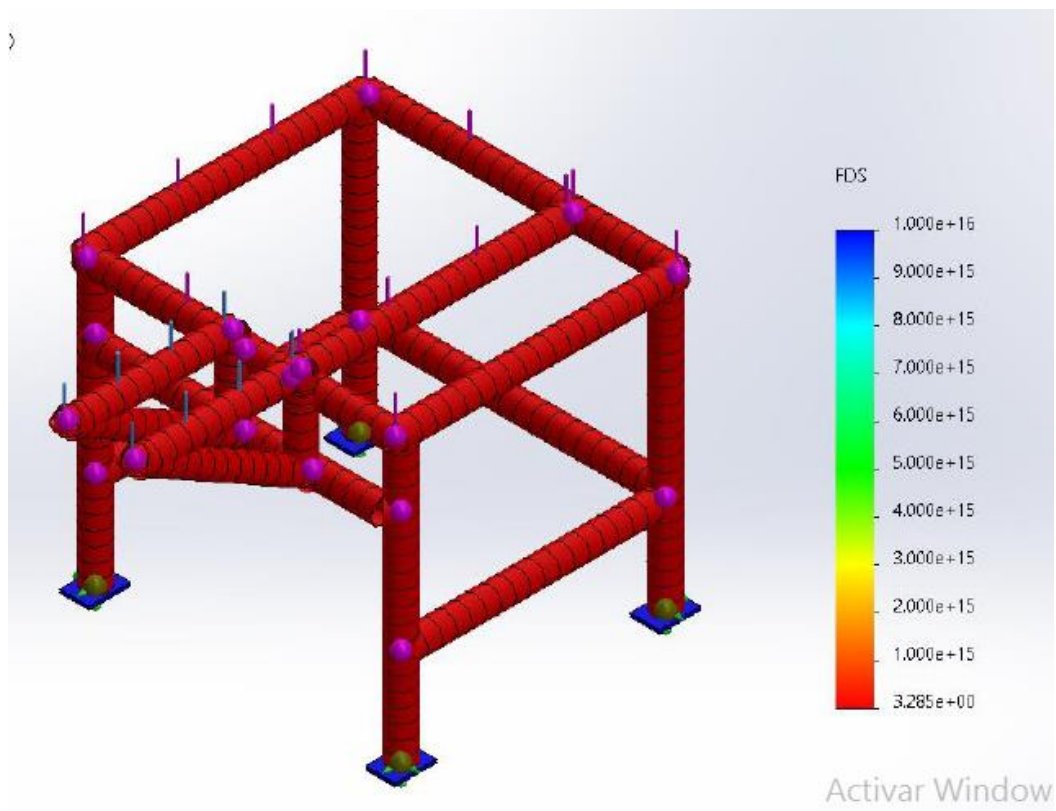


Figura 67: factor de seguridad de estructura

VI. Conclusiones

De la investigación realizada se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- ✓ Con ayuda de la estadística inferencial se llegó a determinar la cantidad de botellas plásticas PET diario en el campus universitario USAT, con una muestra de 378 encuestas a diferentes escuelas profesionales, además de restar un 5% por diversos factores, llegando a un consumo promedio de 1 674 botellas/día. Este resultado demostró el elevado volumen de botellas plásticas dentro de la universidad.
- ✓ La capacidad de producción de la máquina se obtuvo por la multiplicación de la masa promedio de la botella y el consumo promedio diario de estas, dando como resultado la capacidad de producción de la máquina 30 kg/h. Este valor fue de mucha utilidad para el dimensionamiento de la máquina.
- ✓ La máquina tiene una potencia de accionamiento de 3 HP (menor a la del mercado actual con 5 HP – ANEXO 24) y el sistema fotovoltaico está compuesto por 9 paneles fotovoltaicos de 320 W de potencia por unidad, 6 baterías con 260 Ah de capacidad por unidad, 3 reguladores de 30 A por unidad, un inversor de 2 400 W de potencia, 3 estructuras de aluminio para el soporte de paneles y cables de calibres 1, 4 y 12 AWG.
- ✓ Con ayuda del software Solidworks se realizó análisis estático de la cuchilla, eje y estructura de soporte de la máquina. Así mismo, un análisis de fatiga del eje, comprobándose de esta manera el buen funcionamiento de sus componentes.
- ✓ El costo de la máquina trituradora es de S/.5 645 y del sistema fotovoltaico S/.25 448,76, siendo así el costo total del proyecto de S/.31 093,76. El diseño de la máquina trituradora y sistema fotovoltaico en conjunto propuesto para la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo es rentable económicamente, ya que el retorno de la inversión se da en 4 años.

VII. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda diseñar un cuarto aislado acústicamente en el área de máquina de triturado para minimizar el efecto del ruido durante el funcionamiento de la máquina.
- ✓ Se recomienda investigar sobre automatización en el ingreso de botellas de la máquina trituradora, para así minimizar el riesgo de lesiones del operador por movimientos repetitivos en su trabajo.
- ✓ Se recomienda investigar otras fuentes de energía renovable y sus sistemas de recolección de energía eléctrica para el funcionamiento de la máquina trituradora.

VIII. Referencias bibliográficas

- [1] Richardson y Lokensgard, *Industria del Plástico. Plástico Industrial*, Madrid-España: Thompson Editores Spain, 2007.
- [2] E. Bremermann, «La planta de reciclaje de plástico mas grande del mundo por dentro,» *El observador*, 2018.
- [3] V. Gonzales, «México: Conoce el proceso para transformar botellas de plástico PET en nuevos envases, de la recicladora PetStar,» *Veoverde*, 2012.
- [4] Falconi y Tiaguaro, «Molino triturador de botellas desechables,» Tesis de grado, Universidad Tecnológica América, Quito-Ecuador, 2009.
- [5] A. Vásconez, «Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica,» Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, Febrero, 2013.
- [6] Pilatasig y Pozo, «Diseño y construcción de una máquina para moler plásticos PET para la microempresa Santa Anita ubicada en el Cantón Salcedo provincia de Cotopaxi,» Tesis de grado, UTC, Latacunga-Ecuador, Agosto, 2014.
- [7] M. L. C. Álvarez, *El ABC de los plásticos*, México: Universidad Iberoamericana, 1997.
- [8] Mariano, «Tecnología de los plásticos: PET,» 30 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>. [Último acceso: 16 abril 2018].
- [9] D. Ramos, *El reciclaje en la sociedad actual*, Sevilla: Wanceulen Editorial Deportiva S.L., 2010.
- [10] Mariano, «Tecnología de los plásticos: Proceso de reciclaje del PET,» 30 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/proceso-de-reciclaje-del-pet.html>. [Último acceso: 21 abril 2018].
- [11] P. Mateo, A. González y D. González, *Manual para el técnico en prevención de riesgos laborales*, Sexta ed., Madrid-España: Fundación CONFEMETAL, 2008, p. 278.
- [12] V. Hopp, *Fundamentos de tecnología química para formación profesional*, Barcelona-España: Editorial Reverté, S.A., 1994.

- [13 L. Portalanza y I. Rodríguez, «Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificación de envases tetra pack y recipientes plásticos,» Tesis de grado, Escuela Politécnica del ejército, Sangolqui, Ecuador, 2013.
- [14 L. Colina Irezabal, «Ingeniería de alimentos III: Reducción de tamaño de sólidos,» [En línea]. Available: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_resumen_y_calculo.pdf.
- [15 L. M. Freire Cárdenas y C. J. Gonzáles Mosquera, «Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas de plástico PET,» Riobamba, Ecuador, 2013.
- [16 R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, México: The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [17 R. Mott, Diseño de elementos de máquina, vol. 4 edición, México: Pearson educación, 2006.
- [18 N. E. Espinoza, «Procedimiento AGMA para el cálculo de engranajes cilíndricos de dientes rectos, helicoidales y bi-helicoidales y engranajes cónicos,» Universidad Nacional de Santa, Nuevo Chimbote.
- [19 J. Méndez Muñiz y R. Cuervo García, Energía solar fotovoltaica, Madrid: Bureau Veritas Formación, 2009.
- [20 M. Pareja, Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada, Barcelona: Ediciones Marcombo, 2009.
- [21 F. Blasco, «Solar action,» 2012. [En línea]. Available: <http://solaraction.blogspot.com/2012/12/calculo-instalacion-fotovoltaica.html>. [Último acceso: 2018].
- [22 G. Santamaría y A. Castejón, Instalaciones solares fotovoltaicas, Madrid: Editex, 2010.
- [23 D. Anderson, D. Sweeney y T. Williams, «Estadística para administración y economía,» México D.F., Cengage Learning Editores S.A., 2008.
- [24 M. Vivanco, «Muestreo estadístico. Diseño y aplicaciones,» Santiago de Chile, Universitaria, 2005, p. 62.
- [25 L. Grasso, Encuestas. Elementos para su diseño y análisis, Córdoba-Argentina: Encuentro, 2006.

[26 S. Medina, «Diseño de una máquina compactadora de botellas de plástico,» Lima,
] 2012.

[27]

IX. Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

DISEÑO DE UNA TRITURADORA ACTUADA POR SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ELIMINAR BOTELLAS PLÁSTICAS EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Se consigue eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo con el diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico?	<p>Objetivo general:</p> <p>Diseñar una trituradora actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la cantidad de botellas plásticas PET del campus universitario por día. • Calcular la capacidad de producción de la máquina trituradora. • Diseñar los componentes de la máquina trituradora y dimensionar sistema fotovoltaico. • Evaluar económica y financieramente el proyecto. 	El diseño de la trituradora actuada por sistema fotovoltaico si consigue eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.	<p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El diseño de la máquina trituradora actuada por sistema fotovoltaico. <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo 	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Tecnológica, no experimental.</p> <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Encuestas/análisis de encuestas. • Observación y análisis de documentos.

Anexo 2: Muestra piloto de consumo total diario de bebidas en plástico PET

CONSUMO DE BEBIDAS EN PLÁSTICO PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO) EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO			
N°	CARRERA PROFESIONAL	CICLO	CONSUMO DIARIO
1	Ing. Mecánica Eléctrica	IX	1
2	Ing. Civil y Ambiental	VI	2
3	Ing. Civil y Ambiental	VI	1
4	Ing. Industrial	V	0
5	Enfermería	I	1
6	Enfermería	I	3
7	Enfermería	I	3
8	Educación inicial	VII	3
9	Educación Secundaria filosofía	VII	1
10	Ing. Civil y Ambiental	V	2
11	Ing. Industrial	V	1
12	Ing. Industrial	V	3
13	Ing. Industrial	V	2
14	Derecho	VIII	2
15	Enfermería	VI	3
16	Ing. Civil y Ambiental	I	3
17	Ing. Civil y Ambiental	I	1
18	Ing. Civil y Ambiental	I	1
19	Ing. Civil y Ambiental	I	1
20	Ing. Civil y Ambiental	I	1
21	Ing. Mecánica Eléctrica	VIII	1
22	Ing. Civil y Ambiental	I	3
23	Ing. Civil y Ambiental	I	2
24	Educación	VII	1
25	Arquitectura	V	3
26	Arquitectura	V	1
27	Arquitectura	V	1
28	Arquitectura	V	2
29	Educación Inicial	III	2
30	Educación Inicial	III	2
		SUMA	53

Anexo 3: Muestra piloto

Consumo de Bebidas en plástico PET (Tereftalato de Polietileno)					
Nº	Carrera Profesional	Ciclo	Tipo de Bebida (Agua, gaseosa, rehidratante)	Firma	Consumo diario
1	Ing. Mecánica - Eléctrica	V	Gaseosa (Inca kola)	[Firma]	1
2	Ing. Civil - Ambiental	VI	Agua (San Luis)	[Firma]	2
3	Ing. Civil Ambiental	VI	gaseosa (Coca-cola)	[Firma]	1
4	Ing. Industrial	V	Ninguna	Paul, Solo	0
5	Enfermería	I	Agua (San Luis)	[Firma]	01
6	Enfermería	I	Agua (San Luis)	[Firma]	3
7	Enfermería	I	Agua (Cielo)	[Firma]	3
8	Educación Inicial	VIII	gaseosa (Inca kola)	[Firma]	3
9	Educación Secundaria Filo y Teo	VIII	agua de canela y agua p ^{na}	[Firma]	3
10	Ing. Civil Ambiental	V	Agua (San Luis)	[Firma]	2
11	Ing. Industrial	V	Agua, Agua	[Firma]	1
12	Ing. Industrial	V	Agua (San Luis)	[Firma]	3
13	Ing. Industrial	V	Agua (Cielo)	[Firma]	2
14	Derecho	VIII	agua (San Luis)	[Firma]	2
15	Enfermería	VI	Agua (Cielo)	[Firma]	3
16	Ing. Civil	I	Agua, rehidratante	[Firma]	3
17	Ing. Civil	I	Agua, gaseosa	[Firma]	1
18	Ing. Civil Ambiental	I	Gaseosa	[Firma]	1
19	Ing. Civil Ambiental	I	Gaseosa (Coca-cola)	[Firma]	1
20	Ing. Civil Ambiental	I	Agua, rehidratante	[Firma]	1
21	Ing. Mecánica eléctrica	VIII	agua, gaseosa, rehid	[Firma]	1
22	Ing. Civil Ambiental	I	Agua, rehidratante	[Firma]	3
23	Ing. Civil Ambiental	I	Agua, rehidratante	[Firma]	2
24	Educación	VII	Agua, rehidratante	[Firma]	1
25	ARQUITECTURA	V	Agua, Gaseosa	[Firma]	3
26	Arquitectura	V	Agua, gaseosa	[Firma]	1
27	Arquitectura	V	Agua, gaseosa, Power	[Firma]	1
28	Arquitectura	V	Agua, Power ...	[Firma]	2
29	Educación inicial	III	Agua	[Firma]	2
30	Educación inicial	III	Agua	[Firma]	2

Anexo 4: Encuesta



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

La siguiente encuesta tiene por objetivo principal diagnosticar el consumo de bebidas envasadas en plástico PET (Tereftalato de polietileno) dentro del campus universitario.

Indicaciones generales: Marca con una (X) la opción que mejor se adapte a tu preferencia, si es el caso explique.

Sexo: F () M () Edad: _____

Carrera: _____

1. ¿Con qué frecuencia consume bebidas envasadas en plástico PET dentro de la USAT?

Diario ()

3 veces por semana ()

1 vez por semana ()

Nunca ()

2. ¿Qué tipo de bebidas embotelladas en plástico PET compra más en el campus universitario?

Gaseosa ()

Agua mineral ()

Bebida rehidratante ()

Ninguna ()

3. Una vez que desocupas la bebida envasada en plástico PET, ¿Dónde y cómo lo desechas?

Basurero ()

Reciclo (llevar a casa) ()

Lo arrojo en cualquier lugar ()

Ninguna ()

4. ¿Se ha informado sobre el destino de estos productos dentro de la USAT?

Si ()

No ()

Explique: _____

5. ¿Qué te parece la creación de un proyecto de reciclaje de las bebidas envasadas en plástico PET?

Muy interesante ()

Poco interesante ()

Nada interesante ()

Anexo 5: Dimensiones de botella pet

Tabla 3.1: Especificaciones de Coca-Cola contour de 500 ml

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA (mm)	235,36	235,64
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	64,99	66,01
Diámetro Cuerpo		
Diámetro Talón	64,99	66,01
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,30	0,40
Espesor de hombro	0,30	0,40
Espesor de pared	0,30	0,40
Espesor de talón	0,30	0,40
Espesor de radio de pétalo	0,20	0,30
Espesor de base de pétalo	0,20	0,30
Espesor de centro de fondo	1,30	2,60
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose	512,33	526,33
Capacidad a nivel de llenado	500,00	514,00
PESO (gr)	27,5	28,5
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Tabla 3.2: Especificaciones para Sprite de 500 ml

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA (mm)	234,40	235,60
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	65,00	66,00
Diámetro Cuerpo		
Diámetro Talón	65,00	66,00
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,35	0,35
Espesor de hombro	0,35	0,35
Espesor de pared	0,35	0,35
Espesor de talón	0,40	0,40
Espesor de radio de pétalo	0,20	0,20
Espesor de base de pétalo	0,20	0,20
Espesor de centro de fondo	1,30	1,30
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose	512,33	526,33
Capacidad a nivel de llenado	496,25	503,75
PESO (gr)	27,70	28,30
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Tabla 3.4 Especificaciones para botellas de 500 ml:

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA (mm)	191,17	192,69
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	70,86	72,14
Diámetro Cuerpo	68,86	70,14
Diámetro Talón	70,86	72,14
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,35	0,35
Espesor de hombro	0,35	0,35
Espesor de pared ó cuerpo	0,35	0,35
Espesor de talón	0,35	0,35
Espesor de radio de pétalo	0,20	0,20
Espesor de base de pétalo	0,20	0,20
Espesor de centro de fondo	1,30	1,30
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose		
Capacidad a nivel de llenado	500,00	510,00
PESO (gr)	24,70	25,30
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Tabla 3.5 Especificaciones para botellas de 600 ml:

CARACTERISTICA	ESPECIFICACIÓN	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA (mm)	218,49	220,01
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	70,86	72,14
Diámetro Cuerpo	68,86	70,14
Diámetro Talón	70,86	72,14
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,30	0,30
Espesor de hombro	0,30	0,30
Espesor de pared ó cuerpo	0,30	0,30
Espesor de talón	0,30	0,30
Espesor de radio de pétalo	0,20	0,20
Espesor de base de pétalo	0,20	0,20
Espesor de centro de fondo	1,30	1,30
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose	622,00	632,00
Capacidad a nivel de llenado	600,00	610,00
PESO (gr)	24,70	25,30
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Tabla 3.6: Especificaciones para botellas de 1000 ml:

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA (mm)	276,80	279,80
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	80,70	82,30
Diámetro Cuerpo	78,30	79,90
Diámetro Talón	80,70	82,30
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,248	0,348
Espesor de hombro	0,298	0,298
Espesor de pared ó cuerpo	0,240	0,340
Espesor de talón	0,266	0,366
Espesor de radio de pétalo	0,289	0,389
Espesor de base de pétalo	0,230	0,330
Espesor de centro de fondo	1,620	2,820
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose	1029,30	1042,30
Capacidad a nivel de llenado	1002,10	1015,10
PESO (gr)	36,80	37,80
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Tabla 3.7: Especificaciones para botellas de 1500 ml:

CARACTERISTICA	ESPECIFICACION	
	MINIMA	MAXIMA
1. CONTROL VISUAL	OK	
2. CONTROL DIMENSIONAL		
ALTURA BOTELLA(mm)	318,80	321,80
DIAMETROS (mm)		
Diámetro Mayor	87,20	88,80
Diámetro Cuerpo	86,20	87,80
Diámetro Talón	87,20	88,80
ESPESORES (mm)		
Espesor de curvatura de hombro	0,25	0,35
Espesor de hombro	0,25	0,25
Espesor de pared ó cuerpo	0,25	0,35
Espesor de talón	0,25	0,35
Espesor de radio de pétalo	0,15	0,25
Espesor de base de pétalo	0,15	0,25
Espesor de centro de fondo	1,40	2,60
CAPACIDAD (ml)		
Capacidad a rebose	1544,00	1557,00
Capacidad a nivel de llenado	1500,00	1513,00
PESO (gr)	46,50	47,50
3. ENSAYOS FISICOS		
PRESIÓN INTERNA (psi)	> 150	

Anexo 6: Selección de motor

W22 - IE2 High Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgm)	Corriente con rotor trabado I _b /In	Par con rotor trabado T _b /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	220 V						Corriente nominal In (A)	
								Caliente	Frio			RPM	% de la potencia nominal			Factor de potencia			
													Rendimiento		Factor de potencia				
kW	HP											50	75	100	50	75	100		
IV Polos																			
0,12	0,16	63	0,068	4,6	2,5	3,1	0,0004	37	81	6,2	48	1715	53,0	60,0	64,0	0,44	0,55	0,64	0,769
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,4	2,9	0,0006	30	66	7,2	48	1705	57,0	64,0	68,0	0,47	0,59	0,68	1,02
0,25	0,33	63	0,143	5,0	2,6	3	0,0007	25	55	8,2	48	1705	62,0	68,0	70,0	0,47	0,60	0,69	1,36
0,37	0,5	71	0,215	4,6	2,4	2,5	0,0007	35	77	8,0	47	1680	68,0	71,0	72,0	0,50	0,63	0,72	1,87
0,55	0,75	71	0,319	5,1	2,9	2,9	0,0008	31	68	11,5	47	1680	71,0	74,5	75,5	0,50	0,63	0,72	2,66
0,75	1	80	0,425	7,3	2,8	3	0,0029	16	35	13,5	48	1720	79,0	82,0	82,6	0,61	0,72	0,80	2,98
1,1	1,5	90S	0,612	7,5	2,2	3	0,0049	16	35	18,5	51	1750	81,0	83,5	84,0	0,57	0,70	0,78	4,40
1,5	2	90S	0,835	7,1	2,2	3	0,0049	11	24	18,5	51	1750	81,0	83,5	84,2	0,57	0,70	0,78	5,00
2,2	3	190L	1,22	7,4	2,8	3,1	0,0077	11	24	25,0	51	1750	86,0	86,5	87,5	0,61	0,74	0,81	8,14
3	4	100L	1,70	6,7	2,8	3	0,0096	16	35	33,0	54	1720	86,4	87,2	87,5	0,61	0,74	0,81	11,1
3,7	5	100L	2,08	8,0	3	3,6	0,0104	11	24	34,0	54	1735	85,0	87,0	88,0	0,59	0,72	0,80	13,8
4,5	6	112M	2,52	6,2	2,1	2,8	0,0155	19	42	42,0	56	1740	88,0	88,5	88,5	0,62	0,74	0,81	16,5
5,5	7,5	112M	3,08	6,3	2,1	2,7	0,0180	15	33	44,0	56	1740	88,4	89,1	90,0	0,59	0,72	0,79	20,4
7,5	10	132S	4,15	7,9	2	3,2	0,0489	12	26	68,0	58	1760	90,0	90,8	91,0	0,66	0,78	0,84	25,8
9,2	12,5	132M	5,09	8,0	2	3,1	0,0601	9	20	75,0	58	1760	90,0	90,8	91,0	0,67	0,79	0,84	31,6
11	15	132M/L	6,09	8,2	2,1	3,2	0,0638	8	18	80,0	58	1760	90,5	91,2	91,7	0,67	0,79	0,85	37,0
15	20	160M	8,23	7,1	2,7	3	0,1188	11	24	120	64	1775	91,0	92,4	92,4	0,64	0,75	0,81	52,6
18,5	25	160L	10,2	7,6	2,7	3	0,1397	10	22	135	64	1770	92,0	92,8	92,8	0,64	0,75	0,81	64,6
22	30	180M	12,1	6,8	2,6	2,9	0,1657	19	42	168	64	1765	92,5	92,8	93,0	0,70	0,79	0,84	74,0
30	40	200M	16,5	6,2	2	2,3	0,2406	18	40	195	66	1770	92,7	93,2	93,4	0,72	0,81	0,85	99,2
37	50	200L	20,4	6,2	2,5	2,6	0,3074	14	31	227	66	1770	93,0	93,2	93,6	0,72	0,80	0,85	122
45	60	225S/M	24,7	7,2	2,4	2,6	0,4931	12	26	367	67	1775	93,5	93,7	94,1	0,76	0,83	0,86	146
55	75	225S/M	30,2	7,2	2,4	2,6	0,5670	12	26	386	67	1775	93,9	94,2	94,4	0,77	0,84	0,87	176
75	100	250S/M	41,2	7,2	2,4	2,8	0,8740	12	26	470	68	1775	94,0	94,5	94,6	0,71	0,81	0,85	244
90	125	280S/M	49,1	7,2	2,1	2,6	1,56	20	44	636	73	1785	94,0	94,8	94,9	0,73	0,82	0,85	292
110	150	280S/M	60,2	7,3	2,1	2,6	1,87	18	40	684	73	1780	94,3	94,8	95,2	0,75	0,83	0,86	352
132	180	315S/M	71,8	7,1	2,1	2,4	2,57	18	40	903	75	1790	94,0	95,0	95,3	0,74	0,82	0,85	428
150	200	315S/M	81,6	7,0	2,2	2,3	2,89	20	44	947	75	1790	94,5	95,5	95,5	0,75	0,83	0,86	480
185	250	315S/M	101	7,0	2,2	2,3	3,44	18	40	1018	75	1790	95,0	95,5	95,7	0,77	0,84	0,87	584
200	270	355M/L	109	7,0	2,2	2,2	4,88	20	44	1291	78	1790	94,8	95,6	95,8	0,77	0,84	0,86	638
220	300	355M/L	120	7,2	2,2	2,3	5,42	23	51	1350	78	1790	95,2	95,8	95,9	0,77	0,84	0,86	700
260	350	355M/L	141	7,3	2	2,2	6,30	15	33	1431	78	1790	95,4	96,0	96,0	0,77	0,84	0,87	816
300	400	355M/L	163	7,0	2,4	2,3	7,20	14	31	1527	78	1790	95,7	96,1	96,1	0,77	0,84	0,87	942
330	450	355M/L	180	7,0	2,1	2,3	8,61	19	42	1662	78	1790	96,0	96,1	96,1	0,77	0,83	0,86	1050
370	500	355M/L	201	7,0	2,6	2,6	10,2	12	26	1833	78	1790	96,0	96,1	96,1	0,75	0,82	0,85	1190
400	550	355M/L	218	7,3	2,5	2,6	11,1	14	31	1916	78	1790	96,1	96,4	96,4	0,74	0,82	0,86	1270
440	600	355M/L	239	7,1	2,2	2,5	11,6	16	35	1966	78	1790	96,2	96,4	96,5	0,74	0,82	0,86	1430
480	650	355A/B ¹	261	7,4	2,5	2,7	12,7	22	48	1993	81	1790	96,0	96,5	96,6	0,71	0,81	0,85	1530
515	700	355A/B ¹	280	7,4	2,6	2,7	13,4	26	57	2079	81	1790	96,2	96,5	96,6	0,71	0,81	0,85	1650
560	750	355A/B ¹	305	7,6	2,7	2,7	14,6	22	48	2246	81	1790	96,3	96,6	96,7	0,70	0,80	0,85	1790

Anexo 7: Factor de servicio de faja

Ejemplo de máquinas accionadas	Ejemplo de máquinas motrices					
	Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque normal (de hasta 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores síncronos y monofásicos con fase auxiliar de arranque, motores trifásicos con arranque directo, arranque estrella/triángulo, con anillo colector; de corriente continua, de combustión interna y turbinas de $n > 600$ r.p.m			Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque alto (más de 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores monofásicos con alto momento de arranque, motores con conexión principal CC conectados en serie y combinación, motores de combustión interna y turbinas de $n \leq 600$ r.p.m		
	Factor de carga e_2 para servicio diario (horas)			Factor de carga e_2 para servicio diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16	up to 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, byas transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y bya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (tornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsores (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6

Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 8: Selección de poleas estándar

Perfil de la correa trapezoidal	Denominación ISO	-	Y	-	Z	A	B	-	C	-	D	E	Diámetro de referencia d_d		Tolerancia de concentricidad y planitud
	Denominación DIN 2215	5	6	8	10	13	17	20	22	25	32	40	min	máx	
Perfil correa trapezoidal estrecha	Denominación DIN 7753 Parte 1 e ISO 4184	-	-	-	SPZ	SPA	SPB	-	SPC	-	-	-	min	máx	
Diámetro de referencia d_d	20,0												20,0	20,4	0,2
	22,0												22,0	22,4	
	25,0												25,0	25,4	
	28,0	28,0											28,0	28,4	
	31,5	31,5											31,5	32,0	
	35,5	35,5											35,5	36,1	
	40,0	40,0	40		40#								40,0	40,6	
	45,0	45,0	45		45#								45,0	45,7	
	50,0	50,0	50		50#								50,0	50,8	
	56,0	56,0	56		56#								56,0	56,9	
	63,0	63,0	63		63	63#							63,0	64,0	
					67	67#							67,0	68,0	
	71,0	71,0	71		71	71#							71,0	72,1	
	80,0		80		75	75#							75,0	76,1	
			80		80	80#							80,0	81,3	
			90		85	85#							85,0	86,3	
		90	90		90	90#	90#						90,0	91,4	
		95	95		95	95#	95#						95,0	96,4	
	100,0		100		100	100#	100#						100,0	101,6	
			100		106	106#	106#						106,0	107,6	
	112,0		112		112	112#	112#						112,0	113,8	
			118		118	118#	118#						118,0	119,9	
		125,0		125		125	125#	125#					125,0	127,0	
				132		132	132#	132#					132,0	134,1	
		140		140	140	140			140*			140,0	142,2		
	150		150	150	150			150*			150,0	152,4			
	160		160	160	160		160	160*			160,0	162,6			
180		180		170	170	170						170,0	172,7		
		180		180	180	180						180,0	182,9		
		190		190	190	190			180#			190,0	193,0		
	200		200		200	200	200			190#			200,0	203,2	
			212		212	212	212			200#			212,0	215,4	
		224		224	224	224			212#			224,0	227,6		
		225		225	225	225		224	225			225,0	228,6		
		236		236	236	236			225			236,0	239,8		
		250		250	250	250		250	236			250,0	254,0		
		265		265	265	265			250		250	265,0	269,0		

Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 9: Selección de longitud de faja estándar

Programa estándar
optibelt 5K Correas trapeziales estrechas de alto rendimiento
 USA-Standard RMA/MPTA

Perfil 3V/9N		Perfil 5V/15N		Perfil 8V/25N	
Denominación de correa (pulgada)	Denominación de correa (exterior mm) L _e	Denominación de correa (pulgada)	Denominación de correa (exterior mm) L _e	Denominación de correa (pulgada)	Denominación de correa (exterior mm) L _e
3V 250	9N 635	5V 530	15N 1346	8V 1000	25N 2540
3V 265	9N 673	5V 560	15N 1422	8V 1120	25N 2845
3V 280	9N 711	5V 600	15N 1524	8V 1180	25N 2997
3V 300	9N 762	5V 630	15N 1600	8V 1250	25N 3175
3V 315	9N 800	5V 670	15N 1702	8V 1320	25N 3353
3V 335	9N 851	5V 710	15N 1803	8V 1400	25N 3556
3V 355	9N 902	5V 750	15N 1905	8V 1500	25N 3810
3V 375	9N 952	5V 800	15N 2032	8V 1600	25N 4064
3V 400	9N 1016	5V 850	15N 2159	8V 1700	25N 4318
3V 425	9N 1079	5V 900	15N 2286	8V 1800	25N 4572
3V 450	9N 1143	5V 950	15N 2413	8V 1900	25N 4826
3V 475	9N 1206	5V 1000	15N 2540	8V 2000	25N 5080
3V 500	9N 1270	5V 1060	15N 2692	8V 2120	25N 5385
3V 530	9N 1346	5V 1120	15N 2845	8V 2240	25N 5690
3V 560	9N 1422	5V 1180	15N 2997	8V 2360	25N 5994
3V 600	9N 1524	5V 1250	15N 3175	8V 2500	25N 6350
3V 630	9N 1600	5V 1320	15N 3353	8V 2650	25N 6731
3V 670	9N 1702	5V 1400	15N 3556	8V 2800	25N 7112
3V 710	9N 1803	5V 1500	15N 3810	8V 3000	25N 7620
3V 750	9N 1905	5V 1600	15N 4064	8V 3150	25N 8001
3V 800	9N 2032	5V 1700	15N 4318	8V 3350	25N 8509
3V 850	9N 2159	5V 1800	15N 4572	8V 3550	25N 9017
3V 900	9N 2286	5V 1900	15N 4826	8V 3750	25N 9525
3V 950	9N 2413	5V 2000	15N 5080	8V 4000	25N 10160
3V 1000	9N 2540	5V 2120	15N 5385	8V 4250	25N 10795
3V 1060	9N 2692	5V 2240	15N 5690	8V 4500	25N 11430
3V 1120	9N 2845	5V 2360	15N 5994	8V 4750	25N 12065
3V 1180	9N 2997	5V 2500	15N 6350	8V 5000	25N 12700
3V 1250	9N 3175	5V 2650	15N 6731		
3V 1320	9N 3353	5V 2800	15N 7112		
3V 1400	9N 3556	5V 3000	15N 7620		
		5V 3150	15N 8001		
		5V 3350	15N 8509		
		5V 3550	15N 9017		

Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 10: Potencia nominal de faja

Potencias nominales
Perfiles SPZ, 3V/9N, 3V/9J
Potencia nominal P_N (kW) for β = 180° y L_d = 1600 mm

Tabla 26

Poleas v (m/s)	n ₂ (min ⁻¹)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d _a (mm)														Suplemento de potencia (kW) por correa para l				
		63	71	80	85	90	95	100	112	125	132	140	150	160	180	200	1,01 hasta 1,05	1,06 hasta 1,26	1,27 hasta 1,57	>1,57
7	700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
	950	0,63	0,87	1,14	1,29	1,44	1,59	1,74	2,08	2,46	2,66	2,89	3,17	3,45	4,00	4,54	0,01	0,09	0,12	0,15
	1450	0,87	1,23	1,62	1,84	2,06	2,27	2,49	3,00	3,54	3,83	4,16	4,56	4,96	5,75	6,51	0,02	0,13	0,19	0,23
	2850	1,38	2,03	2,74	3,13	3,52	3,90	4,27	5,15	6,07	6,55	7,08	7,72	8,34	9,50	10,55	0,04	0,26	0,37	0,46
	100	0,10	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,28	0,33	0,35	0,38	0,42	0,45	0,52	0,59	0,00	0,01	0,01	0,02
	200	0,18	0,24	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,52	0,61	0,66	0,71	0,78	0,85	0,98	1,12	0,00	0,02	0,03	0,03
	300	0,25	0,33	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,75	0,88	0,95	1,03	1,13	1,23	1,42	1,62	0,00	0,03	0,04	0,05
	400	0,32	0,43	0,55	0,62	0,68	0,75	0,81	0,97	1,14	1,23	1,34	1,47	1,59	1,85	2,10	0,01	0,04	0,05	0,06
	500	0,38	0,51	0,66	0,75	0,83	0,91	0,99	1,19	1,39	1,51	1,63	1,79	1,95	2,26	2,57	0,01	0,05	0,07	0,08
	600	0,44	0,60	0,78	0,87	0,97	1,07	1,16	1,39	1,64	1,77	1,92	2,11	2,29	2,66	3,02	0,01	0,06	0,08	0,10
	700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
	800	0,55	0,76	0,99	1,12	1,24	1,37	1,50	1,79	2,12	2,29	2,48	2,72	2,96	3,44	3,91	0,01	0,07	0,11	0,13
	900	0,61	0,84	1,09	1,24	1,38	1,52	1,66	1,99	2,35	2,54	2,75	3,02	3,29	3,81	4,33	0,01	0,08	0,12	0,15
	1000	0,66	0,91	1,19	1,35	1,51	1,66	1,81	2,18	2,57	2,78	3,02	3,31	3,61	4,18	4,75	0,01	0,09	0,13	0,16
	1100	0,71	0,98	1,29	1,46	1,63	1,80	1,97	2,37	2,79	3,02	3,28	3,60	3,92	4,54	5,16	0,02	0,10	0,14	0,18
1200	0,76	1,06	1,39	1,57	1,76	1,94	2,12	2,55	3,01	3,26	3,54	3,88	4,22	4,90	5,56	0,02	0,11	0,16	0,19	
1300	0,80	1,12	1,48	1,68	1,88	2,07	2,27	2,73	3,23	3,49	3,79	4,16	4,52	5,24	5,95	0,02	0,12	0,17	0,21	
1400	0,85	1,19	1,58	1,79	2,00	2,21	2,42	2,91	3,44	3,72	4,04	4,43	4,82	5,58	6,32	0,02	0,13	0,18	0,23	
1500	0,89	1,26	1,67	1,89	2,12	2,34	2,56	3,08	3,64	3,94	4,28	4,69	5,11	5,91	6,69	0,02	0,14	0,20	0,24	
8	1600	0,93	1,32	1,76	2,00	2,23	2,47	2,70	3,26	3,85	4,16	4,52	4,95	5,39	6,23	7,05	0,02	0,15	0,21	0,26
	1700	0,98	1,39	1,85	2,10	2,35	2,59	2,84	3,42	4,05	4,38	4,75	5,21	5,66	6,55	7,40	0,02	0,16	0,22	0,27
	1800	1,02	1,45	1,93	2,20	2,46	2,72	2,98	3,59	4,24	4,59	4,98	5,46	5,93	6,85	7,74	0,03	0,17	0,24	0,29
	1900	1,06	1,51	2,02	2,29	2,57	2,84	3,11	3,75	4,43	4,80	5,20	5,70	6,19	7,15	8,07	0,03	0,18	0,25	0,31
	2000	1,10	1,57	2,10	2,39	2,68	2,96	3,24	3,91	4,62	5,00	5,42	5,94	6,45	7,44	8,38	0,03	0,19	0,26	0,32
	2100	1,13	1,63	2,18	2,48	2,78	3,08	3,37	4,07	4,81	5,20	5,64	6,17	6,70	7,72	8,68	0,03	0,19	0,28	0,34
	2200	1,17	1,69	2,26	2,58	2,89	3,20	3,50	4,22	4,99	5,39	5,84	6,40	6,94	7,99	8,98	0,03	0,20	0,29	0,35
	2300	1,20	1,74	2,34	2,67	2,99	3,31	3,63	4,38	5,17	5,58	6,05	6,62	7,18	8,25	9,26	0,03	0,21	0,30	0,37
	2400	1,24	1,80	2,42	2,75	3,09	3,42	3,75	4,52	5,34	5,77	6,25	6,84	7,41	8,50	9,52	0,03	0,22	0,32	0,39
	2500	1,27	1,85	2,49	2,84	3,19	3,53	3,87	4,67	5,51	5,95	6,44	7,04	7,63	8,74	9,77	0,04	0,23	0,33	0,40
	2600	1,31	1,90	2,57	2,93	3,28	3,64	3,99	4,81	5,67	6,12	6,63	7,25	7,84	8,97	10,01	0,04	0,24	0,34	0,42
	2700	1,34	1,96	2,64	3,01	3,38	3,74	4,10	4,95	5,83	6,30	6,81	7,44	8,05	9,19	10,24	0,04	0,25	0,35	0,44
	2800	1,37	2,01	2,71	3,09	3,47	3,85	4,22	5,08	5,99	6,46	6,99	7,63	8,25	9,40	10,45	0,04	0,26	0,37	0,45
	2900	1,40	2,05	2,78	3,17	3,56	3,95	4,33	5,22	6,14	6,63	7,16	7,81	8,44	9,60	10,64	0,04	0,27	0,38	0,47
	3000	1,43	2,10	2,85	3,25	3,65	4,05	4,43	5,34	6,29	6,78	7,33	7,99	8,62	9,79	10,82	0,04	0,28	0,39	0,48
9	3100	1,45	2,15	2,91	3,33	3,74	4,14	4,54	5,47	6,43	6,93	7,49	8,16	8,79	9,96	10,99	0,04	0,29	0,41	0,50
	3200	1,48	2,19	2,98	3,40	3,82	4,24	4,64	5,59	6,57	7,08	7,64	8,32	8,95	10,12	11,14	0,05	0,30	0,42	0,52
	3300	1,51	2,24	3,04	3,48	3,91	4,33	4,74	5,71	6,71	7,22	7,79	8,47	9,11	10,28	11,27	0,05	0,31	0,43	0,53
	3400	1,53	2,28	3,10	3,55	3,99	4,42	4,84	5,83	6,84	7,36	7,93	8,61	9,26	10,41	11,39	0,05	0,31	0,45	0,55
	3500	1,56	2,32	3,16	3,62	4,06	4,50	4,94	5,94	6,96	7,49	8,07	8,75	9,39	10,54	11,48	0,05	0,32	0,46	0,56
	3600	1,58	2,36	3,22	3,68	4,14	4,59	5,03	6,04	7,08	7,61	8,20	8,88	9,52	10,65	11,56	0,05	0,33	0,47	0,58
	3700	1,60	2,40	3,28	3,75	4,22	4,67	5,12	6,15	7,20	7,73	8,32	9,00	9,64	10,75	11,62	0,05	0,34	0,49	0,60
	3800	1,62	2,44	3,33	3,81	4,29	4,75	5,20	6,25	7,31	7,85	8,43	9,12	9,75	10,83	11,67	0,05	0,35	0,50	0,61
	3900	1,64	2,48	3,39	3,88	4,36	4,83	5,29	6,35	7,41	7,95	8,54	9,22	9,85	10,90	11,69	0,06	0,36	0,51	0,63
	4000	1,66	2,51	3,44	3,94	4,43	4,90	5,37	6,44	7,51	8,06	8,64	9,32	9,93	10,96	11,70	0,06	0,37	0,53	0,64
	4100	1,68	2,55	3,49	4,00	4,49	4,97	5,45	6,53	7,61	8,15	8,73	9,41	10,01	11,00	11,68	0,06	0,38	0,54	0,66
	4200	1,70	2,58	3,54	4,05	4,55	5,04	5,52	6,61	7,70	8,24	8,82	9,48	10,08	11,03	11,64	0,06	0,39	0,55	0,68
	4300	1,72	2,61	3,58	4,11	4,62	5,11	5,59	6,69	7,78	8,32	8,90	9,55	10,13	11,04	11,59	0,06	0,40	0,57	0,69
	4400	1,73	2,64	3,63	4,16	4,67	5,18	5,66	6,77	7,86	8,40	8,97	9,61	10,17	11,03	11,51	0,06	0,41	0,58	0,71
	4500	1,75	2,67	3,67	4,21	4,73	5,24	5,73	6,84	7,93	8,47	9,03	9,66	10,21	11,01	11,41	0,06	0,42	0,59	0,73
10	4600	1,76	2,70	3,71	4,26	4,78	5,30	5,79	6,91	8,00	8,53	9,09	9,70	10,23	10,97	0,07	0,43	0,60	0,74	
	4700	1,77	2,73	3,75	4,30	4,84	5,35	5,85	6,97	8,06	8,59	9,13	9,73	10,24	10,92	0,07	0,44	0,62	0,76	
	4800	1,78	2,75	3,79	4,35	4,88	5,40	5,91	7,03	8,11	8,63	9,17	9,76	10,23	10,85	0,07	0,44	0,63	0,77	
	4900	1,80	2,78	3,83	4,39	4,93	5,45	5,96	7,08	8,16	8,68	9,20	9,77	10,22	10,76	0,07	0,45	0,64	0,79	
	5000	1,81	2,80	3,86	4,43	4,97	5,50	6,01	7,13	8,20	8,71	9,22	9,77	10,19	10,65	0,07	0,46	0,66	0,81	
	5100	1,81	2,82	3,89	4,47	5,02	5,55	6,05	7,18	8,24	8,74	9,24	9,75	10,15	0,07	0,47	0,67	0,82		
	5200	1,82	2,84	3,93	4,50	5,05	5,59	6,10	7,22	8,27	8,76	9,24	9,73	10,09	0,07	0,48	0,68	0,84		
	5300	1,83	2,86	3,95	4,53	5,09	5,63	6,14	7,26	8,29	8,77	9,23	9,70	10,03	0,08	0,49	0,70	0,85		
	5400	1,83	2,87	3,98	4,56	5,12	5,66	6,17	7,29	8,31	8,77	9,22	9,66	9,95	0,08	0,50	0,71	0,87		
	5500	1,84	2,89	4,01	4,59	5,16	5,69	6,20	7,31	8,32	8,77	9,20	9,60	0,08	0,51	0,72	0,89			
	5600	1,84	2,90	4,03	4,62	5,18	5,72	6,23	7,33	8,32	8,75	9,16	9,53	0,08	0,52	0,74	0,90			
	5800	1,84	2,93	4,07	4,66	5,23	5,77	6,28	7,36	8,30	8,71	9,07	9,37	0,08	0,54	0,76	0,93			

Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 11: Factor de ángulo de contacto

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta =$	c_1
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 12: Factor de desarrollo de fajas

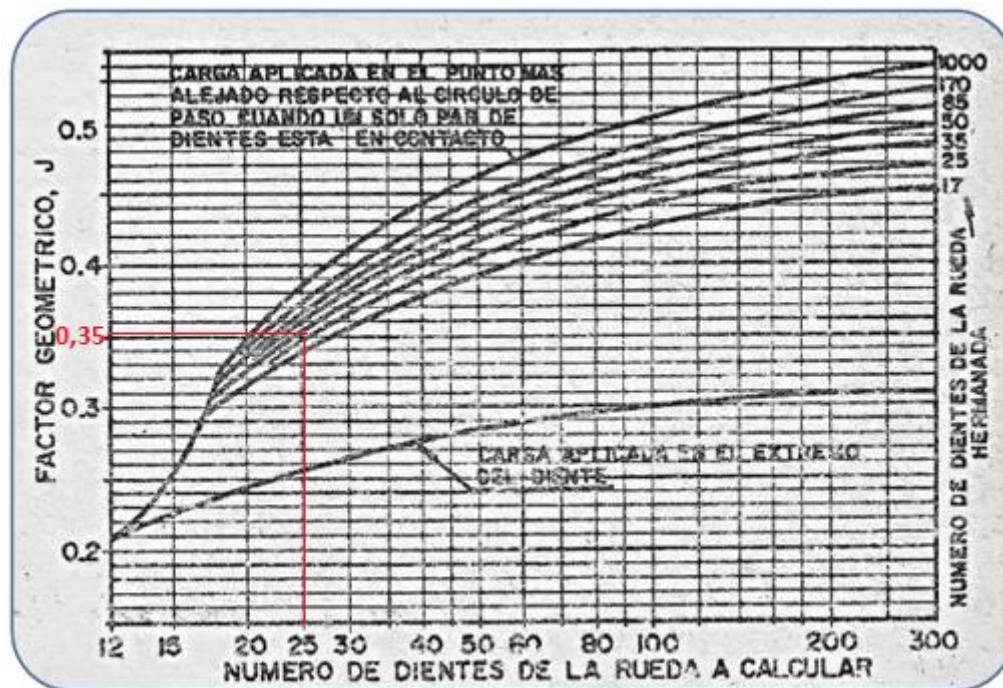
Factor de desarrollo c_3 para correas trapeciales estrechas **optibelt y correas múltiples **Kraftband****

Tabla 19

Perfil 3V/9N, 3VX/9NX 3V/9J, 3VX/9JX			Perfil 5V/15N, 5VX/15NX 5V/15J, 5VX/15JX			Perfil 8V/25N 8V/25J		
Denominación de la correa	Desarrollo exterior (mm)	c_3	Denominación de la correa	Desarrollo exterior (mm)	c_3	Denominación de la correa	Desarrollo exterior (mm)	c_3
3V 265	673	0,84	5V 500	1270	0,84	8V 1000	2540	0,87
3V 280	711	0,85	5V 530	1346	0,85	8V 1060	2692	0,87
3V 300	762	0,86	5V 560	1422	0,85	8V 1120	2845	0,88
3V 315	800	0,87	5V 600	1524	0,87	8V 1180	2997	0,89
3V 335	851	0,88	5V 630	1600	0,87	8V 1250	3175	0,90
3V 355	902	0,90	5V 670	1702	0,88	8V 1320	3353	0,91
3V 375	952	0,91	5V 710	1803	0,89	8V 1400	3556	0,92
3V 400	1016	0,92	5V 750	1905	0,90	8V 1500	3810	0,93
3V 425	1079	0,93	5V 800	2032	0,91	8V 1600	4064	0,93
3V 450	1143	0,94	5V 850	2159	0,92	8V 1700	4318	0,94
3V 475	1206	0,95	5V 900	2286	0,93	8V 1800	4572	0,95
3V 500	1270	0,96	5V 950	2413	0,94	8V 1900	4826	0,96
3V 530	1346	0,97	5V 1000	2540	0,95	8V 2000	5080	0,97
3V 560	1422	0,98	5V 1060	2692	0,96	8V 2120	5385	0,98
3V 600	1524	0,99	5V 1120	2845	0,96	8V 2240	5690	0,98
3V 630	1600	1,00	5V 1180	2997	0,97	8V 2360	5994	0,99
3V 670	1702	1,01	5V 1250	3175	0,98	8V 2500	6350	1,00
3V 710	1803	1,02	5V 1320	3353	0,99	8V 2650	6731	1,01
3V 750	1905	1,03	5V 1400	3556	1,00	8V 2800	7112	1,02
3V 800	2032	1,04	5V 1500	3810	1,01	8V 3000	7620	1,03
3V 850	2159	1,05	5V 1600	4064	1,02	8V 3150	8001	1,03
3V 900	2286	1,07	5V 1700	4318	1,03	8V 3350	8509	1,04
3V 950	2413	1,07	5V 1800	4572	1,04	8V 3550	9017	1,05
3V 1000	2540	1,08	5V 1900	4826	1,05	8V 3750	9525	1,06
3V 1060	2692	1,09	5V 2000	5080	1,06	8V 4000	10160	1,07
3V 1120	2845	1,11	5V 2120	5385	1,07	8V 4250	10795	1,08
3V 1180	2997	1,11	5V 2240	5690	1,07	8V 4500	11430	1,09
3V 1250	3175	1,13	5V 2360	5994	1,08	8V 4750	12065	1,09
3V 1320	3353	1,14	5V 2500	6350	1,09	8V 5000	12700	1,10
3V 1400	3556	1,15	5V 2650	6731	1,10	8V 5300	13462	1,11
3V 1500	3810	1,16	5V 2800	7112	1,11	8V 5600	14224	1,12
3V 1600	4064	1,17	5V 3000	7620	1,12	8V 6000	15240	1,13
3V 1700	4318	1,18	5V 3150	8001	1,13	8V 6300	16002	1,13
3V 1800	4572	1,19	5V 3350	8509	1,14			
3V 1900	4826	1,20	5V 3550	9017	1,15			
3V 2000	5080	1,21	5V 3750	9525	1,16			
			5V 4000	10160	1,17			

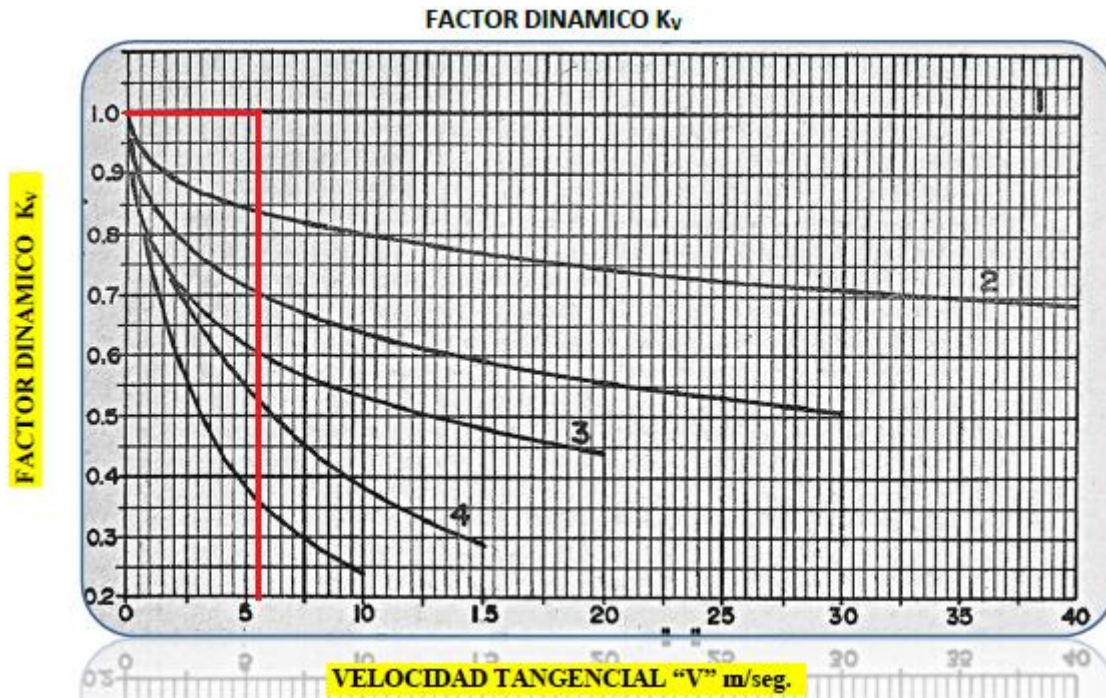
Fuente: Catálogo Optibelt

Anexo 13: Selección de factores para engranajes

Factor de vida K_L

NUMERO DE CICLOS	ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y BIHELICOIDALES				ENGRANAJES CONICOS CAPA DURA CARBURIZADO*
	160 BHN	250 BHN	450 BHN	CAPA DURA CARBURIZADO*	
10^3	1.6	2.4	3.4	2.7	4.6
10^4	1.4	1.9	2.4	2.0	3.1
10^5	1.2	1.4	1.7	1.5	2.1
10^6	1.1	1.1	1.2	1.1	1.4
10^7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10^8	1.0-0.8	1.0-0.8	1.0-0.8	1.0-0.8	1.0

Se toma un valor menor: 0,62



MATERIALES Y TRATAMIENTO TERMICO	DUREZA MINIMA O ESFUERZO DE ROTURA MIN.	Sat (Kgs/mm ²)
		RECTO, HELICOIDAL Y BI-HELICOIDAL
ACERO, NORMALIZADO	140 BHN	13.4 - 17.6
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	180 BHN	17.6 - 23.2
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	220 BHN	20.5 - 27.0
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	260 BHN	23.1 - 30.3
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	300 BHN	25.4 - 33.1
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	350 BHN	27.6 - 36.3
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	400 BHN	29.5 - 39.2
ACERO, TEMPLADO Y REVENIDO	450 BHN	31.0 - 41.5
ACERO, ENDURECIDO SUPERFICIALMENTE POR CARBURIZACION	55 RC 60 RC	38.7 - 45.8 42.3 - 49.3
ACERO, ENDURECIDO SUPERFICIALMENTE POR INDUCCION O TEMPLADO POR LLAMA:		
▪ EN TODO EL DIENTE	54 RC	31.7 - 38.7 *
▪ SUPERFICIALMENTE	54 RC	15.5
ACERO AISI 4140, ENDURECIDO SUPERFICIALMENTE POR NITRURACION	CAPA DURA: 53 RC NUCLEO: 300 BHN	21.1 - 29.6
FIERRO FUNDIDO: AGMA GRADO 20		3.5
AGMA GRADO 30	175 BHN	6.0
AGMA GRADO 40	200 BHN	9.2
FIERRO NODULAR, ASTM GRADO:		
▪ 60-40-18, RECOCIDO		10.6
▪ 80-5506, RECOCIDO		14.1
▪ 100-70-03, NORMALIZADO		18.3
▪ 120-90-02, TEMPLADO Y REVENIDO		21.1
BRONCE, AGMA 2C (10% - 12%) Sn	28.2 Kgs/mm ²	4.0

Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_t
≤ 5	1.00
6	1.05
8	1.15
12	1.25
20	1.40

FACTORES DE DISTRIBUCION DE CARGA K_m , C_m

CONDICION DEL SOPORTE	ANCHO DEL DIENTE							
	≤ 50 mm		150 mm		230 mm		≥ 400 mm	
	REC	HEL	REC	HEL	REC	HEL	REC	HEL
MONTAJE CUIDADOSO, JUEGO PEQUEÑO DE COJINETE, DE FLEXION ELASTICA MINIMA, ENGRANAJE DE PRECISION.	1.3	1.2	1.4	1.3	1.5	1.4	1.8	1.7
MONTAJE MENOS RIGIDO, ENGRANAJES MENOS PRECISOS, 100% DE CONTACTO.	1.6	1.5	1.7	1.6	1.8	1.7	2.0	2.0
MONTAJE Y PRECISION TAL QUE NO PRODUZCA CONTACTO COMPLETO DEL DIENTE	MAS DE 2.0							

REC : ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS

HEL : ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES HELICOIDALES

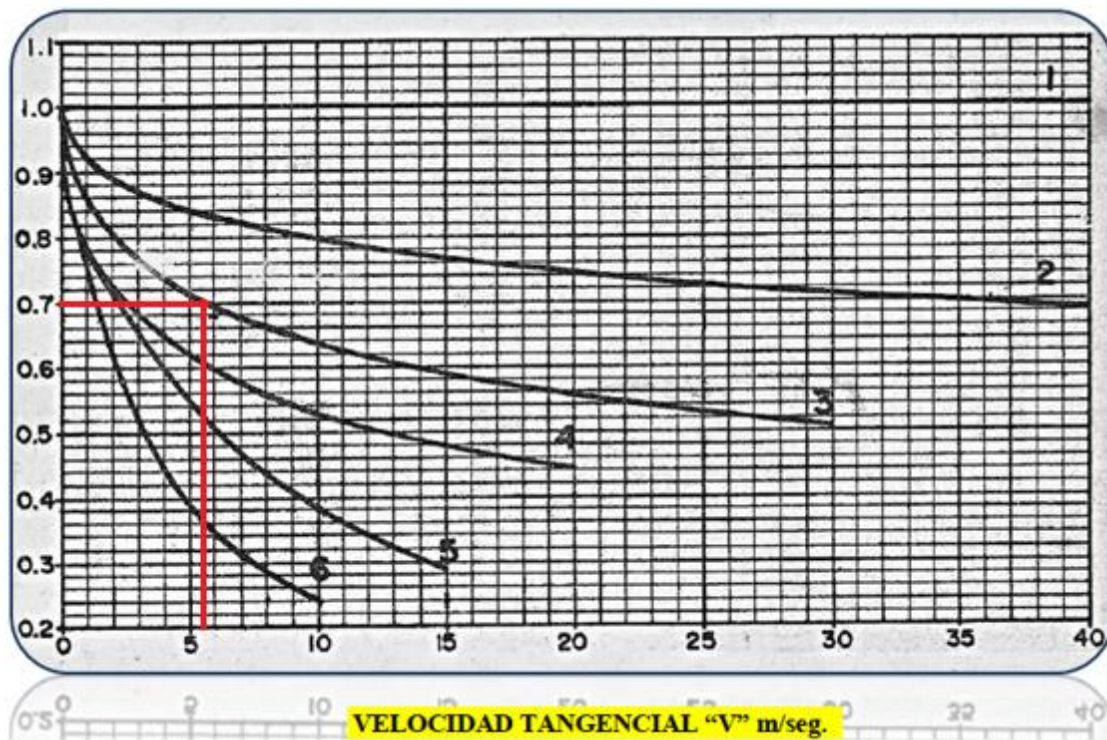
CARACTERISTICAS DE LAS MAQUINAS

FUENTE DE PODER	
UNIFORME	MOTOR ELECTRICO, TURBINA
CHOQUES PEQUEÑOS	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA MULTICILINDRICO
CHOQUES MEDIANOS	MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE UN CILINDRO

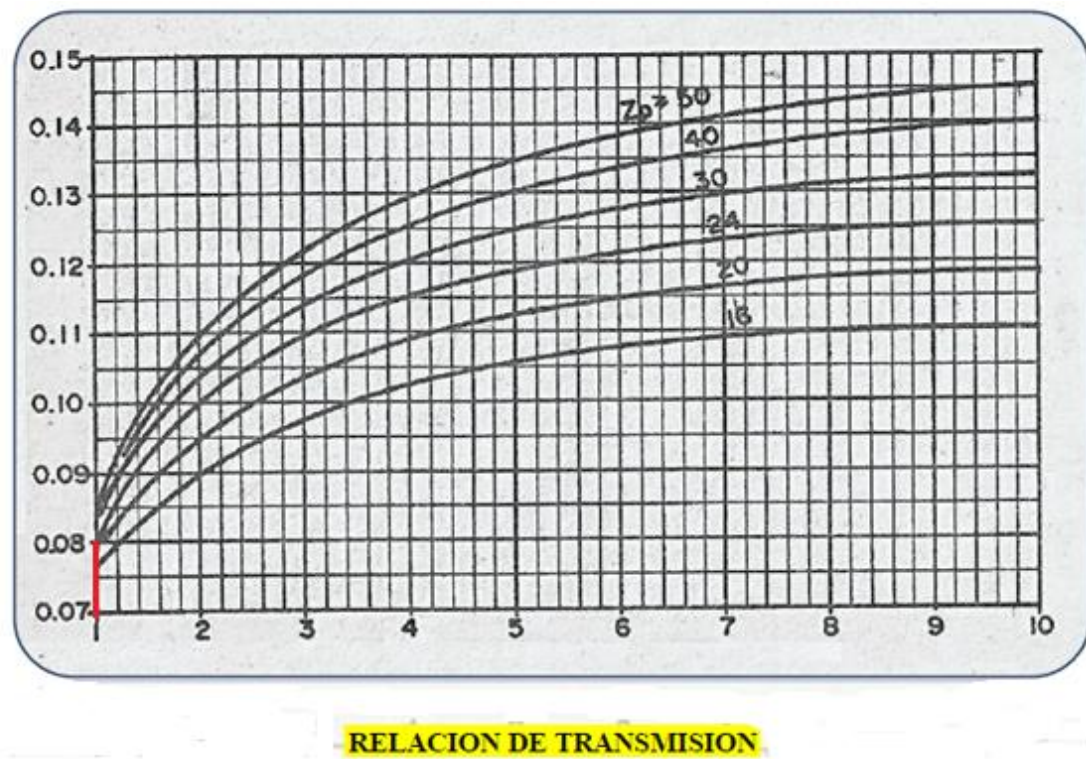
FACTORES DE SOBRECARGA K_o , C_o

FUENTE DE PODER	CARGA EN LA MAQUINA MOVIDA		
	UNIFORME	CHOQUE MODERADO	CHOQUE FUERTE
UNIFORMES	1.00	1.25	≥ 1.75
CHOQUES PEQUEÑOS	1.25	1.50	≥ 2.00
CHOQUES MEDIANOS	1.50	1.75	≥ 2.25

FACTOR DINAMICO, C_v



FACTOR GEOMETRICO, I





REQUERIMIENTO	C_R
ALTA CONFIABILIDAD	1.25
DE 100 FALLA UNO	1.00
DE 3 FALLA UNO	0.80

FACTOR DE SEGURIDAD RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA FATIGA, K_R

REQUERIMIENTO	K_R
ALTA CONFIABILIDAD	≥ 1.5
DE 100 FALLA UNO	1.0
DE 3 FALLA UNO	0.7

ESFUERZO PERMISIBLE DE CONTACTO, S_{ac}

MATERIAL	DUREZA SUPERFICIAL MINIMA	S_{ac} Kgs/mm ²
ACERO ENDURECIDO EN TODA LA SECCION DEL DIENTE	180 BHN	60 – 67
	220 BHN	69 – 72
	260 BHN	78 – 87
	300 BHN	87 – 97
	350 BHN	99 – 110
	400 BHN	110 – 123
	450 BHN	122 – 136
ACERO ENDURECIDO SUPERFICIALMENTE POR CARBURIZACION	55 RC	127 – 141
	60 RC	141 – 158
ACERO ENDURECIDO SUPERFICIALMENTE POR INDUCCION O POR LLAMA	50 RC	120 – 134
FIERRO FUNDIDO: - AGMA GRADO 20 - AGMA GRADO 30 - AGMA GRADO 40	175 BHN 200 BHN	35 – 42 46 – 53 53 – 60
FIERRO NODULAR: - RECOCIDO - NORMALIZADO - TEMPLADO EN ACEITE Y REVENIDO	165 BHN 210 BHN 255 BHN	51 – 58 60 – 67 69 – 76
BRONCE, AGMA 2c (10-12% Sn)	28.2 Kgs/mm ²	21
BRONCE ALUMINIO ASTM B 148-52 (ALEACION 9C-HT)	63.0 Kgs/mm ²	46

**COEFICIENTE ELASTICO, C_p
PARA ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES**

MATERIAL DEL PIÑON	MODULO DE ELASTICIDAD (Kgs/mm ²)	MATERIAL DEL ENGRANAJE			
		ACERO	FE FDO	BRONCE ALUMINIO	BRONCE
ACERO	2.10×10^4	61	53	52	50
FE FDO.	1.34×10^4	53	48	48	46
BRONCE ALUMINIO	1.23×10^4	52	48	46	45
BRONCE	1.14×10^4	50	46	45	44

Anexo 14: Peso de polea conducida

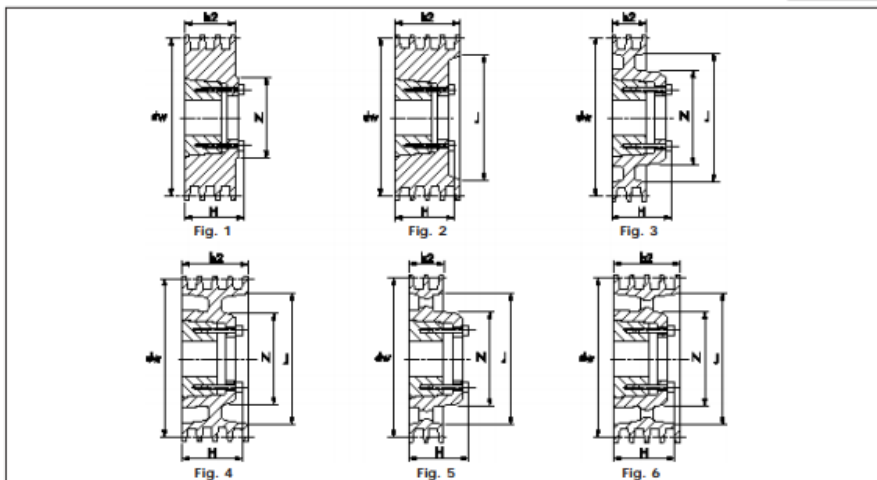
Magic-Grip-T 97C2S6C101 mm	Pulleys with Magic-Grip-T bush	Poulies a douille Magic-Grip-T	Poleas con moyu Magic-Grip-T	MGT
	Grooves section	Section de gorges	Sección de garganta	SPC
	Number of grooves	Nombre de gorges	Número de canales	2 ▶ 12
	Reference diameter	Diamètre de référence	Díametro de referencia	170 ▶ 335

The user is responsible for the provision of safety guards and correct installation of all equipment.

Les dispositifs de protection doivent être prévus par l'utilisateur. Celui-ci est responsable de l'installation correcte de l'ensemble.

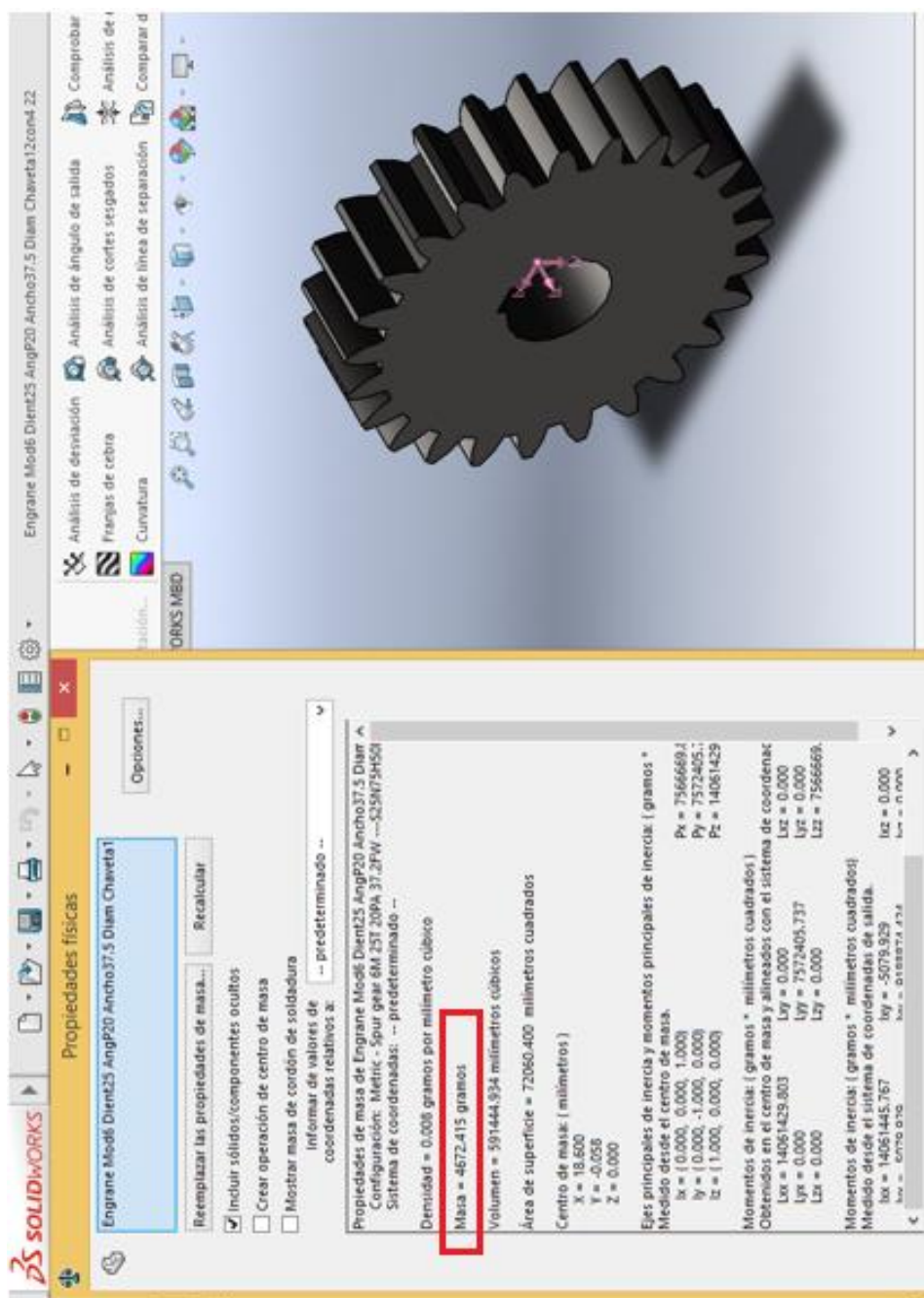
El usuario se responsabiliza de la utilización de dispositivos de seguridad y de la correcta instalación de los equipos.

Dimensions in mm and masses in kg are given as a guide only. Certified dimensions upon request.



dw	Grooves Gorges Canales	Fig.	N*	D min	D max (1)	L (1)	b2	H	J	N	m kg (2)
170	2	1	63	24	63	57	57	91	-	119	8
	3	1	63	24	63	57	82	91	-	119	9
	4	2	63	24	63	57	107	91	110	-	10,5
	5	2	63	24	63	57	132	91	110	-	11,5
	6	2	80	28	80	72	157	112	110	-	16,5
	180	2	1	63	24	63	57	57	91	-	119
3		1	63	24	63	57	82	91	-	119	10,5
4		2	63	24	63	57	107	91	120	-	12
5		2	63	24	63	57	132	91	120	-	13,5
6		2	80	28	80	72	107	112	120	-	14,5
190		2	1	63	24	63	57	57	91	-	119
	3	1	63	24	63	57	82	91	-	119	12
	4	2	63	24	63	57	107	91	130	-	14
	5	2	80	28	80	72	132	112	130	-	15,5
	6	2	80	28	80	72	157	112	130	-	17
	8	2	80	28	80	72	207	112	130	-	20
200	2	1	63	24	63	57	57	91	-	119	11
	3	1	63	24	63	57	82	91	-	119	14
	4	2	63	24	63	57	107	91	140	-	15,5
	5	2	80	28	80	72	132	112	140	-	17,5
	6	2	80	28	80	72	157	112	140	-	19
	8	2	80	28	80	72	207	112	140	-	23
212	2	1	63	24	63	57	57	91	-	119	11,5
	3	1	63	24	63	57	82	91	-	119	15
	4	1	80	28	80	72	107	112	-	148	18,5
	5	2	80	28	80	72	132	112	152	-	20
	6	2	80	28	80	72	157	112	152	-	22
	8	2	80	28	80	72	207	112	152	-	26
224	2	3	63	24	63	57	57	91	164	119	11
	3	1	80	28	80	72	82	112	-	148	18,5
	4	1	80	28	80	72	107	112	-	148	21
	5	2	80	28	80	72	132	112	164	-	23
	6	2	80	28	80	72	157	112	164	-	25
	8	2	100	40	100	90	207	141	164	-	30
236	2	3	63	24	63	57	57	91	176	119	12
	3	1	80	28	80	72	82	112	-	148	20
	4	1	80	28	80	72	107	112	-	148	24
	5	2	80	28	80	72	132	112	176	-	26
	6	2	80	28	80	72	157	112	176	-	28
	8	2	100	40	100	90	207	141	176	-	34
250	2	3	63	24	63	57	57	91	190	119	13
	3	1	80	28	80	72	82	112	-	148	21
	4	1	80	28	80	72	107	112	-	148	25
	5	2	80	28	80	72	132	112	190	-	27
	6	2	100	40	100	90	157	141	190	-	34
	8	2	100	40	100	90	207	141	190	-	39
265	2	3	63	24	63	57	57	91	205	119	14
	3	3	80	28	80	72	82	112	205	148	21
	4	4	80	28	80	72	132	112	205	148	28
	5	2	80	40	100	90	157	141	205	-	40
	6	2	100	40	100	90	157	141	205	-	40
	8	2	100	40	100	90	207	141	205	-	45
280	2	3	80	28	80	72	57	112	220	148	18
	3	3	80	28	80	72	82	112	220	148	21
	4	3	80	28	80	72	107	112	220	148	26
	5	1	100	40	100	90	132	141	-	188	41
	6	2	100	40	100	90	157	141	220	-	44
	8	2	100	40	100	90	207	141	220	-	51
300	2	3	80	28	80	72	57	112	240	148	20
	3	3	80	28	80	72	82	112	240	148	23
	4	3	80	28	80	72	107	112	240	148	26
	5	1	100	40	100	90	132	141	-	188	46
	6	2	100	40	100	90	157	141	240	-	49
	8	2	100	40	100	90	207	141	240	-	56
315	2	5	80	28	80	72	57	112	255	148	18,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	255	148	22
	4	3	100	40	100	90	107	141	255	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	255	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	255	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	255	188	56
335	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
350	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
375	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
400	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
450	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
500	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
560	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	100	90	207	141	275	188	59
630	2	5	80	28	80	72	57	112	275	148	19,5
	3	5	80	28	80	72	82	112	275	148	23
	4	3	100	40	100	90	107	141	275	188	40
	5	3	100	40	100	90	132	141	275	188	44
	6	4	100	40	100	90	157	141	275	188	48
	8	4	100	40	1						

Anexo 15: Peso de engranaje



Engrane Mod6 Dient25 AngP20 Ancho37.5 Diam Chaveta 12.com4.22

Comprobar
Analisis de ángulo de salida
Analisis de cortes sesgados
Analisis de curvatura
Analisis de línea de separación

ORIS MBD

Propiedades físicas

Engrane Mod6 Dient25 AngP20 Ancho37.5 Diam Chaveta 1

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Engrane Mod6 Dient25 AngP20 Ancho37.5 Diam Chaveta 1
Configuración: Metric - Spur gear 6M JST 20PA 37.2FW ---S25M75H501
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.008 gramos por milímetro cúbico

Masa = 4672.415 gramos

Volumen = 591444.924 milímetros cúbicos

Área de superficie = 72060.400 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
X = 18.500
Y = -0.058
Z = 0.000

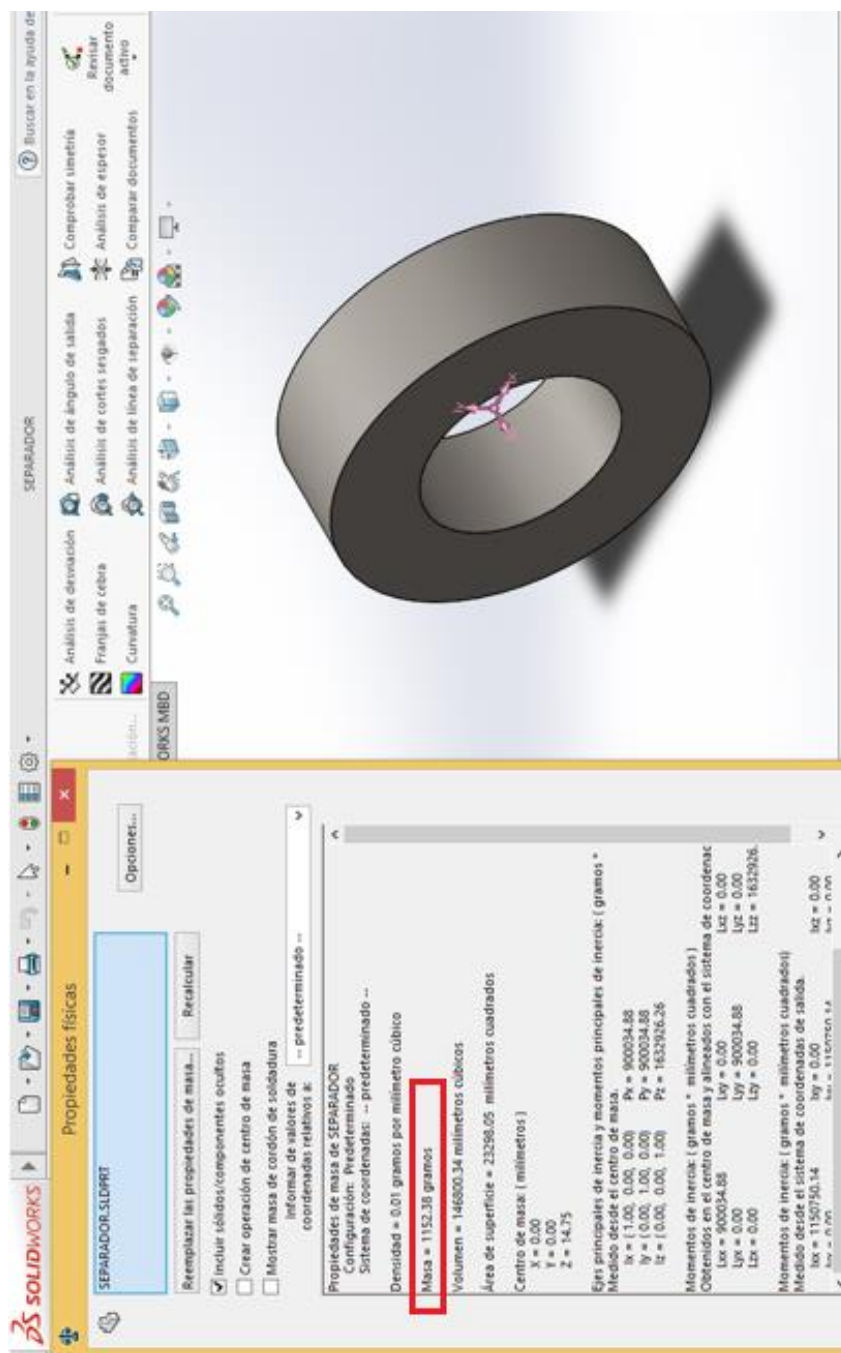
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el centro de masa.
Ix = (0.000, 0.000, 1.000) Px = 7566669.2
Iy = (0.000, -1.000, 0.000) Py = 7572405.1
Iz = (1.000, 0.000, 0.000) Pz = 14061429

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas.
Ixx = 14061429.803 Iyy = 0.000 Izz = 0.000
Ixy = 0.000 Iyz = 7572405.737 Ixz = 0.000

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
Ixx = 14061445.767 Iyy = -5079.929 Izz = 0.000
Ixy = -6760.010 Iyz = -6760.010 Ixz = 0.000

Fuente: Solidworks

Anexo 16: Peso de separador



SOLIDWORKS SEPARADOR

SEPARADOR.SLDPART

Propiedades físicas

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de conexión de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de SEPARADOR

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 1152.38 gramos

Volumen = 146800.34 milímetros cúbicos

Área de superficie = 23298.05 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 0.00

Y = 0.00

Z = 14.75

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el centro de masa.

Ix = 1.00, 0.00, 0.00 Px = 900034.88

Iy = 1.00, 1.00, 0.00 Py = 900034.88

Iz = 1.00, 0.00, 1.00 Pz = 1652926.26

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

Ixx = 900034.88 Iyy = 900034.88 Izz = 1652926.26

Ixy = 0.00 Iyz = 0.00 Ixz = 0.00

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medidos desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx = 1150750.14 Iyy = 0.00 Izz = 0.00

Ixy = 0.00 Iyz = 0.00 Ixz = 0.00

ORIS MED

Buscar en la ayuda de...

Comprobar simetría

Analisis de ángulo de salida

Analisis de espesor

Analisis de corte resgado

Analisis de línea de separación

Comprobar documentos

Reiniciar documento activo

Fuente: solidworks

Anexo 17: Acero de eje

Tabla A-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg)]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección T-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: [16]

Anexo 18: Factor de modificación de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: [16]

Anexo 19: Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_u
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: [16]

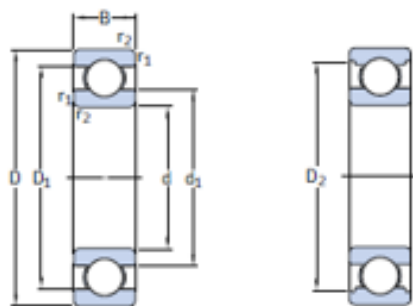
Anexo 20: Tiempo de vida de rodamientos

TABLA 14-4 Duración recomendada para rodamientos

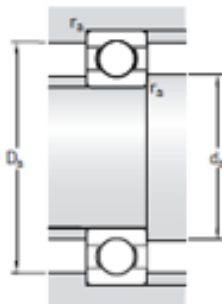
Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Fuente: [17]

Anexo 21: Selección de rodamientos



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
40	52	7	4,94	3,45	0,19	26 000	16 000	0,034	61808
	62	12	13,8	10	0,43	24 000	14 000	0,12	61908
	68	9	13,8	9,15	0,44	22 000	14 000	0,13	* 16008
	68	15	17,8	11,6	0,49	22 000	14 000	0,19	* 6008
	80	18	32,5	19	0,80	18 000	11 000	0,37	* 6208
	80	18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	6208 ETN9
	90	23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	* 6308
	110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408



] [

Dimensiones					Dimensiones de acuerdos y resaltes			Factores de cálculo	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} min	d ₂ min	D ₂ máx	r ₂ máx	k _r	f ₀
mm					mm			-	
40	43,7	48,5	-	0,3	42	50	0,3	0,015	14
	46,9	55,1	-	0,6	43,2	58,8	0,6	0,02	16
	49,4	58,6	-	0,3	42	66	0,3	0,02	14
	49,3	58,8	61,1	1	44,6	63,4	1	0,025	15
	52,6	67,4	69,8	1,1	47	73	1	0,025	14
	52	68,8	-	1,1	47	73	1	0,025	13
	56,1	73,8	77,7	1,5	49	81	1,5	0,03	13
	62,8	87	-	2	53	97	2	0,035	12

Fuente: Catálogo SKF

Anexo 22: Propiedades de acero AISI D2

Acero SISA D2
acero para trabajo en frío

ACEROS
SISA
desde 1911

SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción azul claro amarillo

CARACTERÍSTICAS

Acero al alto carbón y alto cromo. Dimensionalmente estable de excelente rendimiento al corte y resistencia al desgaste. Especialmente apto para temple al aire.

APLICACIONES TÍPICAS

Estampado y Formado	Partes de Desgaste
Matrices y Punzones	Dados de Laminación
Troquelado y Perforado	Insertos para Moldes
Rodillos	Cuchillas, Slitters y Cizallas
Troquelado Fino	Husillos y Puntas para Inyección de Plástico
Dados para Acuñado	Cuchillas para Molino de Plástico
Herramientas de Roscado	
Trituradoras de Llantas	
Herramientas para Rebabeo	

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
1.55	0.35	0.35	11.80	0.85	0.85

NORMAS

SAE / AISI	DIN	JIS
D2	1.2379	SKD 11

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES

Grado	Tenacidad	Resistencia al Desgaste
D2	60	60
S7	57	57
O1	60	60
A2	60	60
M2	62	62
SISA CR8	62	62
SISA MET CR8	62	62
SISA MET M4	62	62
SISA MET A11	60	60

SISA D2

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 30 psi x 10⁶ (207 GPa)
 Densidad 7695 kg/m³ (0.278 lb/in³)

Conductibilidad Térmica¹

	BTU/hr-ft ² -F	W/m ² -K	cal/cm-s-°C
a 95°C (200°F)	12.1	20.9	0.0500
a 205°C (400°F)	13.0	22.5	0.0538
a 315°C (600°F)	14.0	24.2	0.0579
a 425°C (800°F)	14.6	25.3	0.0604
a 540°C (1000°F)	14.8	25.6	0.0612

¹ Temple a 1010°C / 1 hr. - Revenido 205°C / 3 hr.

Coefficiente de Dilatación Térmica

°C	°F	mm/mm°C	in/in°F
20-95	70-200	10.4x10 ⁻⁶	5.8x10 ⁻⁶
20-205	70-400	11.3x10 ⁻⁶	6.3x10 ⁻⁶
20-315	70-600	11.8x10 ⁻⁶	6.6x10 ⁻⁶
20-425	70-800	12.2x10 ⁻⁶	6.8x10 ⁻⁶
20-540	70-1000	12.6x10 ⁻⁶	7.0x10 ⁻⁶

PROPIEDADES MECÁNICAS

	Temperatura ⁽¹⁾ de Temple		Dureza		Resistencia ⁽²⁾ al Impacto	Resistencia ⁽³⁾ al Desgaste
	°C	°F	HRC	ft.-lb.	(J)	Adhesivo
D2	1010	1850	60	21	(28)	3-4
S7	955	1750	57	125	(165)	1
A2	955	1750	60	40	(53)	2-3
SISA-CR8	1065	1950	62	30	(40)	5-6
SISA-MET CR8	1065	1950	62	70	(95)	5-6
M2	1120	2050	62	20	(27)	8-10
SISA-MET M4	1120	2050	62	32	(43)	20-25
SISA-MET A11	1175	2150	63	14	(19)	90

(1) Tratamiento Térmico: Templado según se indica con revenido a la dureza.
 (2) Prueba de Impacto Entalla Charpy C.
 (3) Valores relativos.
 (el número mayor representa resistencia al desgaste superior).

CAMBIO DIMENSIONAL DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

Temperatura de Temple		Temperatura de Revenido		Dureza	Cambio Longitudinal en Medida
°C	°F	°C	°F	HRC	%
1010	1850	205	400	61	+0.025
1010	1850	315	600	59	-0.010
1010	1850	425	800	58	-0.017
1010	1850	540	1000	55	-0.008

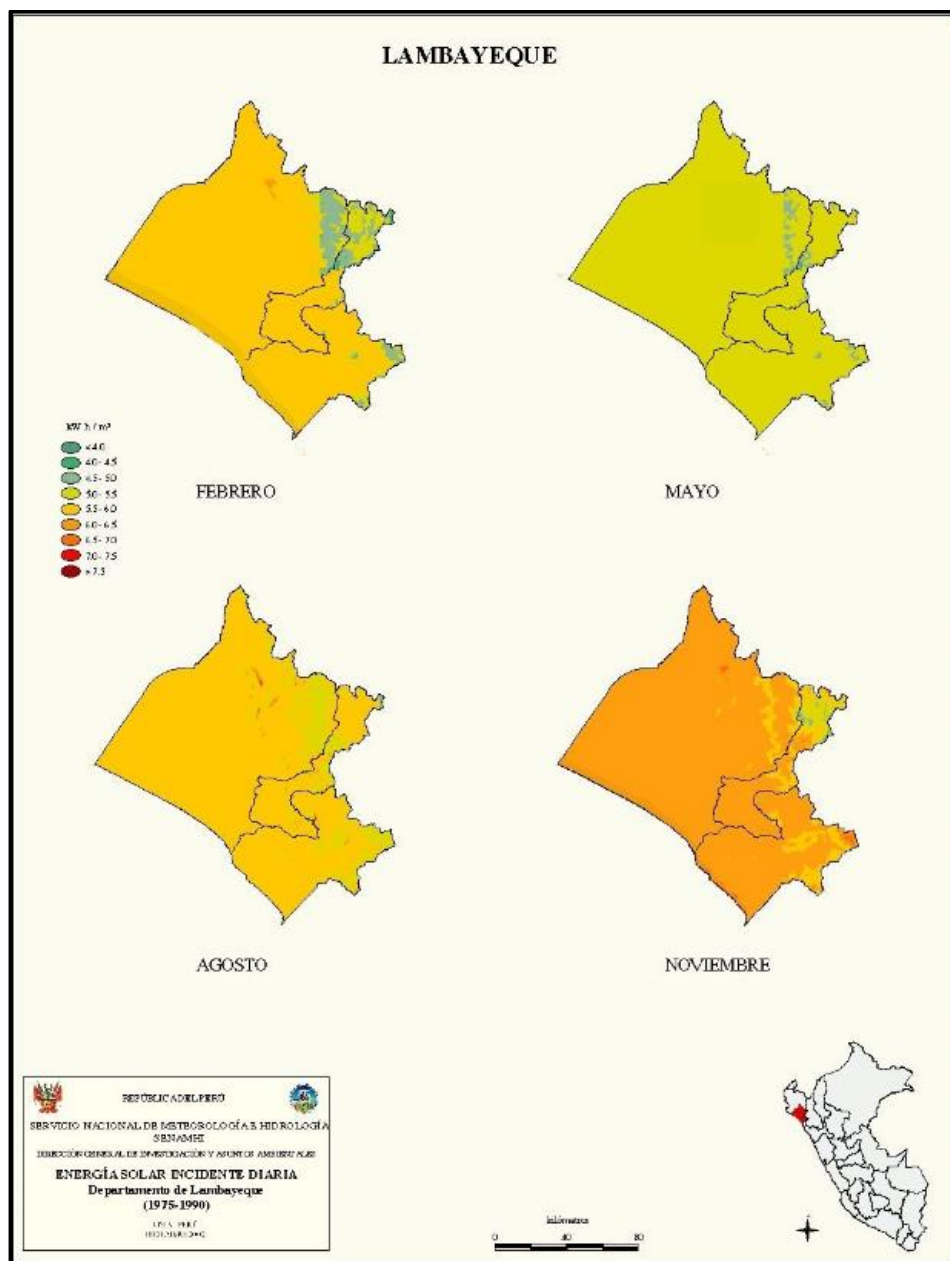
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El Acero SISA D2 puede ser nitrurado, recubierto con TiN (nitruro de titanio) o cromo duro. Cuando se utilizan recubrimientos superficiales, templar a rango de temperaturas altas de austenización (1070°C) y revenir de acuerdo a la gráfica de revenido (>510°C).

Note: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Las aplicaciones indicadas son típicas. No se debe intentar su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de funcionalidad.
 Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica y aplicaciones, acudir al departamento Técnico de SISA.

Fuente: <http://www.sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%20D2.pdf>

Anexo 23: Energía solar incidente diaria de Lambayeque



Fuente: Senamhi

Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30°C.

Anexo 24: Calibre de conductores eléctricos

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
		Cobre			Aluminio		
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

Fuente: <https://es.slideshare.net/YilbertMartinez/seleccin-de-calibre-en-cables-para-construccion>

Empresa: MSA Group.

Precio: 3 200 USD

Anexo 25: Maquinas del mercado



Molino 5HP



Detalles del Producto

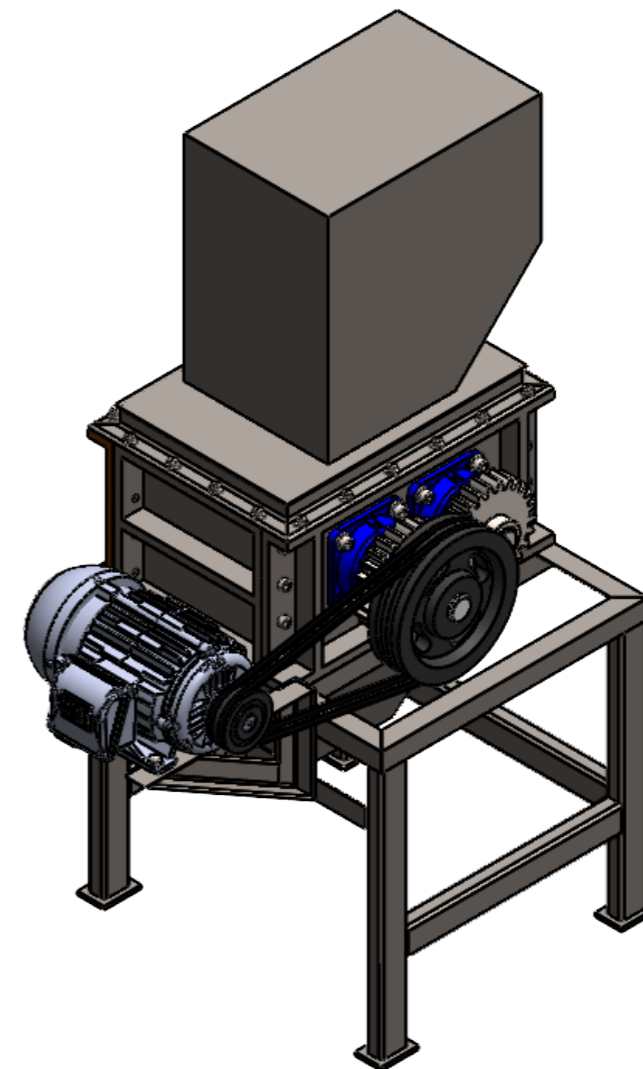
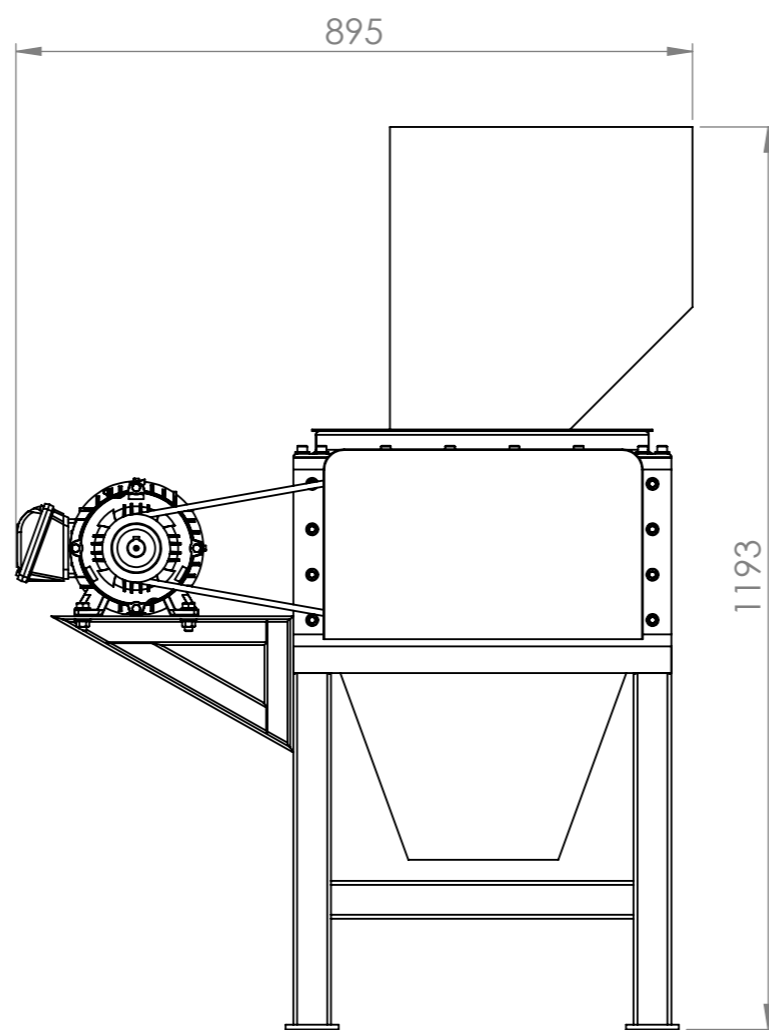
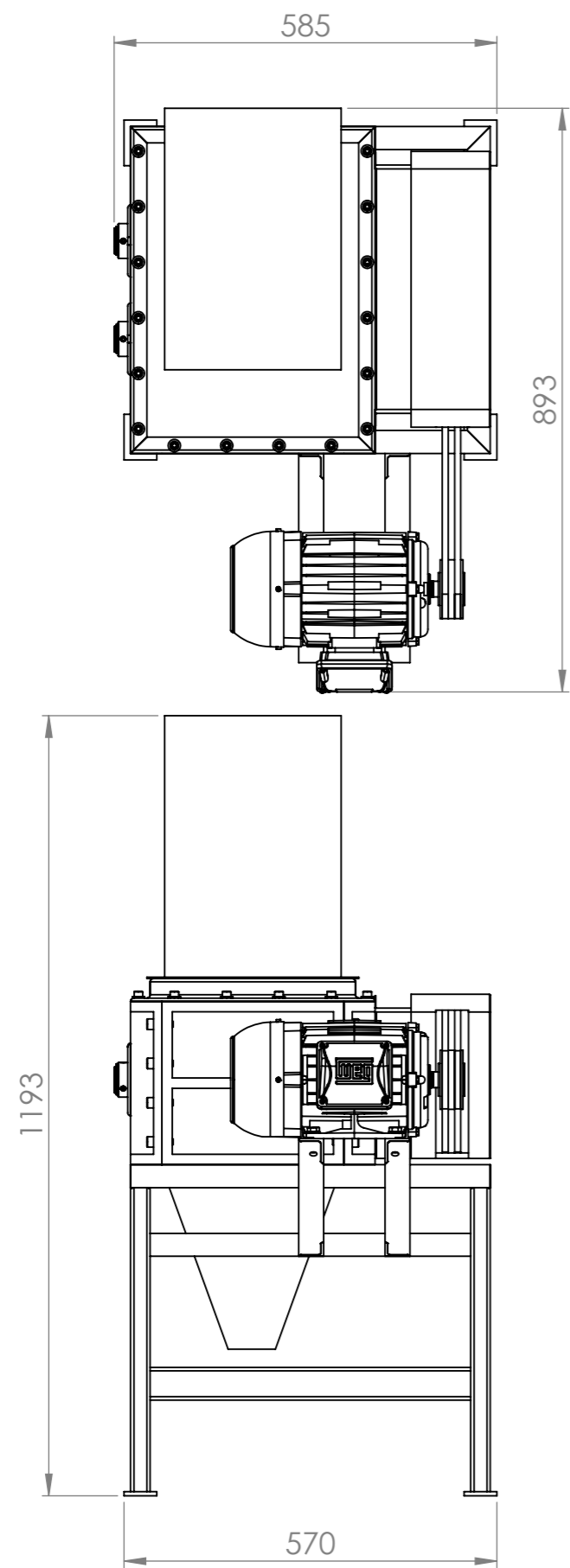
- Potencia: HP
- Cámara de Molienda: 27 cm x 21 cm
- Cuchillas: Rotor 3 - Caja 2
- Criba: 1/2" de Diámetro
- Rendimiento: 50 kg/h*
- Voltaje: 220 V
- Dispositivo para Moller Botellas: Sí
- Boca de Alimentación: 25 cm x 25 cm
- Cortinas Anti-Proyecciones: Sí
- Paro Automático de Cuchillas: Opcional
- Protección Térmica del Rotor Eléctrico: Opcional
- Bandas: 2
- Tipo de Corte: Tijera
- Dimensiones:
1.60 m (alto) x 0.75 m (fondo) x 0.45 m (frente)

Producción aproximada en Kilos

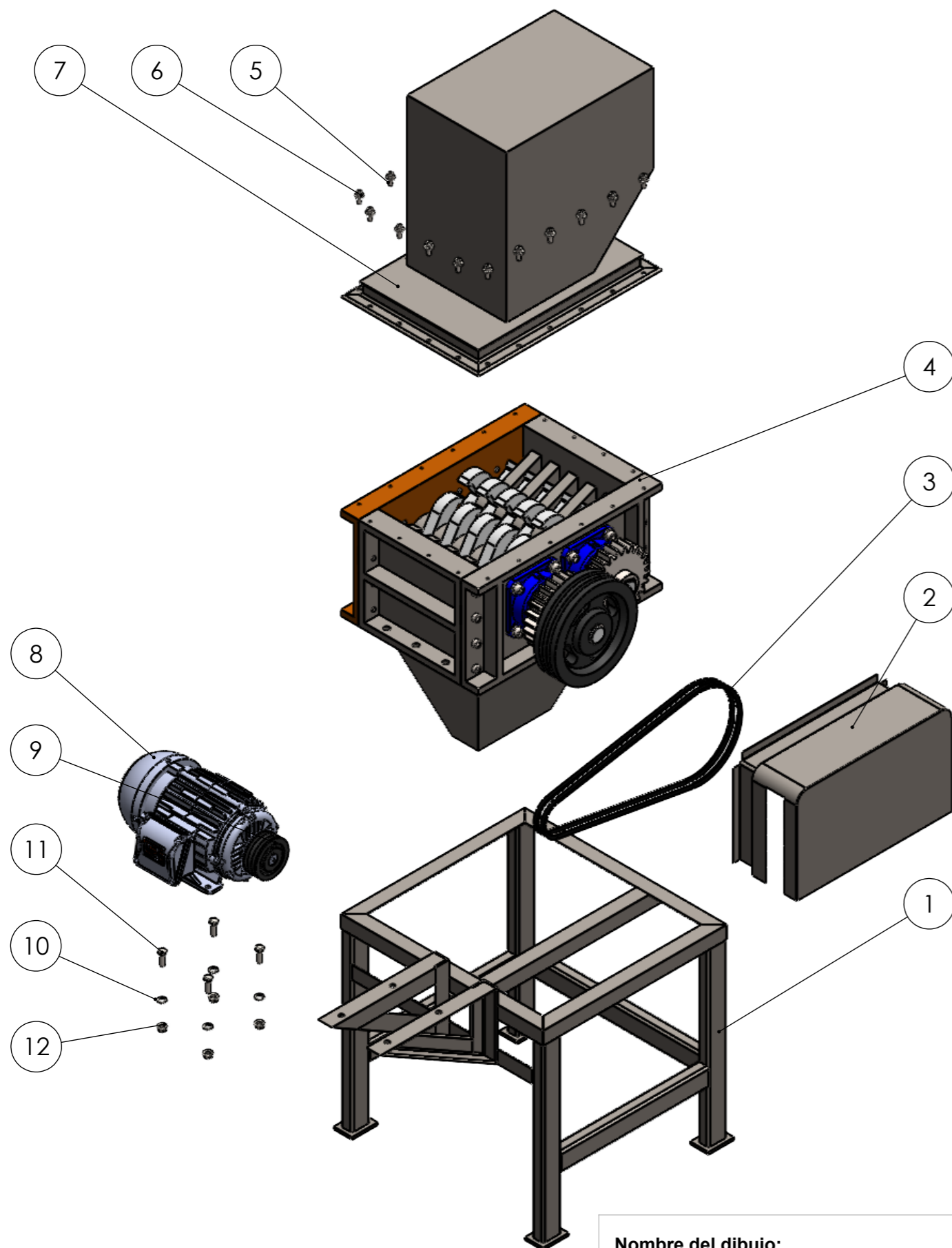


	Kg. Aprox.	Kg / 1 Hr	Turno 8 hrs.	Semana	Mes
Molino 5 H.P.	20 - 40 Kg	30	240	1,200	4,800
Molino 10 H.P.	60 - 100 Kg	80	640	3,200	12,800
Molino 20 H.P.	200 - 300 Kg	250	2,000	10,000	40,000
Trituradora 30 H.P.	500 - 2000 Kg	1200	9,600	48,000	192,000

Anexo 26: Planos



Nombre del dibujo: PLANO DE ENSAMBLE		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano n°: P-01
				Hoja n°: 01
ESCALA 1:10	Un. dim. mm 	USAT EIME	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Fecha: 13/10/2020
		Material: VARIOS		Masa: 210 kg



N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	ESTRUCTURA DE MÁQUINA
2	1	GUARDA PROTECTORA
3	2	FAJA TIPO V 3V 9N
4	1	SISTEMA DE TRITURACIÓN
5	20	PERNO M8x1.25x20 AISI B18.3.1
6	20	B18.22M - ARANDELA PLANA, 8 mm
7	1	TOLVA DE INGRESO
8	1	MOTOR TRIFASICO L90L 3HP
9	1	POLEA CONDUCTORA
10	4	ARANDELA PLANA ESTRECHA 10 mm
11	4	PERNO CABEZA HEXAGONAL M10x1.5x30 NC - AISI B18.2.3.2M
12	4	TUERCA DE BRIDA HEX. M10 x 1.5 - 15 WAF --N

Nombre del dibujo:
PLANO DE DESPIECE

Título: **MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET**

Plano n°: P-02

Hoja n°: 02

ESCALA
1:10

Un. dim. mm



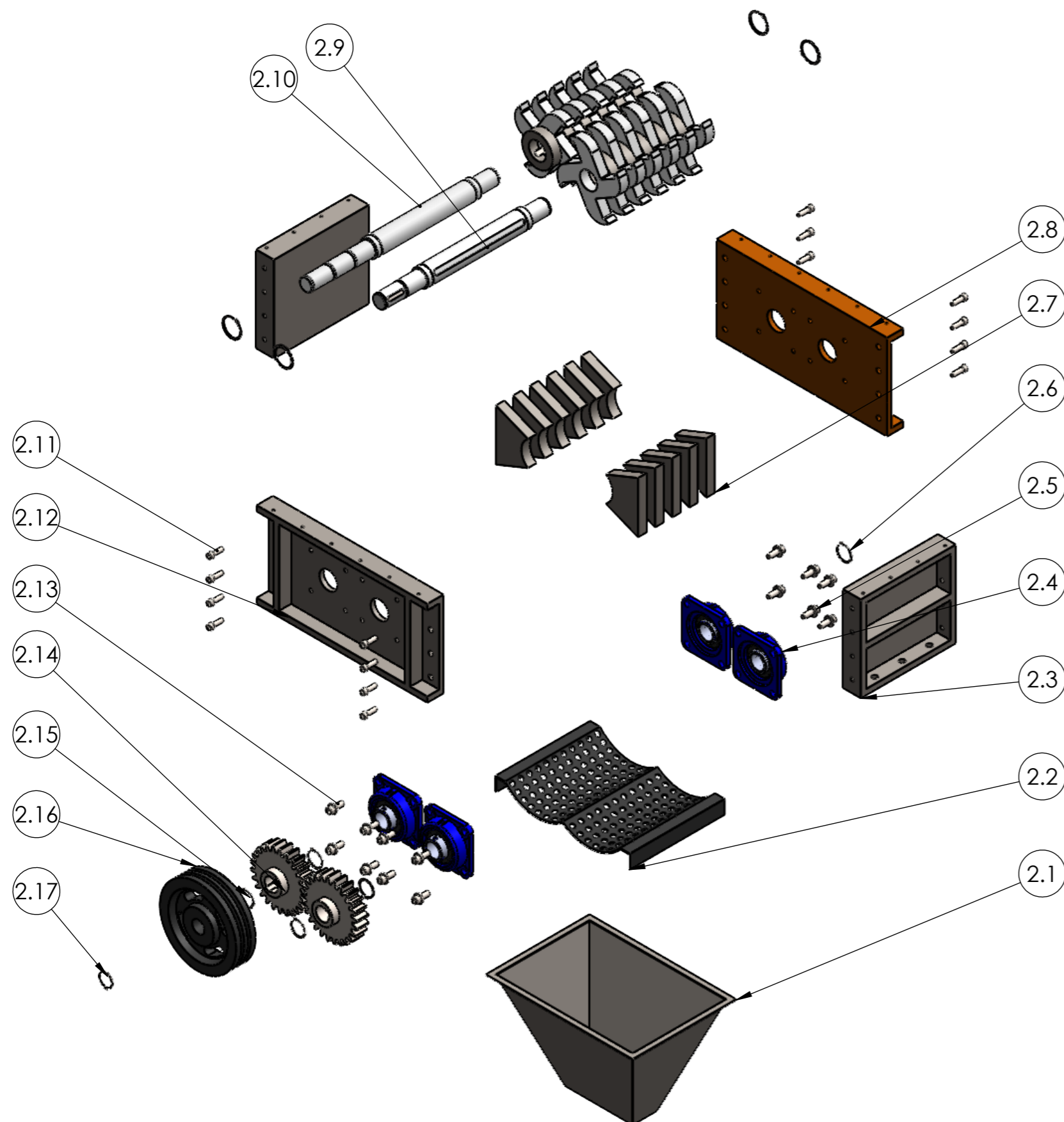
**USAT
EIME**

Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO

Fecha: 13/10/2020

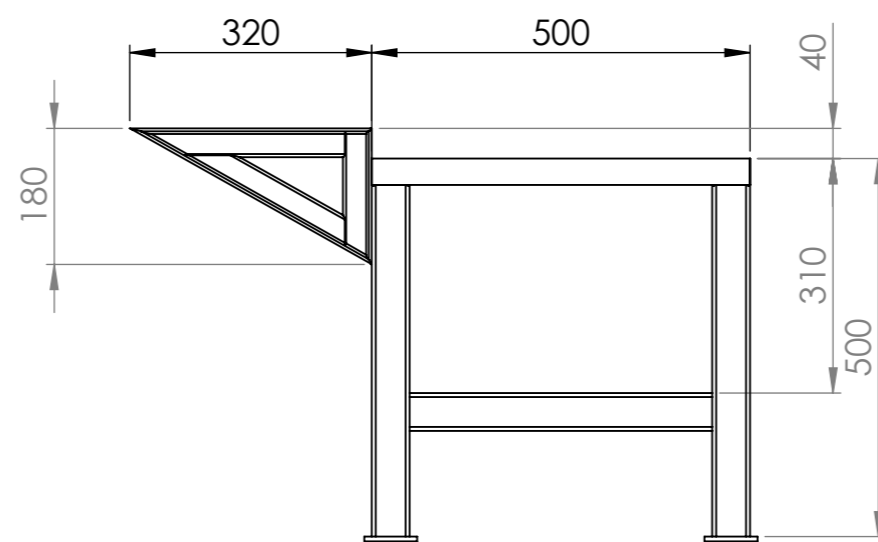
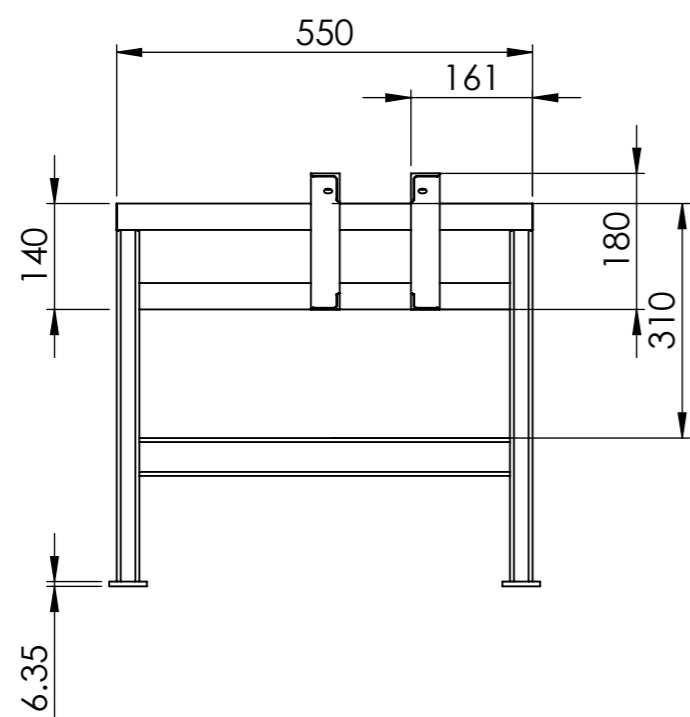
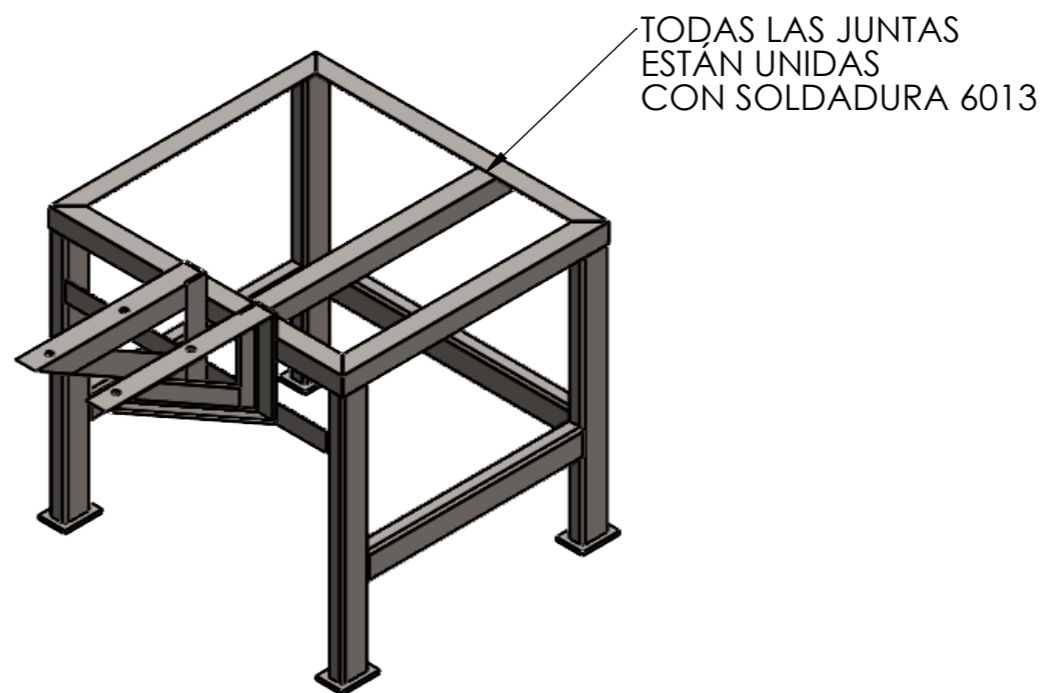
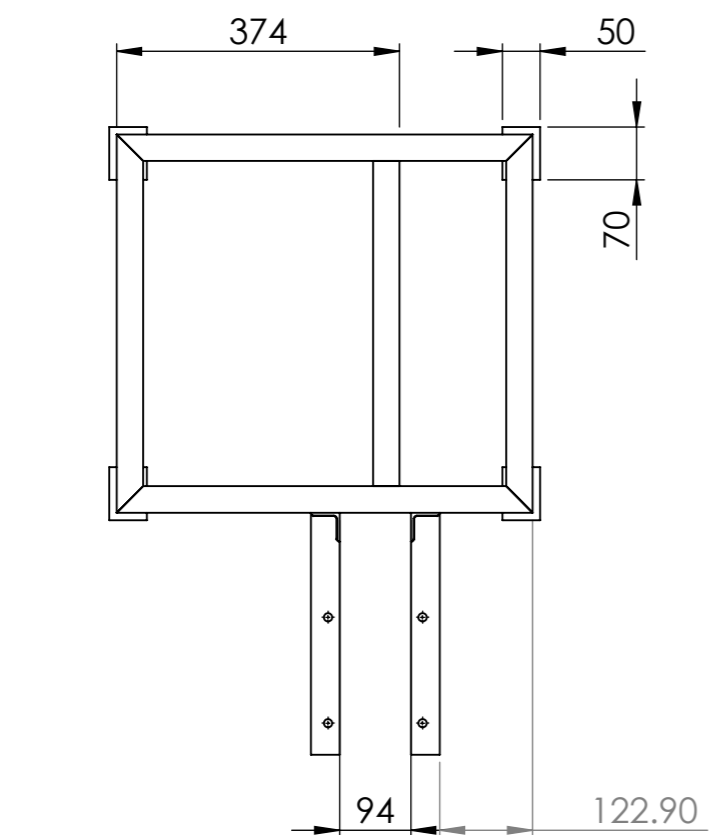
Material: VARIOS

Masa: 210 kg

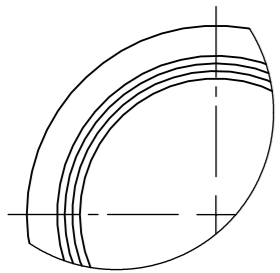


N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
2.1	1	TOLVA DE DESCARGUE
2.2	1	CRIBA
2.3	2	TAPA LATERAL
2.4	4	CHUMACERA DE PARED
2.5	16	ARANDELA PLANA ESTRECHA 12 mm
2.6	4	ANILLO DE SEGURIDAD 40 X 1.75
2.7	11	SEPARADOR LATERAL
2.8	1	TAPA SOPORTE DE CHUMACERA
2.9	1	EJE CONDUcido
2.10	1	EJE MOTRIZ
2.11	16	TORNILLO CAB. HEXAGONAL M 10 x 1.5 x 30
2.12	1	TAPA SOPORTE DE CHUMACERA
2.13	16	TORNILLO CAB. HEXAGONAL M12 x 1.75 x 30
2.14	2	ENGRANAJE
2.15	2	ANILLO DE SEGURIDAD 38 x 1.75
2.16	1	POLEA CONDUcida
2.17	1	ANILLO DE SEGURIDAD 36 x 1.75

Nombre del dibujo: SISTEMA DE TRITURACIÓN		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano n°: P-03
ESCALA 1:75		Un. dim. mm 	USAT EIME	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO
				Hoja n°: 03
				Fecha: 13/10/2020
		Material: VARIOS		Masa:

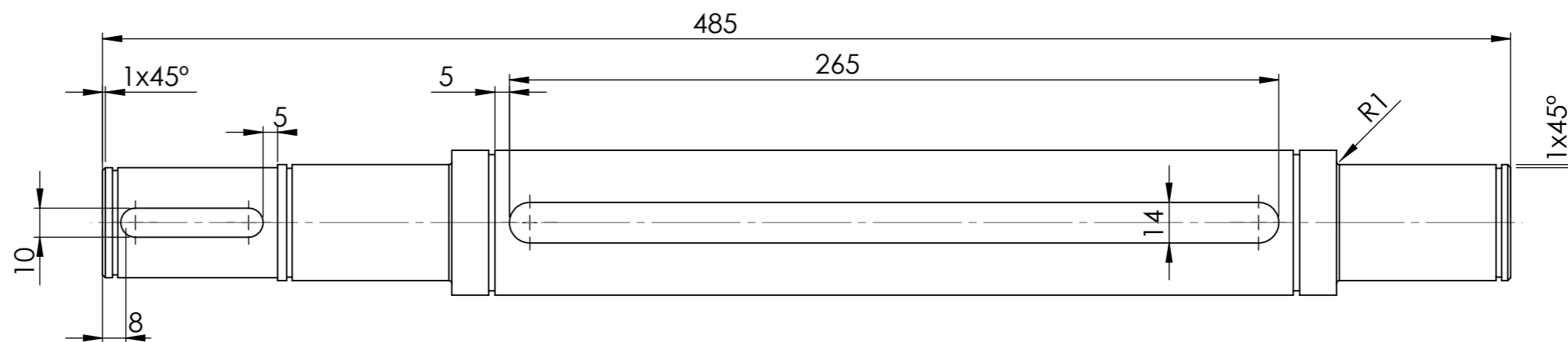
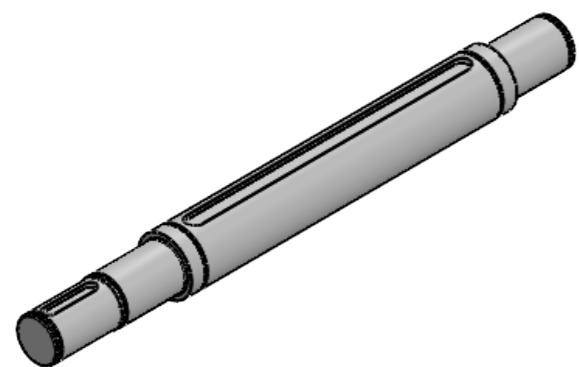
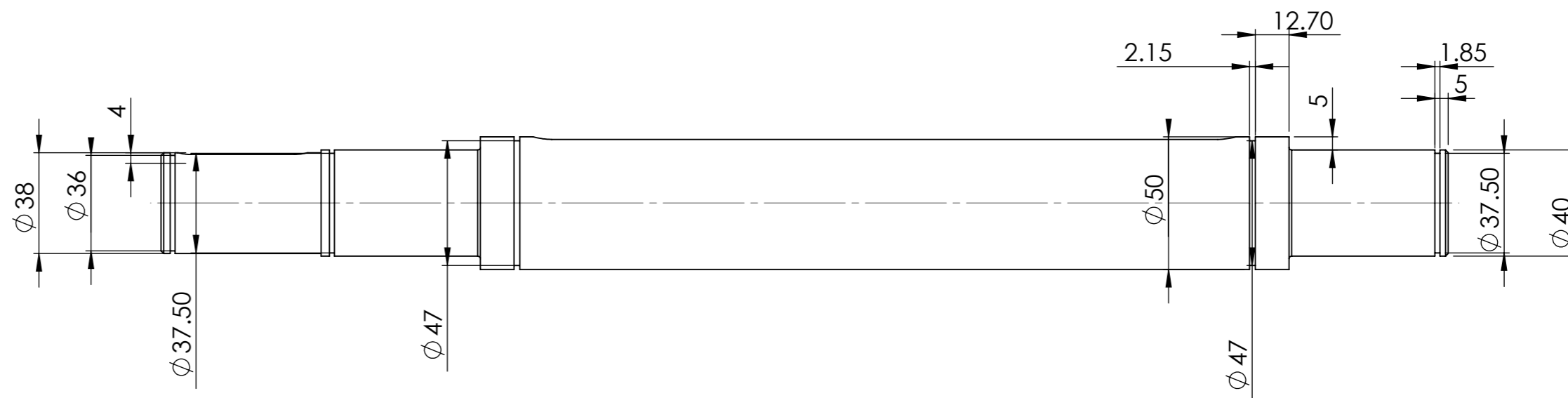
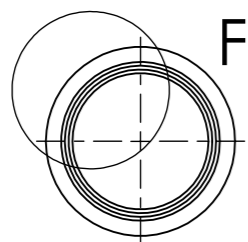


Nombre del dibujo: ESTRUCTURA DE MÁQUINA		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano n°: P-04
ESCALA 1:75		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja n°: 04
			USAT EIME	Fecha: 13/10/2020
			Material: ASTM A36	Masa: 21 kg

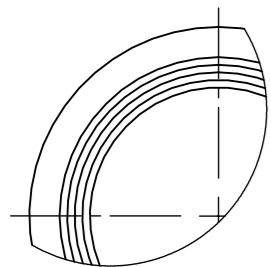


DETALLE F

ESCALA 1:1

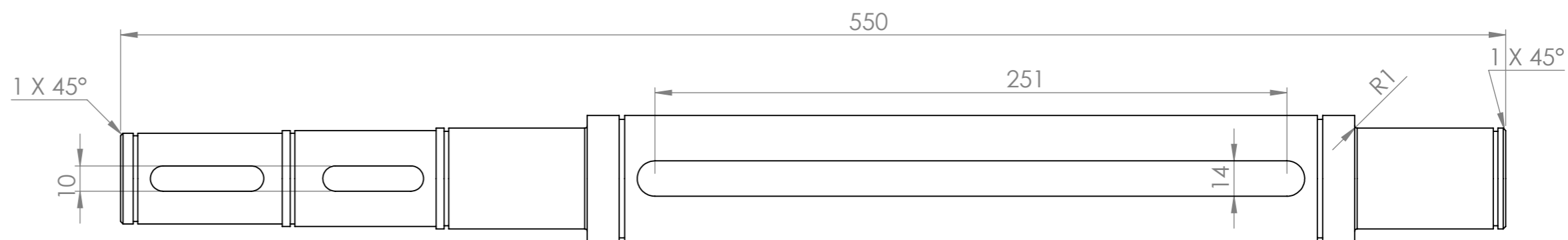
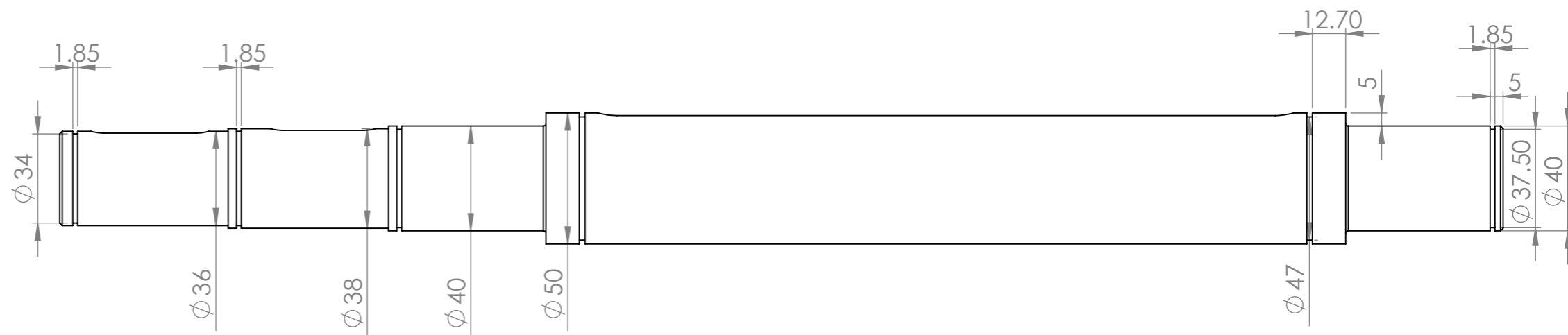
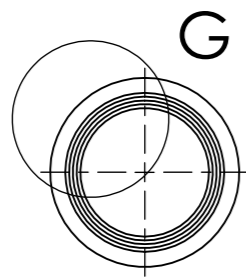


Nombre del dibujo: EJE CONDUcido		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano n°: P-05
ESCALA 1:75		Un. dim. mm 	USAT EIME	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO
			Material: AISI 1020	Hoja n°: 05
				Fecha: 13/10/2020
				Masa: 4 kg

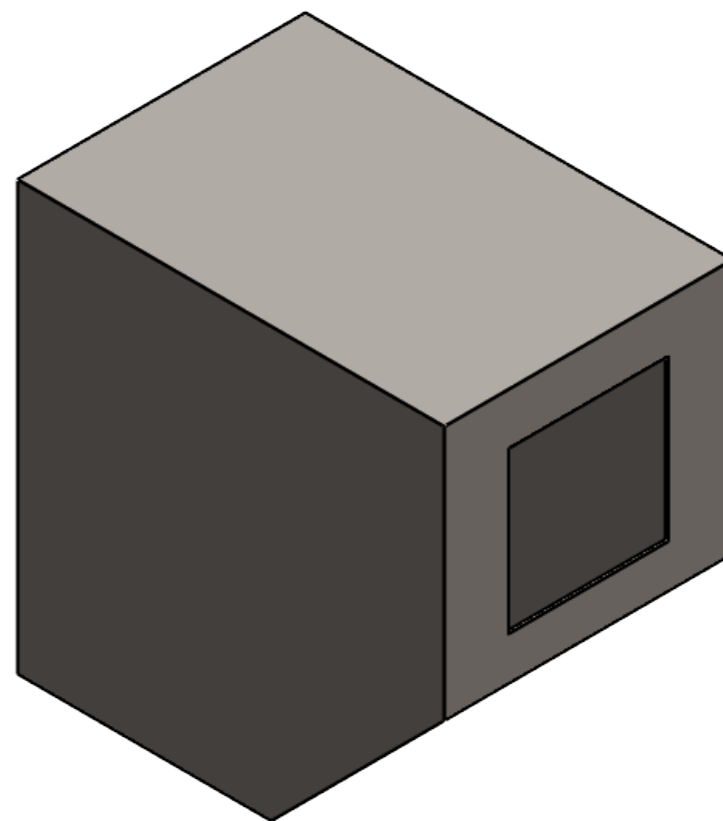
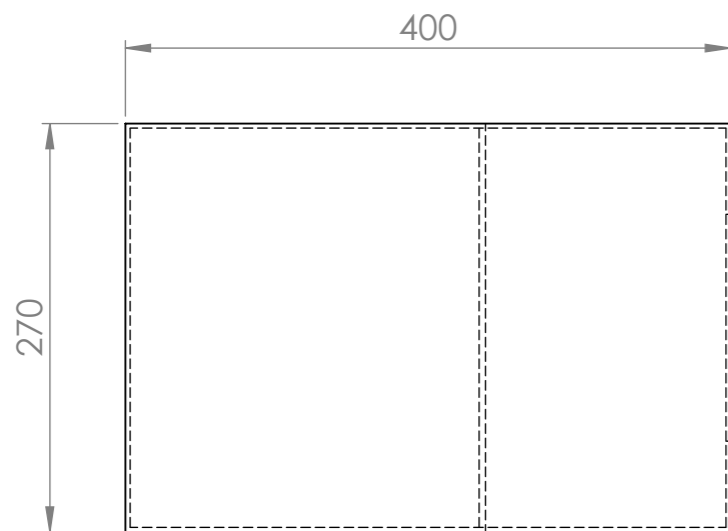


DETALLE G

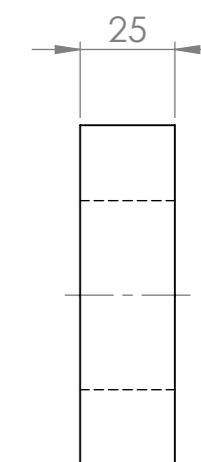
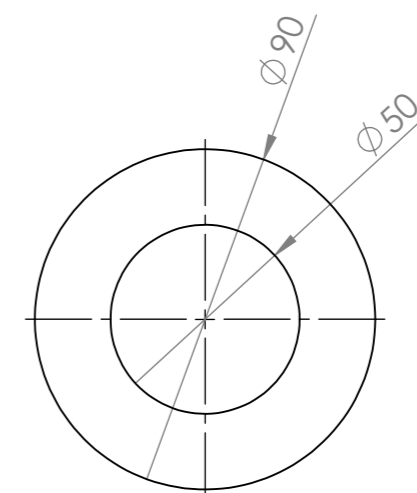
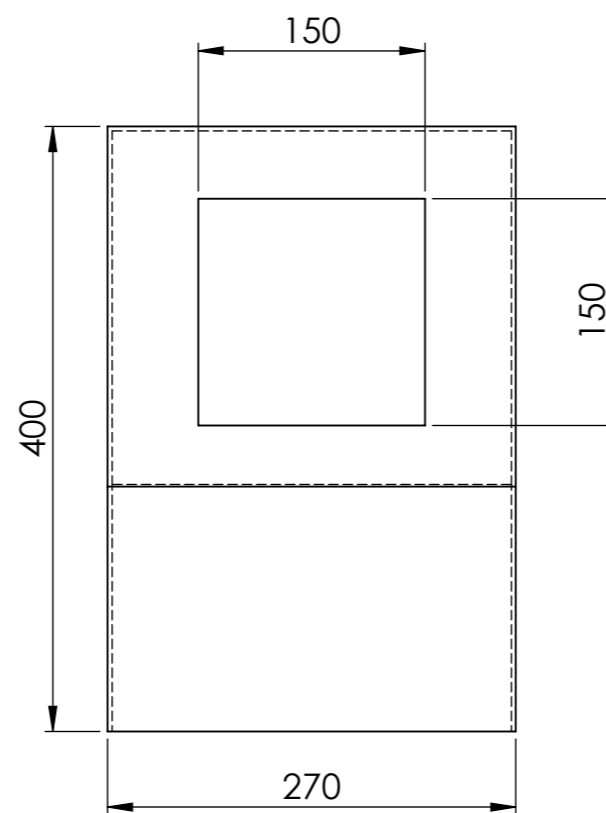
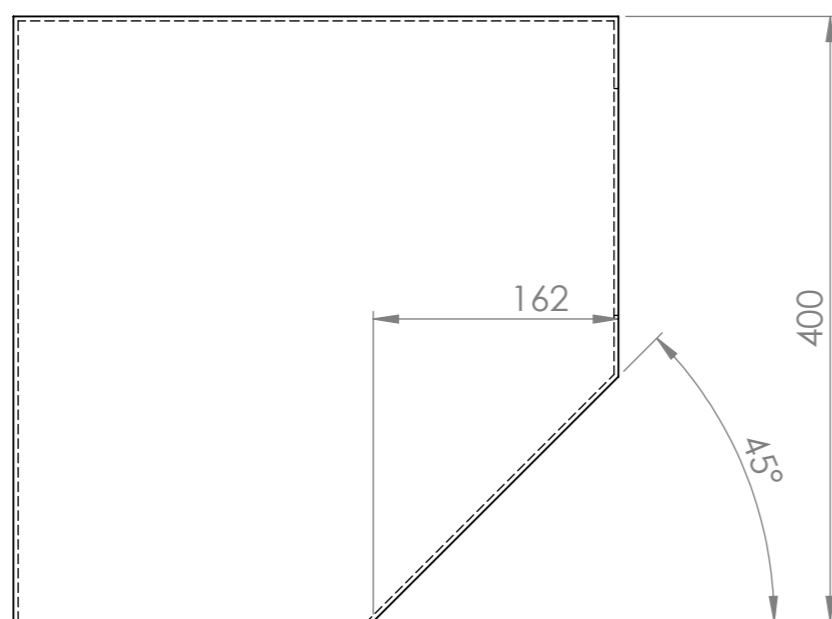
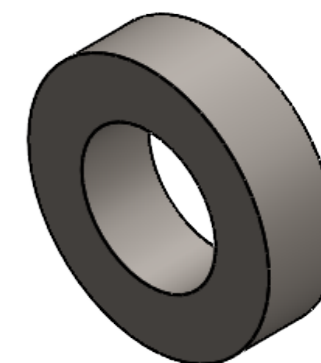
ESCALA 1 : 1



Nombre del dibujo: EJE MOTRIZ		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-06
ESCALA 1:75		Un. dim. mm 	USAT EIME	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO
				Material: AISI 1020
				Fecha: 13/10/2020
				Masa: 7 kg

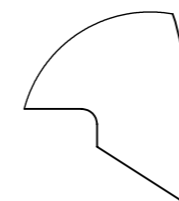
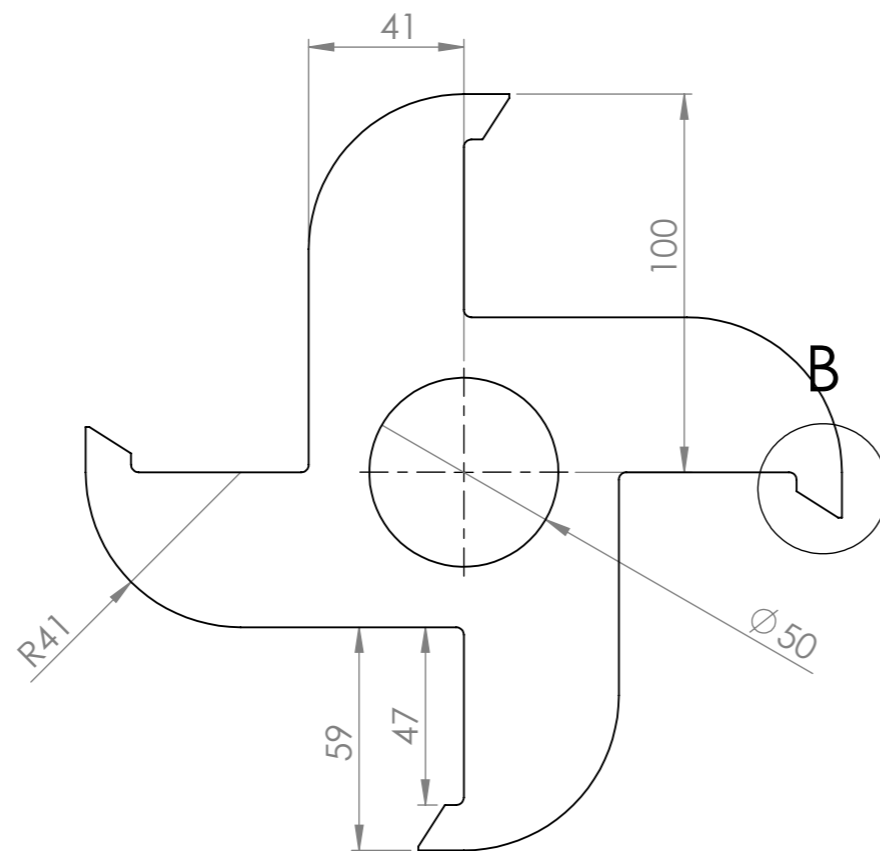
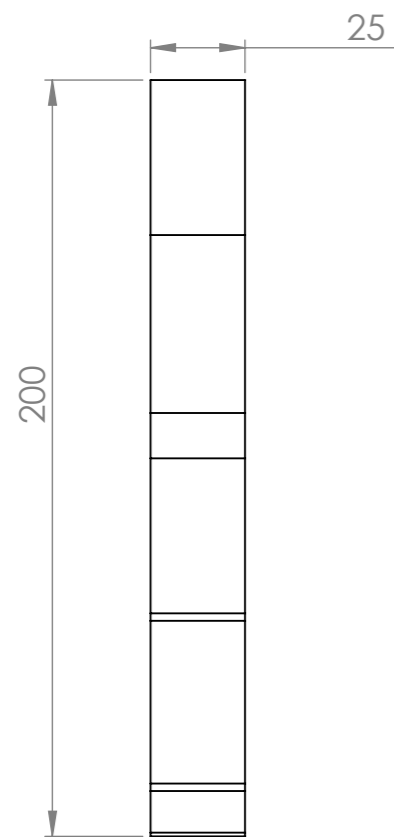


ENTRADA DE BOTELLAS
LIMITADA DE 150x150 mm

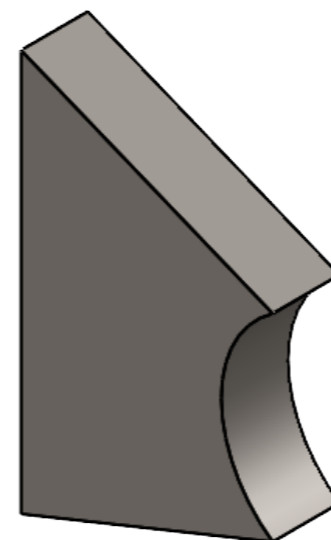
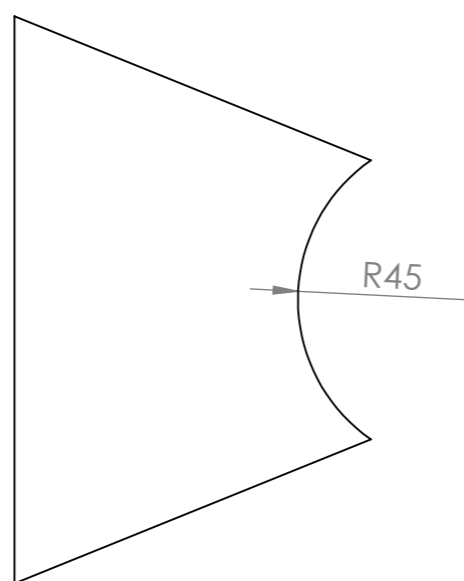
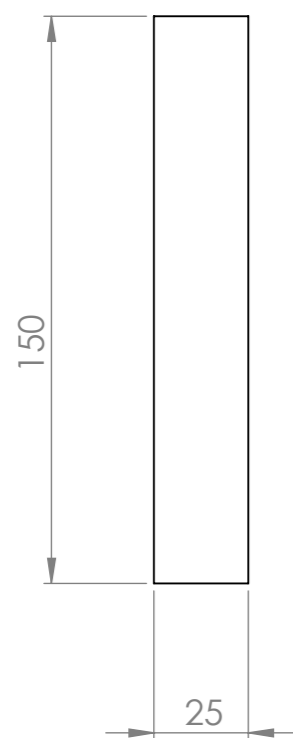
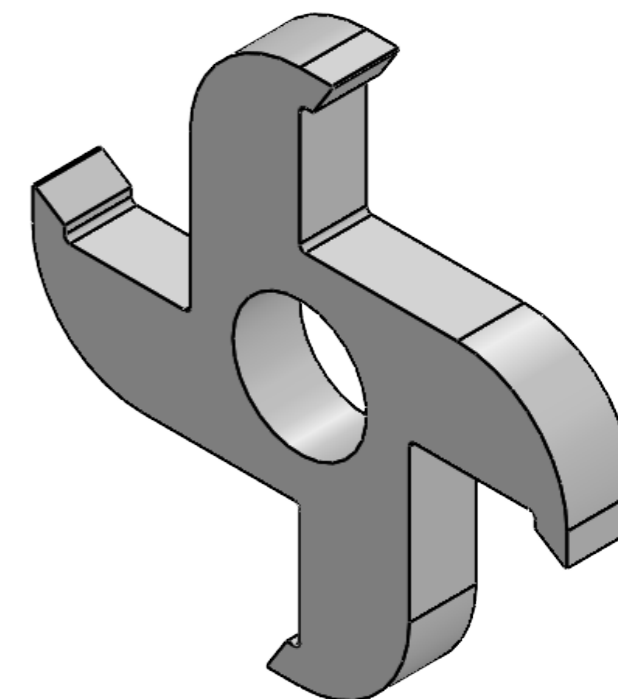


FABRICACIÓN DE LAMINA
DE 2 mm DE ESPESOR

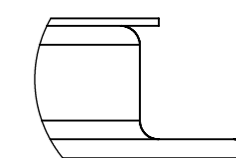
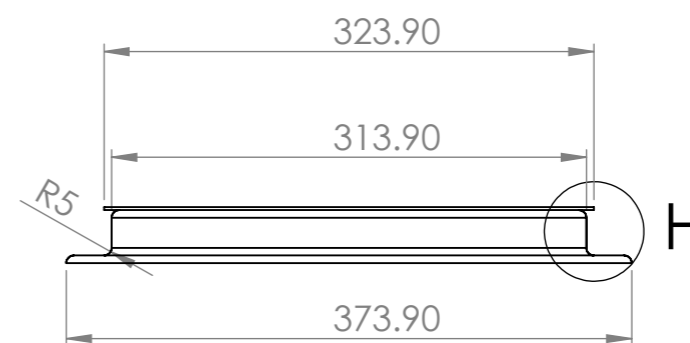
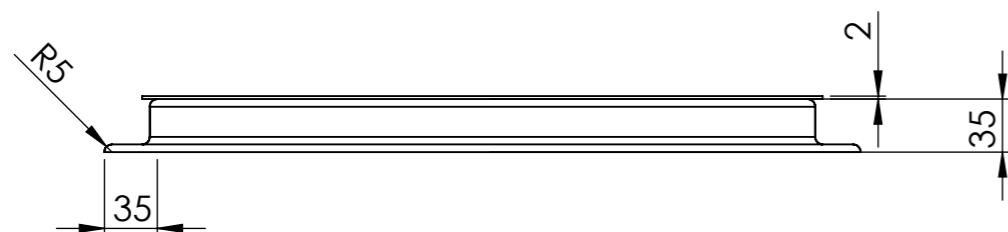
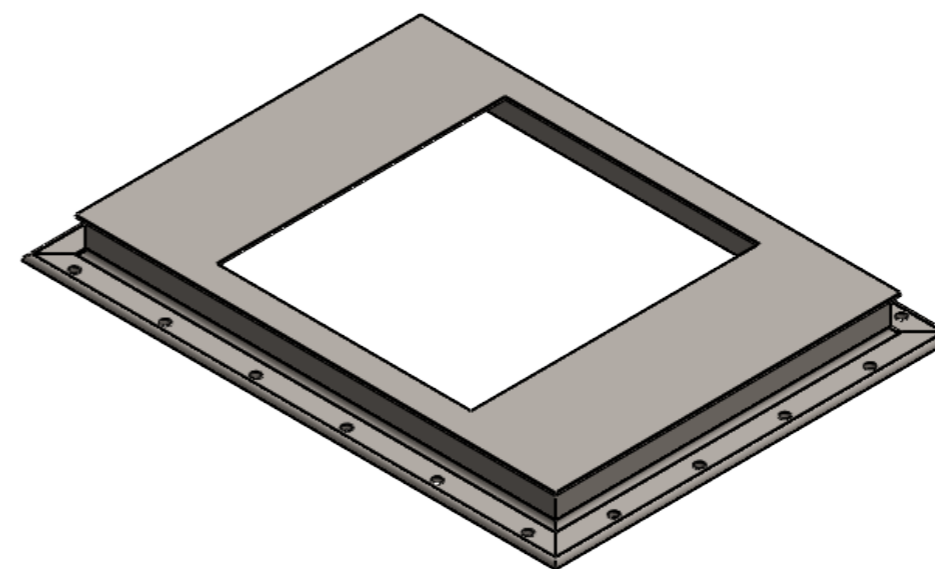
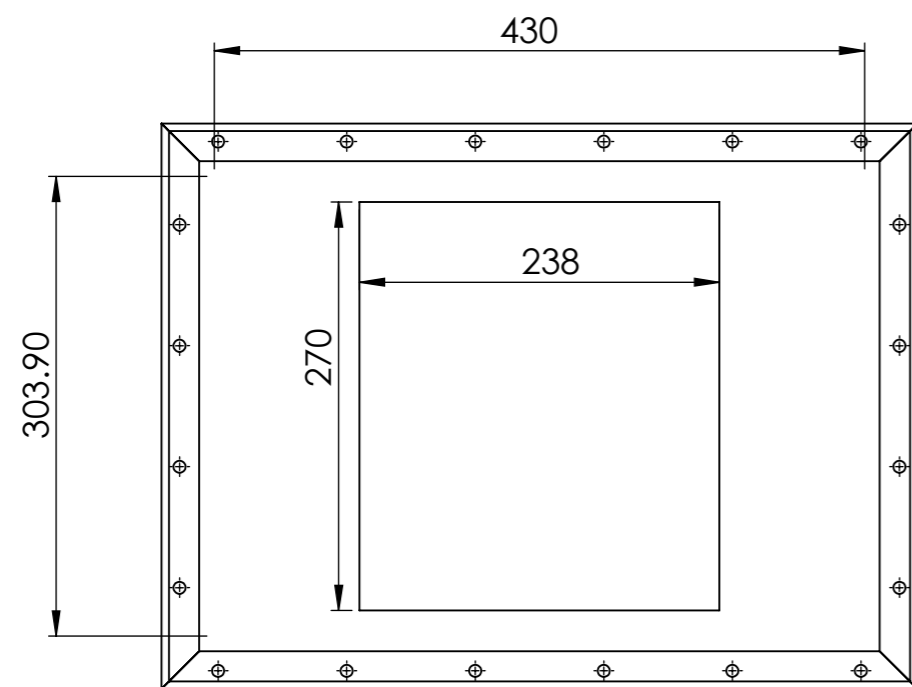
Nombre del dibujo: TOLVA DE INGRESO Y SEPARADOR DE CUCHILLAS		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-07
ESCALA 1:10		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja nº: 07
			Material: ASTM A36	Fecha: 13/10/2020
				Masa:



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

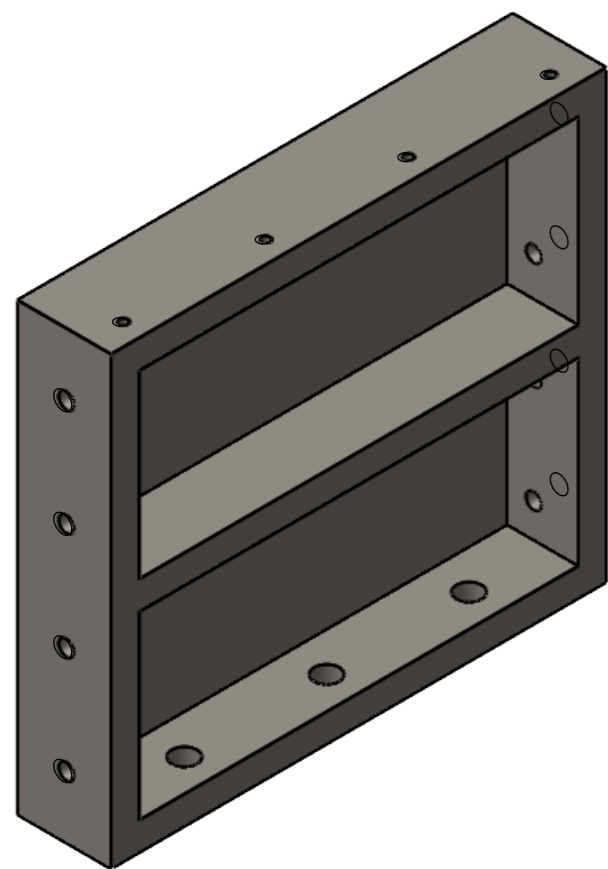
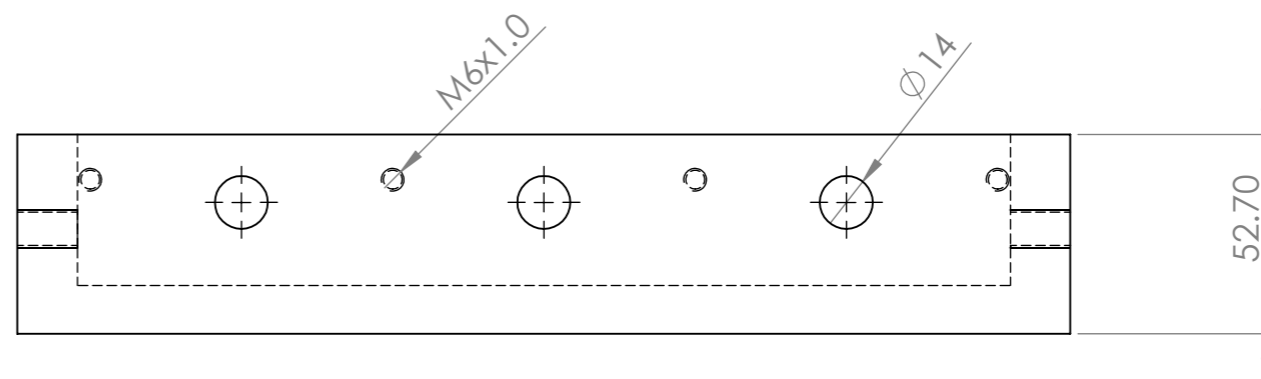
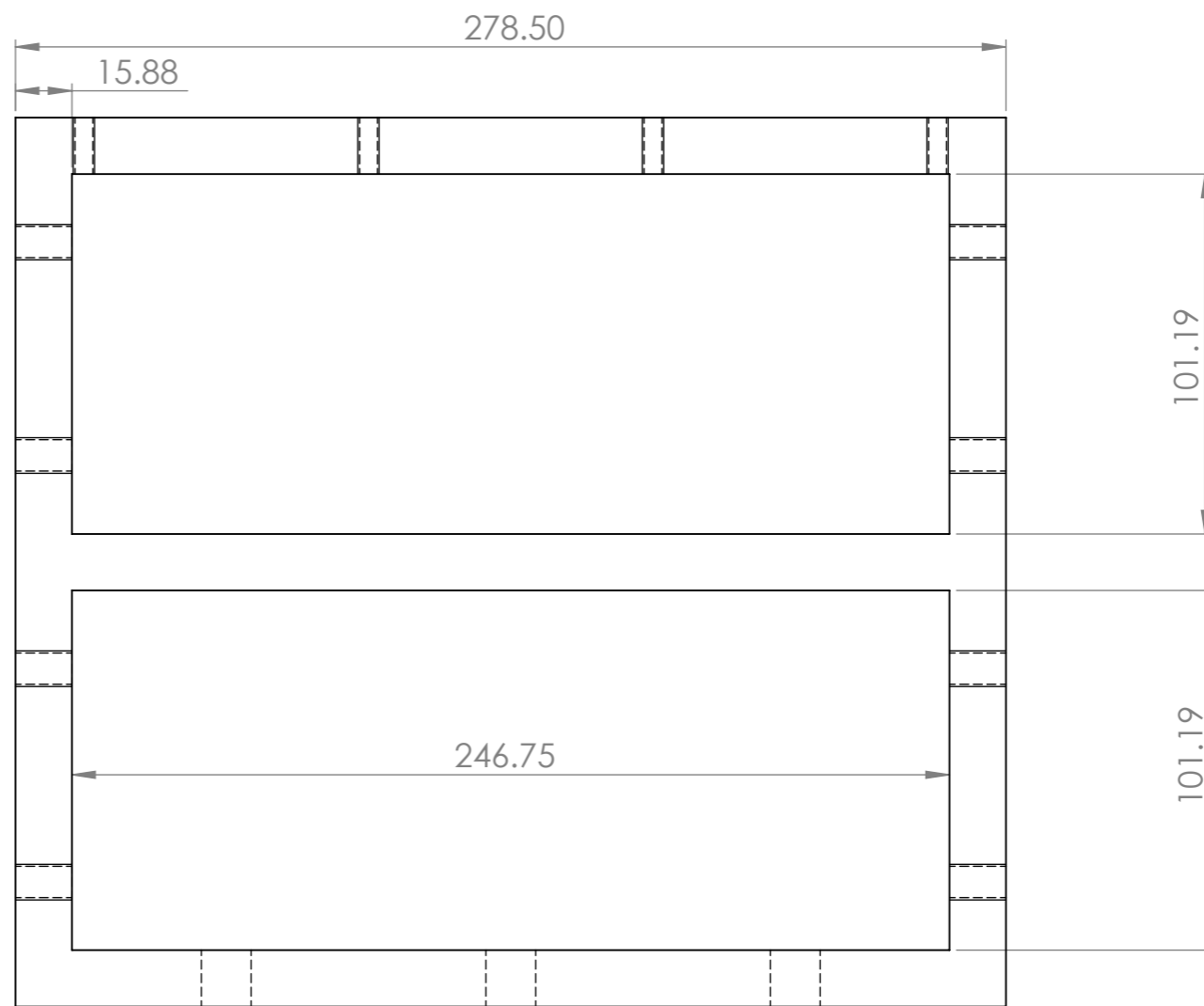
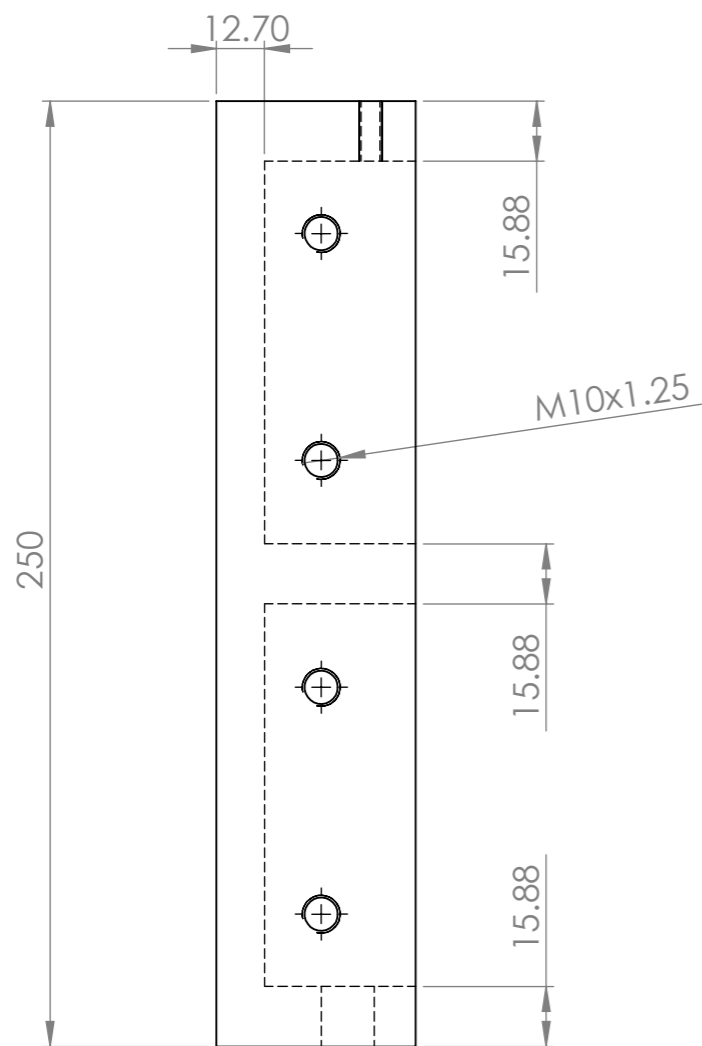


Nombre del dibujo: CUCHILLA Y SEPARADOR LATERAL		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-08
ESCALA 1:10		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja nº: 08
			USAT EIME	Fecha: 13/10/2020
			Material: AISI 1020	Masa:

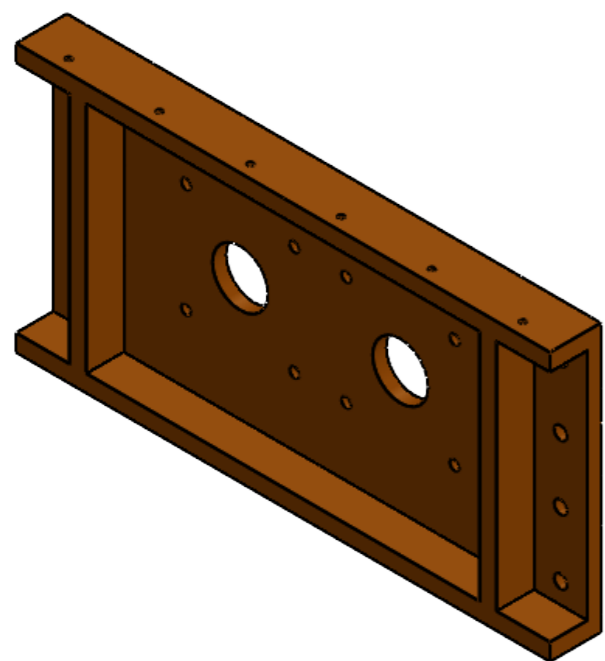
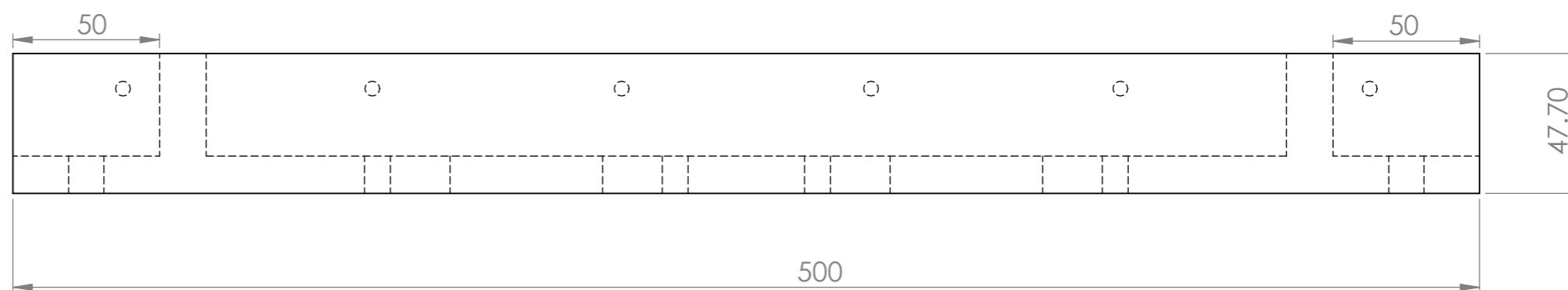
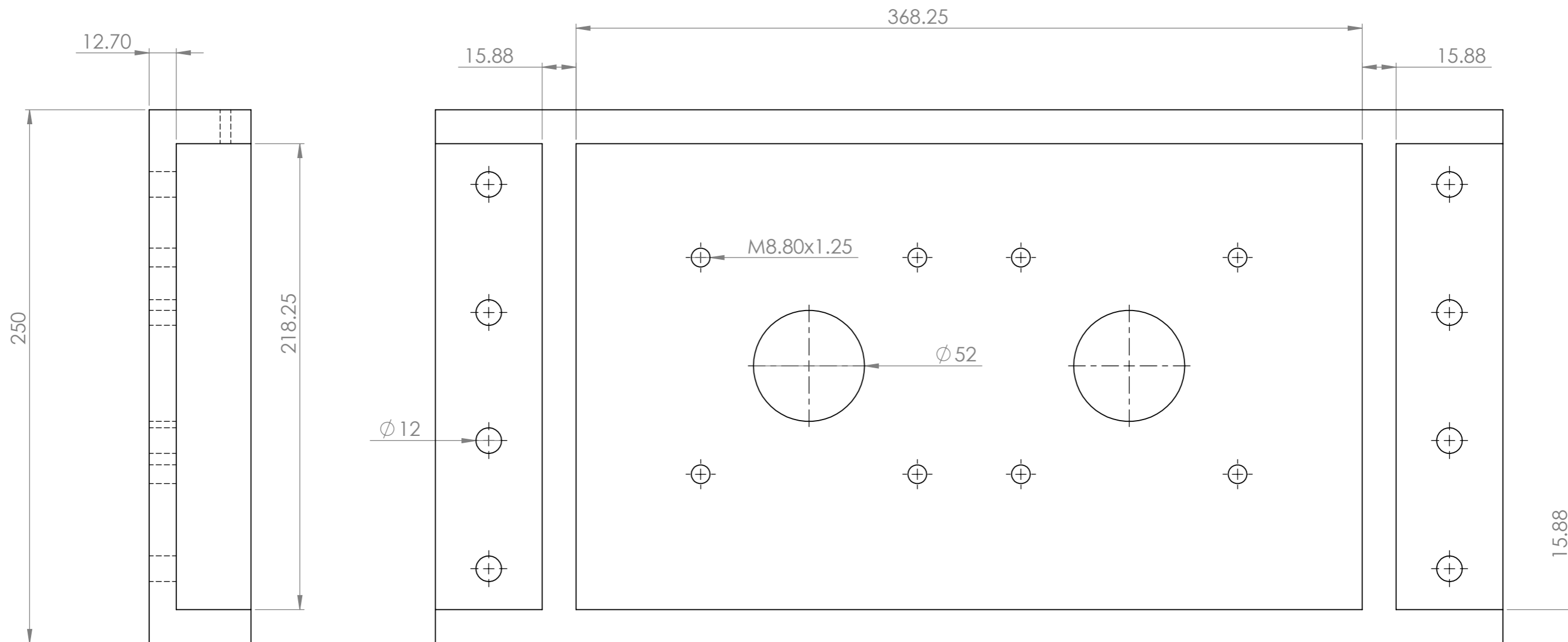


DETALLE H
ESCALA 1 : 2

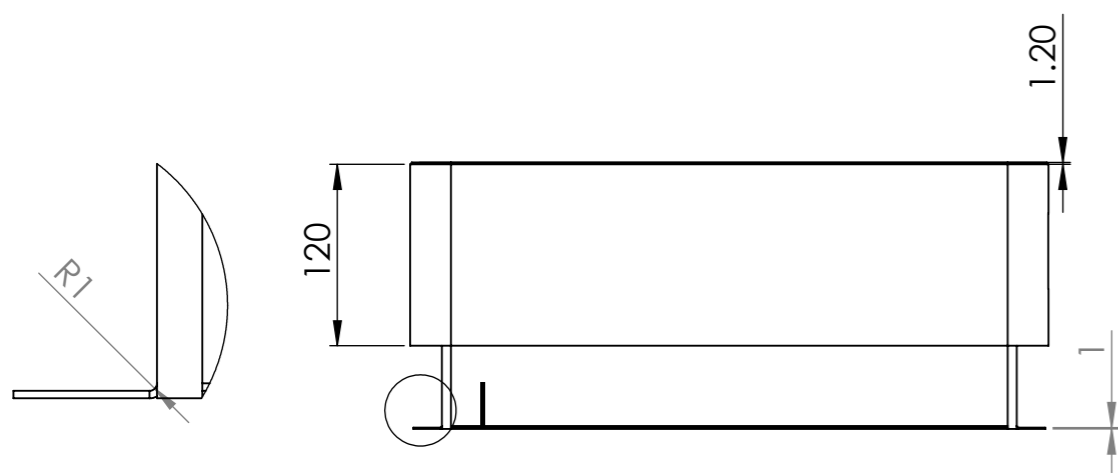
Nombre del dibujo: BASE TOLVA DE INGRSO		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-09
ESCALA 1:10		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja nº: 09
			USAT EIME	Fecha: 13/10/2020
			Material: ASTM A36	Masa: 5 kg



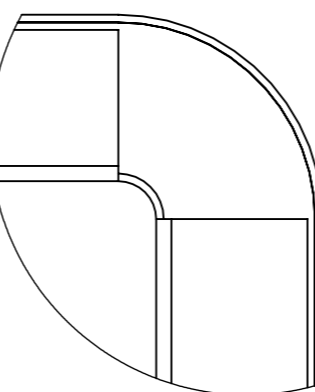
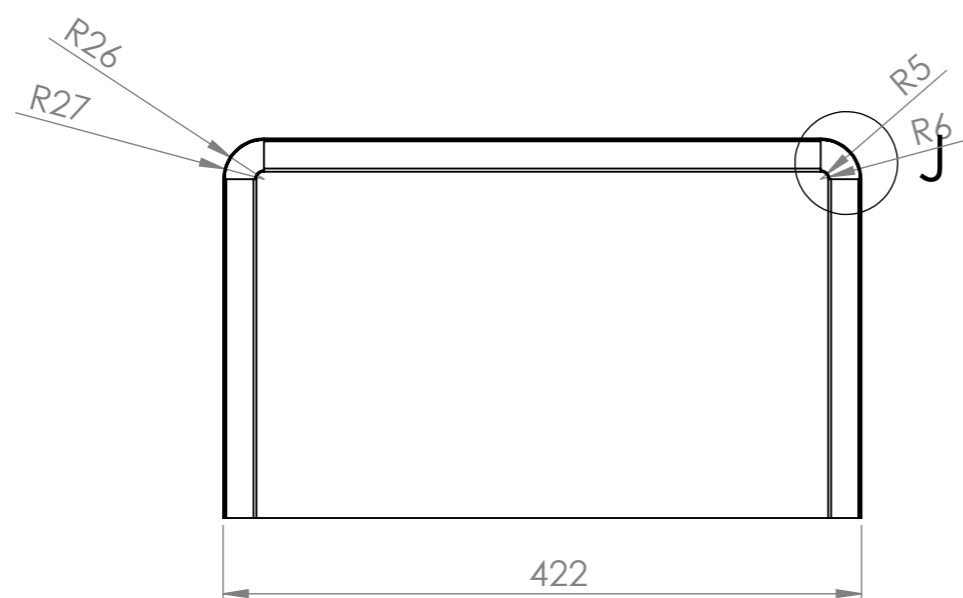
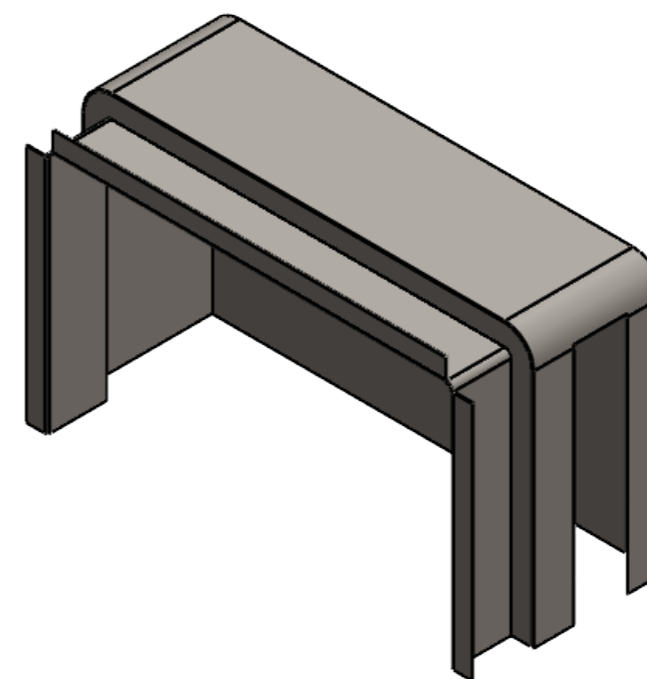
Nombre del dibujo: TAPA LATERAL		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-10
ESCALA 1:10		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja nº: 10
		USAT EIME	Material: ASTM A36	Fecha: 13/10/2020
				Masa: 13 kg



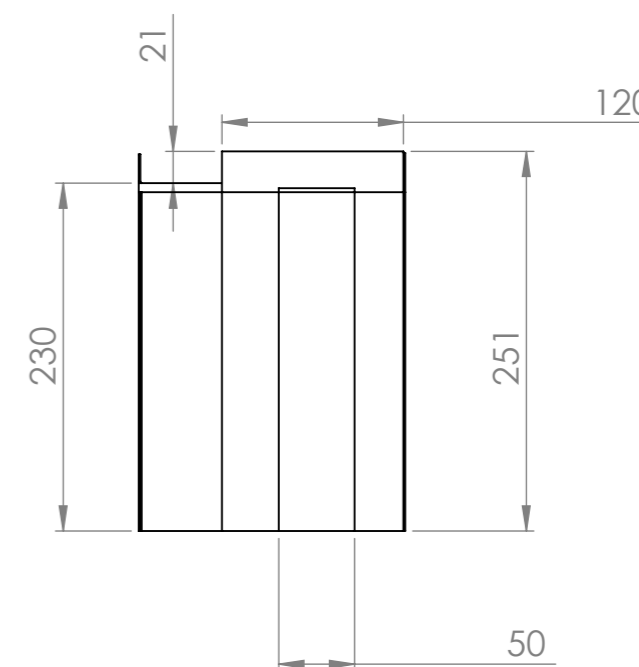
Nombre del dibujo:		TAPA SOPORTE DE CHUMACERA		Título:		MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-11	
ESCALA		Un. dim. mm		USAT EIME		Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO		Hoja nº: 11	
1:2						Material: ASTM A36		Fecha: 13/10/2020	
						Masa: 18 kg			



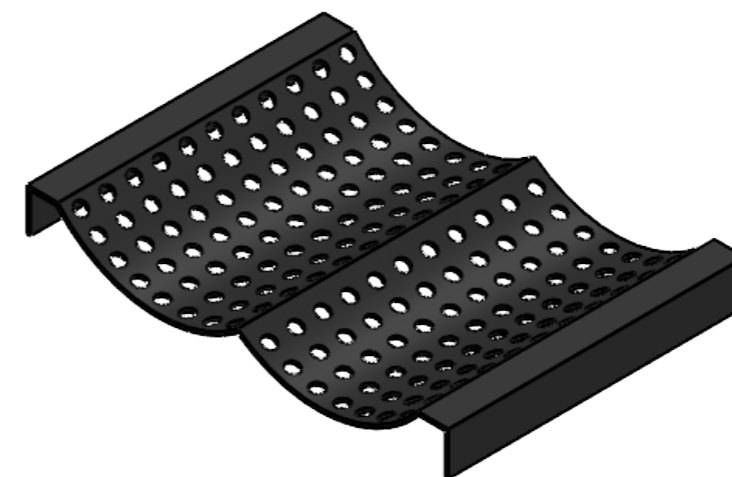
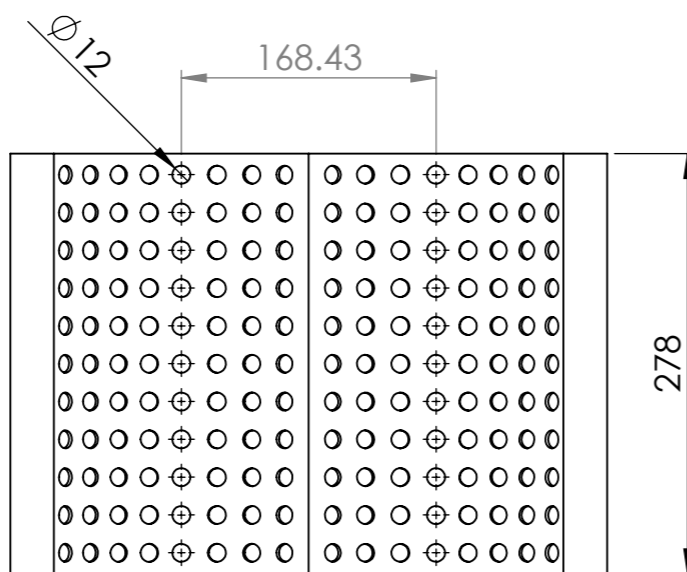
DETALLE I
ESCALA 1 : 1



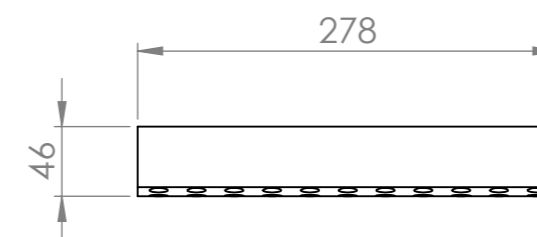
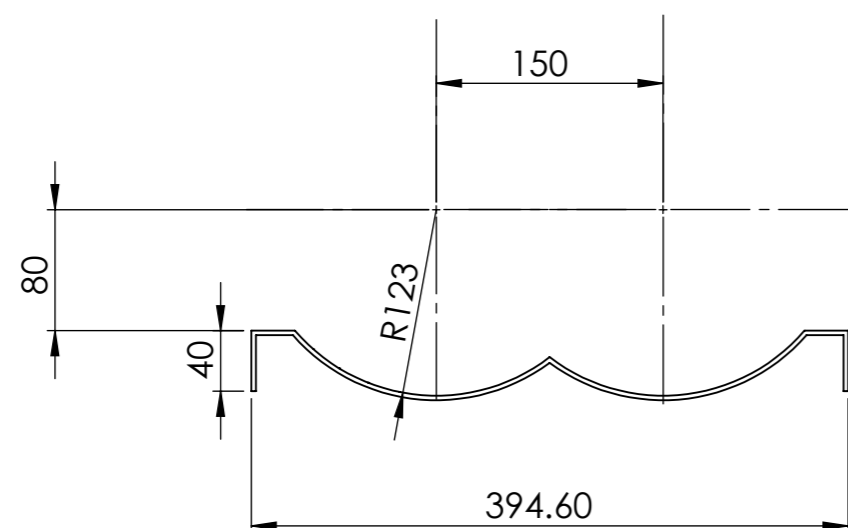
DETALLE J
ESCALA 1 : 1



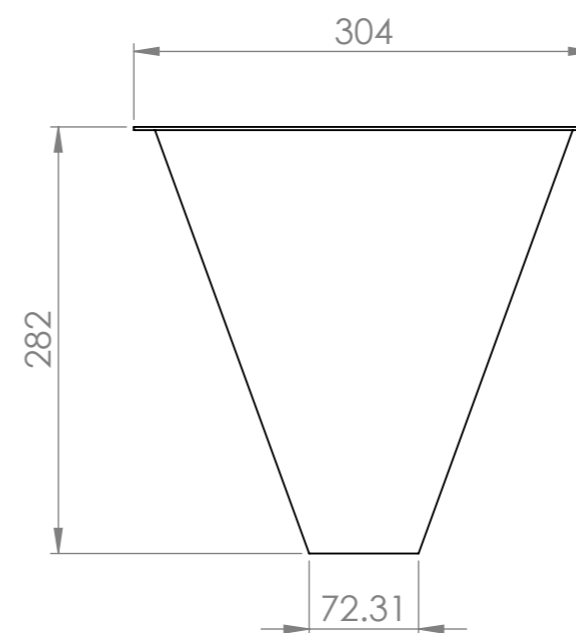
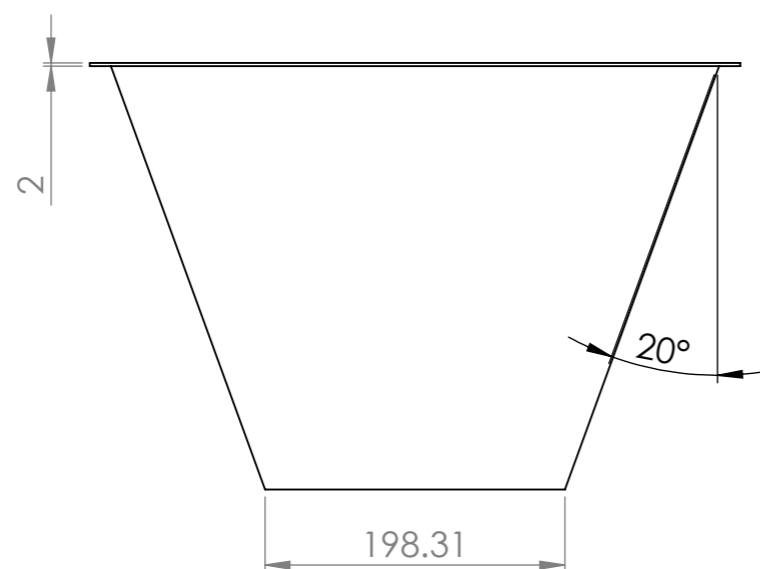
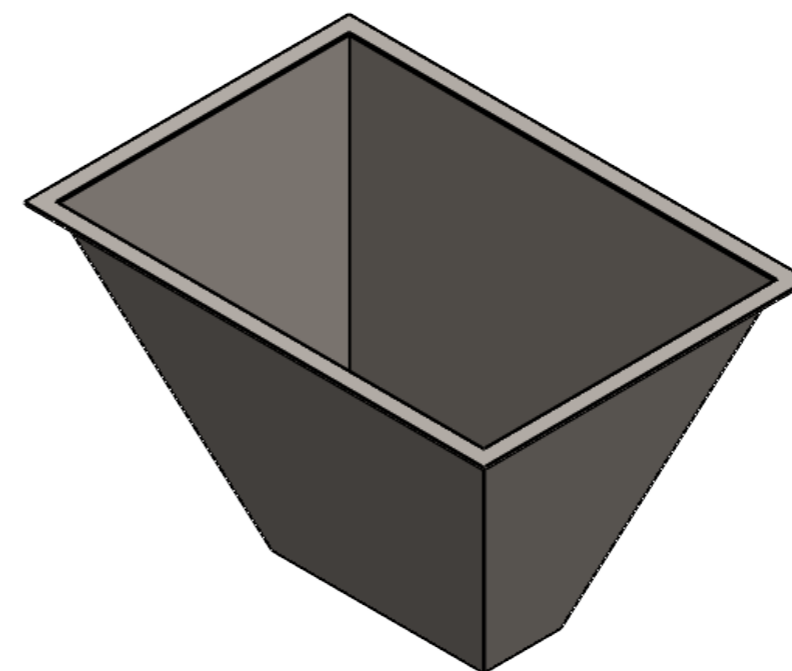
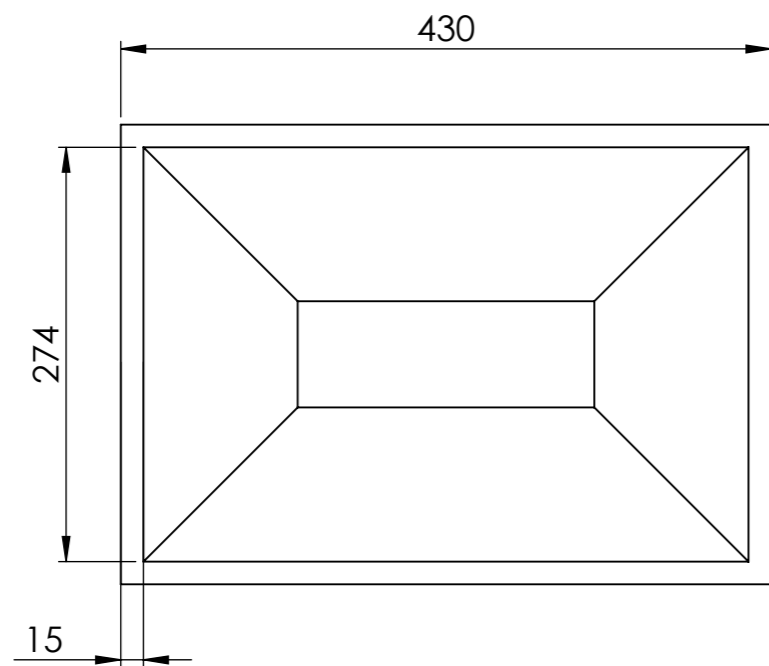
Nombre del dibujo: GUARDA PROTECTORA		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-12
ESCALA 1:5		Un. dim. mm	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO	Hoja nº: 12
			USAT EIME	Fecha: 13/10/2020
			Material: ASTM A36	Masa: 2 kg



PLANCHA PERFORADA
3MM ESPESOR



Nombre del dibujo: CRIBA		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano nº: P-13
ESCALA 1:5		Un. dim. mm		Hoja nº: 13
		USAT EIME		Fecha: 13/10/2020
		Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO		Masa: 3 kg
		Material: ASTM A36		



Nombre del dibujo: TOLVA DE DESCARGA		Título: MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PET		Plano n°: P-14
ESCALA 1:5		Un. dim. mm	USAT EIME	Dibujado por: JEISSON CHAVEZ TANTARICO
				Material: ASTM A36
				Fecha: 13/10/2020
				Masa: 2.5 kg