



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE  
BOTELLAS DE PLÁSTICO DE 25 kg/h PARA LA  
EMPRESA RECICLADORA “BRAVO”- TUCUME,  
LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Bach. Cajusol Baldera Henrry Paul**

**Asesor Metodológico**

**Dr. Jorge Antonio Olortegui Yume**

**Línea de Investigación:**

**Ingeniería de Procesos Productivos**

**Pimentel – Perú**

**2020**

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO DE  
25 kg/h PARA LA EMPRESA RECICLADORA “BRAVO”- TUCUME,  
LAMBAYEQUE

---

Bach. Henry Paul Cajusol Baldera  
**AUTOR**

---

Dr. Jorge Antonio Olortegui Yume  
**ASESOR**

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de  
Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

**APROBADO POR:**

---

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**Presidente del Jurado de tesis**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretario del Jurado de tesis**

---

Mg. Vives Garnique Juan Carlos  
**Vocal del Jurado de tesis**

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios...***

*Por haberme permitido llegar hasta este punto Y tener salud para lograr mis objetivos y brindarme su infinita misericordia, bondad y amor.*

### ***A mis padres...***

*Por haberme apoyado en el trayecto de este largo camino, por su confianza en mí, por su motivación constante dándome buenos consejos que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su gran amor.*

### ***A mis maestros...***

*Por haberme impartido sus conocimientos y sus experiencias, por su amistad y paciencia siempre los llevare presente.*

***Henry Paul Cajusol Balder***

## **AGRADECIMIENTO**

A través de las siguientes líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que con su aporte humano y científico han colaborado en la realización de este trabajo de tesis.

A mi asesor de tesis el Dr. Olortegui Yume, Jorge A. Ph.D. por la acertada orientación, discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado y sus aportaciones que fueron de gran importancia en esta tesis. Por su paciencia en los primeros pasos del desarrollo del presente trabajo transmitiendo su gran experiencia en el campo del diseño mecánico.

A la empresa recicladora Bravo por abrirme las puertas y poder realizar mis estudios preliminares para el desarrollo de mi tesis, y su grata amistad con sus colaboradores que día a día me ayudaron con su experiencia a que este trabajo sea lo más claro posible.

A mis padres que día a día trabajaron muy duro para sacarme adelante y por impartirme sus sabios consejos y llevarme a hacer un hombre de bien, y por haber estado ahí en mis momentos más difíciles de mi vida gracias por todos padres míos que dios los bendiga.

A mis amigos de toda la vida y a mis compañeros de clases que cada año nos esforzamos día a día para poder salir bien en nuestras materias de estudio, a todos ellos muchas gracias por su apoyo y por su gran amistad.

# DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO DE 25 kg/h PARA LA EMPRESA RECICLADORA “BRAVO”- TUCUME, LAMBAYEQUE

Henry P. Cajusol Baldera <sup>(1)</sup>

## Resumen

En el presente trabajo se realizó el diseño de una máquina trituradora de botellas de plásticos con capacidad de producción de 25 kg/h para la empresa “BRAVO” ubicado en Tucume – Lambayeque. Para el diseño de recopilamos los requerimientos de la empresa a través de entrevistas realizadas al personal a cargo del reciclado de plástico, los cuales mostraron su interés en adquirir una máquina para el proceso de triturado de plástico. Con la información recolectada a través de entrevistas se realizó una tabla con los parámetros ingenieriles que limitan el diseño. Posteriormente se hizo una recopilación bibliográfica y de normativa referente al diseño de máquinas trituradoras de plásticos, la cual es inexistente por esta razón se tomaron recomendaciones de diseño de trabajos previos. Seguidamente para dar con una solución acertada para el diseño se elaboraron 5 conceptos y 3 configuraciones las cuales fueron filtradas por medio de una matriz de selección, esto permitió obtener la mejor opción que cumpla con los criterios de evaluación de la matriz. En los cálculos se tomó el eje portacuchillas como el elemento crítico y se determinó su diámetro apropiado empleando un análisis paramétrico de donde se vio que el diámetro de este debe ser de 1 ¼” al emplear el acero AISI 1045 obteniendo con ello un factor de seguridad de  $n = 3.2$ . Finalmente se pudo comprobar mediante el análisis económico que la empresa logra alcanzar un beneficio económico de S/. 2700 mensuales y que el periodo de retorno de la inversión (PRI) es de 1 año y 11 meses.

Palabras clave: Plástico, Máquina Trituradora, Esfuerzos de von mises, Factor de Seguridad

---

<sup>1</sup> Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [cbalderah@crece.uss.edu.pe](mailto:cbalderah@crece.uss.edu.pe)

# DESIGN OF A 25 kg/h PLASTIC BOTTLE SHREDDING MACHINE FOR THE "BRAVO" RECYCLING COMPANY - TUCUME, LAMBAYEQUE

Henry P. Cajusol Baldera <sup>(1)</sup>

## Abstract

In this work, the design of a plastic bottle crushing machine with a production capacity of 25 kg / h for the company "BRAVO" located in Tucume - Lambayeque was carried out. For the design they compiled the requirements of the company through interviews conducted to the personnel in charge of the recycling of plastic, which showed their interest in acquiring a machine for the plastic crushing process. With the information given by the interviews, a table was made with the engineering parameters that limit the design. Subsequently, a bibliographic and regulatory compilation regarding the design of plastic crushing machines was made, which is nonexistent for this reason, recommendations were made to design previous works. Then to find a successful solution for the design, 5 concepts and 3 configurations were prepared, which were filtered by means of a selection matrix, this allowed to obtain the best option that meets the evaluation criteria of the matrix. In the calculations, the knife holder axis was taken as the critical element and its appropriate diameter was determined using a parametric analysis from which it was found that its diameter should be  $1\frac{1}{4}$  "when using AISI 1045 steel, thereby obtaining a safety factor of  $n = 3,213$ . Finally it was possible to verify through the economic analysis that the company achieves an economic benefit of S /. 2700 monthly and that the period of return on investment (PRI) is 1 year and 11 months.

Keyword: Plastic, Crusher Machine, von Mises Efforts, Safety Factor

---

<sup>1</sup>Adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: [cbalderah@crece.uss.edu.pe](mailto:cbalderah@crece.uss.edu.pe)

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN:</b> .....	11
<b>1.1 Realidad problemática:</b> .....	11
<b>1.2 Trabajos Previos</b> .....	14
<b>1.3 Teorías relacionadas al tema</b> .....	17
<b>1.3.1 Plástico</b> .....	17
<b>1.3.2 Botellas de Plástico:</b> .....	18
<b>1.3.3 Clasificación de los plásticos:</b> .....	19
<b>1.3.4 Máquina trituradora de plástico</b> .....	19
<b>1.3.5 Tipos de Máquina Trituradoras de Plástico</b> .....	20
<b>1.3.6 Principio físico de funcionamiento de trituradoras de Plásticos</b> .....	23
<b>1.3.7 Diseño de máquinas trituradoras de plástico</b> .....	25
<b>1.3.8 Teoría y fórmulas de diseño</b> .....	25
<b>1.3.9 Normativa Asociada a las Maquinas trituradoras de plástico</b> .....	32
<b>1.3.10 Software de ingeniería aplicada al diseño</b> .....	34
<b>1.4 Formulación del Problema</b> .....	38
<b>1.5 Justificación e importancia del estudio</b> .....	38
<b>1.5.1 Ambiental</b> .....	38
<b>1.5.2 Económico</b> .....	38
<b>1.5.3 Técnica</b> .....	38
<b>1.6 Objetivos:</b> .....	38
<b>1.6.1 Objetivos General</b> .....	38
<b>1.6.2 Objetivos Específicos:</b> .....	39
<b>1.7 Estado del Arte</b> .....	39
<b>II. METODO</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2.1 Tipo y diseño de la investigación:</b> .....	45
<b>2.2 Variables</b> .....	45
<b>2.2.1 Variables para el sistema de trituración</b> .....	45
<b>2.2.2 Variables para el sistema de transmisión (eje)</b> .....	45
<b>2.2.3 Caja negra para variables</b> .....	46
<b>2.2.4 Operacionalización de Variables</b> .....	49
<b>2.3 Población y Muestra</b> .....	51
<b>2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad</b> .....	51
<b>2.4.1 Técnicas de Recolección de Datos, validez y confiabilidad</b> .....	51

2.4.2 Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	52
2.4.3 Procedimientos para la recolección de datos .....	53
2.5    Métodos de Análisis de datos .....	55
2.6    Principios de Rigor Científico.....	55
<b>III.    RESULTADOS:</b> .....	<b>57</b>
3.1    Necesidades de la empresa .....	57
3.2    Recomendaciones de Diseño .....	61
3.3    Diseño conceptual.....	63
3.3.1    Concepto 1: Máquina trituradora en Base a Martillos.....	63
3.3.2    Concepto 2: Máquina trituradora en base de cuchillas .....	64
3.3.3    Concepto 3: Máquina trituradora en base a rodillos .....	65
3.3.4    Concepto 4: Máquina trituradora basada en el modelo de impacto.....	66
3.4    Determinación del concepto optimo .....	67
3.5    Diseño de configuración .....	70
3.6    Dimensionamiento del equipo.....	74
3.7    Selección de Materiales .....	75
3.7.1    Selección de Material para el eje .....	75
3.7.2    Selección de Material para las cuchillas.....	75
3.7.3    Selección de Material para la tolva .....	75
3.7.4    Selección de Material para estructura de la maquina .....	75
3.8    Cálculo de cargas de Diseño.....	76
3.8.1    Fuerza de Corte .....	76
3.8.2    Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector .....	77
3.8.3    Análisis de Esfuerzos en los puntos Críticos .....	78
3.8.4    Análisis Paramétrico: .....	82
3.8.5    Análisis en carga estática .....	85
3.8.6    Análisis en fatiga.....	86
3.8.7    Potencia requerida.....	86
3.8.8    GUI en MATLAB.....	86
3.8.9    Simulación en ANSYS .....	88
3.8.10    Selección de componentes estándar.....	90
3.8.11    Análisis económico.....	95
3.8.12    Discusión de resultados .....	99
<b>IV.    CONCLUSIONES</b> .....	<b>102</b>
<b>V.    RECOMENDACIONES</b> .....	<b>103</b>

<b>VI. REFERENCIAS .....</b>	<b>105</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>110</b>

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **1.1 Realidad problemática:**

El planeta hoy en día está presentando altos índices de contaminación ambiental. Los plásticos provenientes de las botellas de bebidas minerales, carbonatadas, aceite, lubricantes, son uno de los elementos más contaminantes ambientalmente hablando. Esto se ve manifestado con mayor fuerza en los océanos ya que el mar se ha convertido en un gran vertedero de residuos de tipo PET. Así mismo se estima que más de 8 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año. Según los estudios realizados por la UNEP. (Cabrera, 2017). En la industria del plástico la materia prima utilizada es un derivado del petróleo obligando a los países no petroleros importar tanta materia prima para la industria plástica, así como también productos finales producidos con dicho material. Los productos importados a la industria son numerosos: polímeros para transformación; insumos para la producción de envases finales o partes de estos (tapas) destinados en su mayoría para la industria de la bebida y alimentos. Debenedetti estima que anualmente la población de Montevideo generaría un 12,6% de residuos plásticos del total de residuos urbanos. Realizando así una serie de conjeturas en relación con las distintas generaciones de residuos sólidos por parte de dicha población de otros departamentos, concluye que, en 2009, la generación de residuos sólidos de plástico en todo el país alcanzo a 132.695 ton (Debenetti, 2011).

A estos residuos sólidos plásticos generados por la población, se le debe agregar los generados por las industrias los cuales se estima en 260 ton/año cuyas características principales es que no se degradan lo cual genera serios problemas en su disposición final. En Uruguay la ley 17.849 “uso de envases no retornables” del 29 de noviembre de 200, es una manifestación de la preocupación que genera en la sociedad, la contaminación masiva en la sociedad por parte de estos residuos (Debenedetti, 2011)

Al año Perú produce 3500 millones de botellas de plástico, de las cuales menos del 50 % serian recicladas. El Perú tiene un grave problema debido a que el porcentaje de reciclaje es pequeño por lo que la contaminación causada por el uso de materiales descartables que no pueden ser reutilizados es una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero. En la actualidad este material plástico es el más utilizado en la

industria de las bebidas no alcohólicas debido a su transparencia y moldeabilidad lo que lo hace que se le recicle muchas veces más en comparación con otros tipos de plástico. A nivel nacional existen más de 100 mil recicladores, pero su actividad está limitada por no tener un mercado de reusó de PET esto se debe a políticas restrictivas e informalidad la cual siempre ha estado presente. Pero la ONG Ciudad Saludable viene impulsando la concientización sobre el daño que se le está haciendo al planeta al no reciclar de manera adecuada; para que así combatan la informalidad y ayuden a desarrollar un mercado de botellas recicladas (Ruiz, 2009)



*Figura 1. Botellas de plástico un tiempo indefinido*  
*Fuente: Eco Responsables (2015)*

Túcume recibe anualmente a un aproximado de 47 mil turistas siendo así un buen atractivo turístico, sin embargo, esto se ve empañado por los desperdicios sólidos tirados en las principales calles. Originando una mala imagen para las distintas personas que año a año visitan ese lugar. Uno de los motivos por el cual se origina este tipo de contaminación es que el camión recolector de basura pasa dos días a la semana siendo esto insuficiente para la cantidad de basura acumulada por los pobladores. Trayendo como consecuencia que estos tiren el excedente de basura a las calles.

La empresa recicladora “BRAVO” es una pequeña empresa que se dedica al rubro de reciclaje de desperdicios no orgánicos entre ellos botellas y bolsas de plástico. Esta empresa tiene 5 años en el mercado y está dividida en 3 Áreas: Selección, Triturado y Compactado. Esta entidad cuenta con 5 trabajadores que alternan su trabajo en las tres áreas mencionadas.

La empresa “BRAVO” obtiene parte de sus ingresos de la venta del plástico triturado a empresas que procesan aún más este producto. Para esto cuenta con un triturador de plásticos para las labores de procesamiento de plásticos. Este equipo ha venido realizando su trabajo de manera deficiente al presentar triturado-corte incompleto del material, y en algunos casos ausencia de trituración. Esto último se manifestaba como un simple aplastamiento de las botellas sin evidencia de corte. Luego de realizada una inspección visual se encontró que el material de las cuchillas también representaba un problema pues la velocidad de oxidación era tan rápida que obligaba a un recambio de las mismas cada dos semanas. Esta última situación encarecía el procedimiento en general. La gerencia de la empresa ha llegado a la conclusión que estas deficiencias se deben a la fabricación informal de este equipo, es decir, fabricación empírica sin diseño formal de ingeniería. Por ello, la empresa ahora está interesada en explorar la posibilidad de realizar un diseño y posterior fabricación de una máquina trituradora apoyada en un procedimiento de diseño de ingeniería adecuado. La recicladora diariamente recibe un promedio de 200 kg de plástico lo cual desea procesar al día siguiente, para ello se sabe que la empresa trabaja 8 horas al día y para poder procesar los 200 kg que tiene en su almacén, la máquina trituradora de plástico debe procesar 25 kg/h para cumplir con el objetivo de producción mencionado al principio.



*Figura 2. Plástico recolectado*  
*Fuente: Empresa recicladora “BRAVO”*

En este proyecto se plantea el diseño formal de una máquina trituradora de botellas de plástico con capacidad de 25 kg/h para la empresa “BRAVO” en Tucume – Lambayeque siguiendo los parámetros de diseño necesarios para cumplir los requerimientos de la empresa.

## **1.2 Trabajos Previos**

Se consideran como antecedentes a este trabajo de tesis las investigaciones que a continuación se resumen:

**Yijie (2015)** Diseñó una máquina inteligente de residuos biológicos para obtener gas vehicular. Primero se analizó las propiedades bioquímicas de los residuos sólidos buscando llegar a una solución realista y concreta para combatir la contaminación. Se procedió a realizar un estudio de factibilidad y cálculos de diseño para obtener una base de referencia por si en algún momento decidiera fabricar una máquina inteligente de residuos biológicos. Se encontró cuatro formas de procesar los residuos biológicos, pero se optó por la digestión anaeróbica. Se decidió poner una capa de recubrimiento extra de pintura debido a la corrosión generada por algunas sustancias. En cuanto al olor generado por fugas se estableció que si se le aplica una fuerza entre

la tapa echa de caucho y su base esta se sellara herméticamente acabando así con el olor desagradable. Se concluyó que bajo las condiciones adecuadas se puede conseguir el primer combustible de vehículos con etiqueta ecológica nórdica la cual es una etiqueta que solo se concede a los productos de baja emisión.

**Weiss, (2005)** Rediseño una máquina trituradora manual de fruta para la republica de Haití. Secando el árbol de pan para su posterior fragmentación a través de la trituradora para ello aplico los principios de fabricación (DFMA) el cual es el diseño para la fabricación y montaje, pero antes se examinó cada parte de la trituradora para determinar si se podría eliminar o rediseñar para así poder simplificarlo sin dejar de hacer un producto de calidad y así poder combatir la desnutrición en las naciones pobres tales como Haití. Se decidió fabricar dichas maquinas con piezas de máquinas en desuso que se encontraban en ese país ya que tenían un número reducido de piezas y estas eran más robustas dando la ventaja de realizar un mantenimiento a un bajo costo. La metodología (DFMA) fue de vital importancia para la examinar cada función y así poder combinarla para poder mejorar el diseño teniendo como resultado una maquina más simple con mejor calidad y a un menor costo de fabricación

**Ayala, et al. (2009)** Diseñaron una maquina móvil triturador de PET, para sintetizar el proceso de reciclaje en México bajo normativa (NMX-E-232-SCFI-1999)". La norma NMX-E-232-SCFI-1999 se usó como directriz de selección teniendo en cuenta la estrategia "RRR", es decir, Reciclar, Reducir y Reutilizar sabiendo esto se procedió a evaluar mediante estudios las características y propiedades del PET, sabiendo que el triturador será móvil se procedió a establecer los parámetros de diseño y cálculos respectivos del diámetro, fuerza de trabajo que podría estar sometido el eje de transmisión y propiedades que deben tener las navajas móviles. Optando por un eje de 2 in sabiendo que posiblemente esté sometido a 24 N y que para que la máquina trituradora pueda trabajar en óptimas condiciones sus navajas deben ser de acero D2 las cuales deberán ser sometidas a tratamiento térmico para obtener una dureza de 62 Rockweel. El emplear adecuados análisis matemáticos fueron de vital importancia para apreciar que las cargas distribuidas uniformemente tienen un menor valor comparado con la carga concentrada en un solo punto por ende esta configuración traerá mejores resultados

**Hernández, (2015)** Diseño un prototipo de triturador de desechos orgánico para generar biogás. Teniendo en cuenta distintos puntos los cuales son: Usar un triturador de la marca RESTCH como referencia para el diseño, así también se aplicó la metodología despliegue de funciones de calidad para generar un diseño conceptual de una trituradora de desperdicios domésticos, y mediante el cálculo se buscó hallar el ángulo de las cuchillas, diámetro y número de rotores. Los cuales fueron diseñados con el software NX 7.5 SIEMENS. Se optó por 5 cuchillas cuya fuerza de corte supere a los 400 N, y con un ángulo de 45 grados con esto se asegura de que los desperdicios orgánicos se reducirán hasta un aproximado de 2cm, para el caso de la carcasa se eligió un acero inoxidable 304. La metodología de diseño NX 7.5 SIEMENS fue de mucha ayuda porque te permite diseñar y simular en 3D sin necesidad de construir sin embargo si se decidiera construir hay que tomar en cuenta un factor importante el cual es que tanto la carcasa, rotores y cuchillas tienen espesores grandes que oscilan entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de in debido a esto el maquinado elevaría el costo de la maquina no obstante este incremento estaría por debajo del costo de una maquina nueva.

**García, et al. (2014)** Diseñaron un prototipo de una máquina trituradora de PET. Identificando los criterios necesarios para el cálculo del número y selección del material de cual estará hecha las cuchillas, para la simulación y optimización del peso se utilizó el software SOLIDWORKS en el cual se trabajó con dimensiones reales dando como resultado el peso de las cuchillas este dato es fundamental para la selección del motor. Después de realizado el cálculo necesario se eligió tener 8 cuchillas con un peso de 0.81 Kg cada una, estas están distribuidas, 4 en cada eje logrando el objetivo que es reducir los PET a  $\frac{1}{2}$  in en cuanto al material a utilizar para su fabricación se decidió por el ACERO SISA A2 debido a sus características las cuales son tenacidad y resistencia al desgaste con todos estos datos se procedió a la selección del motor el cual tendrá una potencia de 1 hp y 1750 RPM. Se logra concluir que el software SOLIDWORKS juega un papel importante a la hora de diseñar ya que este permite simular y por ende encontrar las posibles fallas que tendría dicho diseño de esta manera este diseño busca combatir la contaminación por PET y a su vez que demostrar que reciclar es un negocio rentable.

**Medina (2012)** Diseño y construcción de una maquina compactadora de botellas de plástico para la PUCP”. Se realizó un estudio de las propiedades técnicas y del consumo de botellas de plástico en dicha universidad obteniendo que gran parte de estas botellas eran de medio litro y teniendo en cuenta que en la actualidad las maquinas compactadoras logran un espesor de 3 cm se procedió a establecer los requerimientos de diseño en el cual se busca disminuir el espesor hasta 10 mm, posteriormente se realizó los respectivos cálculos como determinar la fuerza requerida, el diámetro del rodillo y RPM necesario para lograr dicho espesor. Se halló mediante cálculo que la fuerza requerida para reducir la botella de plástico a un espesor de 10 mm es aproximadamente 5 kN, que los rodillos deben tener un diámetro de 341 mm con púas de 7 mm y que estos deben girar a 11 RPM. El análisis de la estructura por diagramas de cuerpo libre fue de vital importancia para localizar puntos débiles en dicha estructura y que al poder cumplir con el objetivo de un buen compactado este será de beneficioso ya que empresas dedicadas al reciclaje podrán tomar esto como guía para la fabricación de estas máquinas.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Plástico**

Este tipo de material es obtenido mediante un sistema de combinación sintética del carbono. A la vez se puede obtener plástico mediante hidrogeno, nitrógeno y oxígeno, combinándolos con otros elementos derivados del petróleo.

Estos pueden ser usados en una amplia gama de productos como, envases para bebidas carbonatadas, fabricación de telas en la industria textil, recubrimientos para dispositivos eléctricos. Además, es un componente principal para la elaboración de pinturas, barnices y otros elementos con matriz de polímero. (Mauricio F, et al 2009)



**Figura 3.** Los Peligros de los residuos plásticos 2018  
**Fuente:** Como hacer para (2018)

### 1.3.2 Botellas de Plástico:

En 1974 EE.UU., llevo a cabo la primera comercialización del PET para botella desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debido a que este ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, comodidad en su manejo y en cuanto a su fabricación los costos son menores en comparación con otros tipos de plástico es por lo cual actualmente es el envase más utilizado para la comercialización de líquidos en productos como lácteos, bebidas minerales, carbonatadas, aceite, lubricantes. También se emplea para el transporte de productos pulverulentos o en píldoras, como medicinas o vitaminas. (Ayala 2009)



**Figura 4.** Los Plásticos Alternativa para cuidar el medio ambiente 2018  
**Fuente:** Depositphotos (2018)

### 1.3.3 Clasificación de los plásticos:

En la actualidad existen una gran variedad de tipos de plástico, pero para facilitar su proceso de reciclaje se aplica el código de identificación de plásticos; en el cual se diferencia los tipos de plástico mediante números del 1 al 7 ubicado en el interior del clásico símbolo (triángulo de flechas en seguimiento) (Ayala 2009)

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Poliétileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD		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		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		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		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas múltiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

*Figura 5. Clasificación de los Plásticos*

*Fuente: Aportaciones en prl (2018)*

### 1.3.4 Máquina trituradora de plástico

Las máquinas trituradoras de plástico (Diego. P, et al 2014), llamadas también molinos es un conjunto de mecanismos que actúan con un solo objetivo, obtener plástico triturado de manera que sea más fácil su reciclaje. Su funcionamiento parte principalmente que recibe el plástico por la parte superior (TOLVA), de manera que poco a poco va descendiendo hacia una cámara de trituración en donde se encuentran ubicadas las cuchillas, que son de un material de alta resistencia y diseñadas para realizar un corte eficiente y adecuado, estas al girar de manera rápida convierte al

plástico en pequeñas partes y listas para ser reprocesadas nuevamente. Este sistema de trituración apunta a ser una de las mejores opciones para el reciclaje y además aporta a la conservación del nuestro planeta, por tanto, este mecanismo es uno de los mejores proyectos ya que no causaría ningún efecto secundario a nuestro ambiente.



*Figura 6. Máquina trituradora de plástico 2016  
Fuente: Delinteres (2018)*

### **1.3.5 Tipos de Máquina Trituradoras de Plástico**

Greig, M y Vosseburger, K: clasifican de la manera siguiente a los tipos de máquinas trituradoras de plástico.

#### **A) Molino triturador de 2 ejes**

Este tipo de máquinas se componen generalmente por su sistema de trituración con dos ejes porta cuchillas y peines separadores. Cuando este tipo de máquina empieza a operar, el plástico empieza tomar la forma de acuerdo al corte a que se somete quedando así reducido a pequeños pedazos. Además, debido a su configuración de fresas cortantes estas pueden triturar diferentes tipos de materiales convirtiéndola así en una de las mejores máquinas para la industria del reciclado. (Mauricio F, et al 2009)

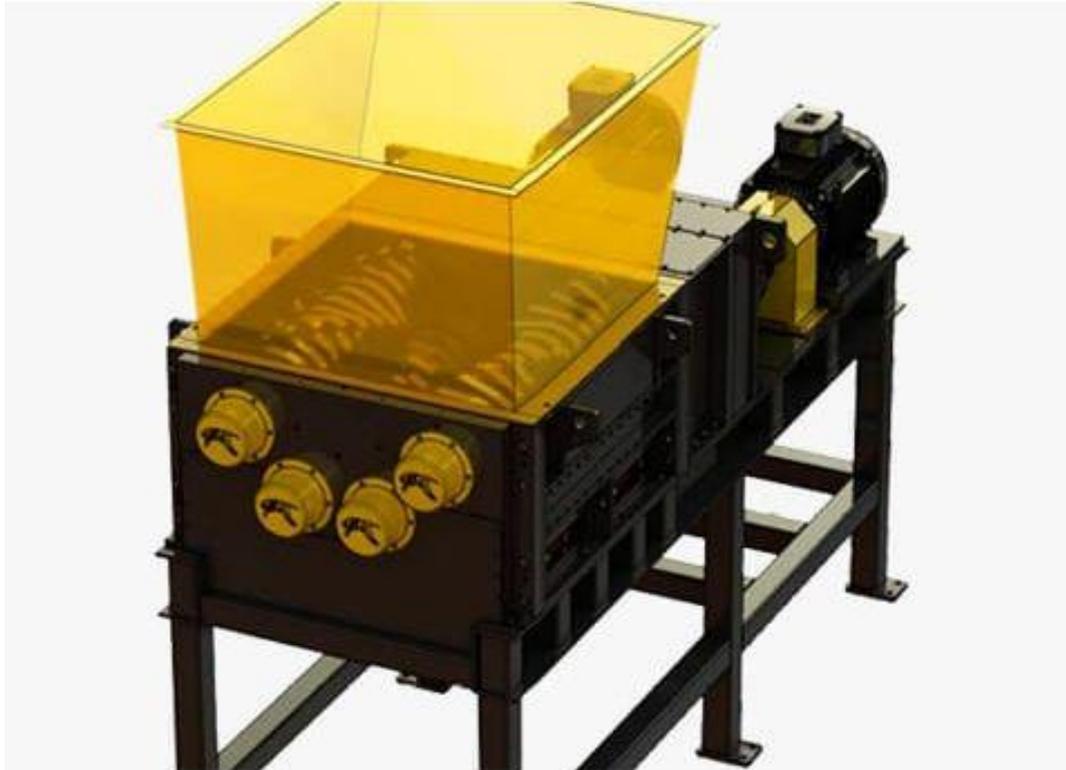


*Figura 7. Máquina trituradora de plástico de 2 ejes  
Fuente: MSA GROUP (2018)*

## **B) Molino triturador de 4 ejes**

Las maquinas trituradoras de 4 ejes están diseñadas para uso industrial ya que su capacidad de producción es mucho mayor. Es un molino triturador cuyo objetivo es triturar todo tipo de residuo plástico convirtiéndolo en pequeños pedazos listo para ser reciclados.

Este tipo de máquina cuenta con 4 ejes porta cuchillas convirtiéndose así en una maquina muy confiable. El sistema de potencia es obtenido mediante un motor reductor, donde se acoplan con los ejes que contienen las fresas cortantes, equipada con un conjunto de cribas de 12 a 38 mm lo que nos posibilita obtener distintos tamaños de plástico triturado. (Mauricio F, et al 2009).



*Figura 8. Máquina trituradora de plástico de 4 ejes  
Fuente: MSA GROUP (2018)*

### **C) Molinos a cuchillas o Granuladores GR**

Una de las características más importantes de este tipo de trituradoras es que cuentan con una serie de cuchillas conformadas en el rotor la cual hace que al momento que empiezan a girar empieza a triturar el material y obteniendo diversos tamaños gracias a sus cribas acopladas.

Una de las aplicaciones más importantes de estas máquinas es:

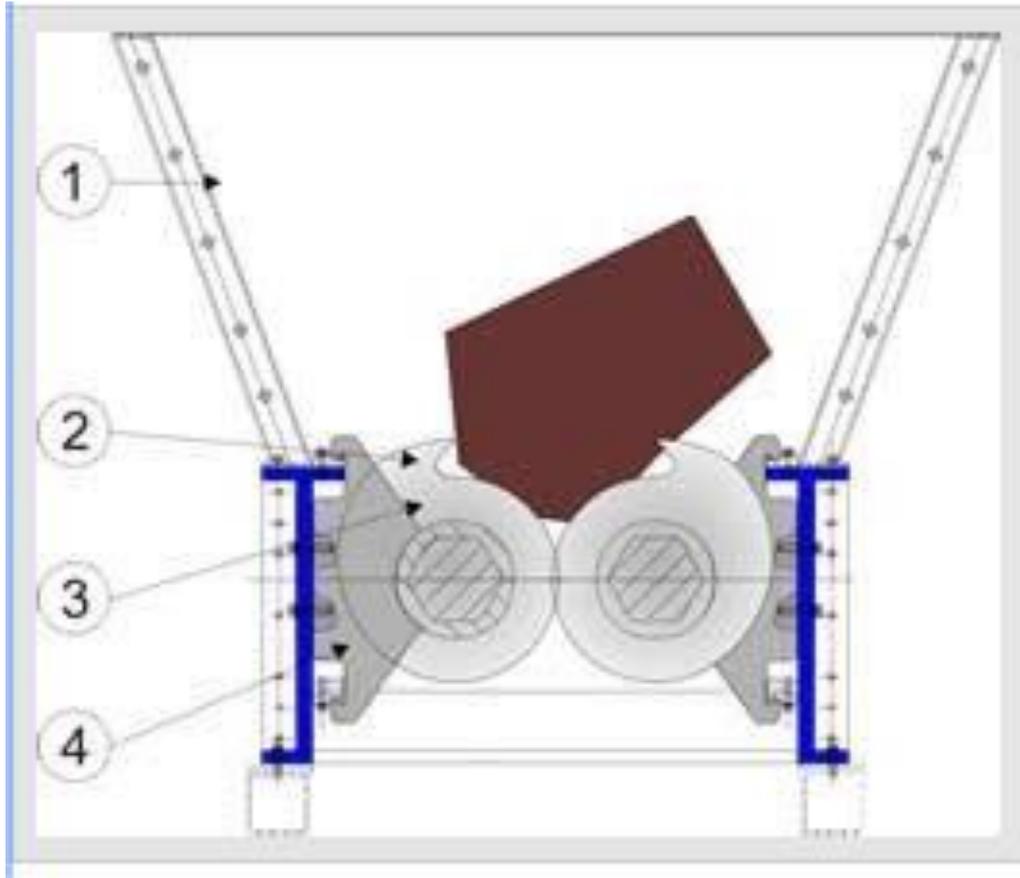
- Proceso de trituración fino.
- Trituración de papel, cartón y madera.



*Figura 9. Máquina trituradora de cuchillas o serie GR 2016  
Fuente: ISVE S.R.L (2018)*

### **1.3.6 Principio físico de funcionamiento de trituradoras de Plásticos**

Este sistema de trituración se caracteriza por tener 2 ejes porta cuchillas rotativas con cribas y peines distanciadores. El proceso de trituración inicia con la carga de material mediante una tolva diseñada con una capacidad de corte y con una velocidad de rotación baja garantizando así una mínima absorción de energía. El corte se efectúa de tal manera que va desgarrando poco a poco el plástico convirtiéndolo en pequeños trozos. Y de ser posible una sobrecarga de material instantáneamente realiza un cambio de giro en el motor regulando así de tal manera prevenir un posible sobrecarga de esfuerzos en las cuchillas.



*Figura 10. Máquina trituradora*  
*Fuente: ISVE S.R.L- TRITOTUTTO (2016)*

### **Partes de Máquina trituradora de plástico**

La máquina trituradora posee las siguientes partes (Mauricio F, et al 2009):

#### **A- Unidad de carga**

Llamada también tolva en esta parte de la maquina es donde empieza la trituración pues el material es depositado.

#### **B- Sistema de trituración**

En esta parte es donde se realiza el proceso de trituración, en esta zona de encuentran alojadas las cuchillas que son las encargadas de realizar el corte de plástico para convertirlo en pequeños tozos.

### **C- Sistema de transmisión**

El sistema de transmisión está constituido por un motor eléctrico de corriente alterna acoplada con un motor reductor que esta conjuntamente unido al eje que contiene las cuchillas.

### **D- Sistema de seguridad**

Este sistema esta adecuado en la máquina para prevenir las posibles sobrecargas que se puedan generar durante el proceso de trituración, su función consta en invertir temporalmente el motor al detectar un atasco y evitar que puedan suceder problemas mayores e incluso la rotura total de la máquina.

## **1.3.7 Diseño de máquinas trituradoras de plástico**

Para la fabricación de las maquinas trituradoras de plásticos se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño (Mauricio F, et al 2009).

- Potencia mecánica del motor principal
- Sistema de transmisión
- Numero de cuchillas
- Numero de ejes porta cuchillas
- RPM de las cuchillas
- Cantidad de producción en Kg/h

## **1.3.8 Teoría y fórmulas de diseño**

### **A- Flecha**

La flecha es un elemento mecánico rotatorio, generalmente de configuración transversal circular encargado de transmitir la potencia u otro cualquier movimiento. En él es donde se alojan los principales elementos de trasmisión tales como poleas, engranajes, manivelas, catarinas y otros componentes mecánicos de tal importancia para transmisión. (Budynas, R. G., & Nisbett, J. K., 2008)



*Figura 11. Eje o flecha*  
*Fuente: AGROADS (2018)*

## **B- Diseño de ejes de Transmisión**

Para el diseño de ejes se tiene en cuenta los siguientes procedimientos (Ayala 2009)

- Potencia necesaria a transmitir y las RPM.
- Selección de la geometría del eje, elementos que irán montados en el para la transmisión de la potencia requerida.
- Cálculo de los esfuerzos de los diferentes componentes que irán alojados en él.
- Determinación de las reacciones en los soportes.
- Selección del material a usar para la fabricación del eje.
- Cálculo del índice de seguridad el cual determina la fiabilidad del componente para aplicar una determinada carga.
- Especificar las dimensiones finales que se puedan ajustar a las dimensiones comerciales de los elementos montados en el eje.

## C- Fórmulas a utilizar

### Modelamiento matemático para diseño de trituradora de plástico

#### Fuerza de corte para plástico

Según Dautzenberg (1983) las fuerzas de corte para plásticos están distribuidas según la Figura 12 y están determinadas por las siguientes expresiones:

$$F_c = \frac{C \cdot b \cdot f}{n+1} \left[ \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} + \frac{F_w \cdot \sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \right] \quad \dots \text{Ec (1)}$$

$$F_w = C \cdot b \cdot f \cdot \left[ \frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right] \quad \dots \text{Ec (2)}$$

Donde:

$C$ : Tensión específica en  $N/mm^2$

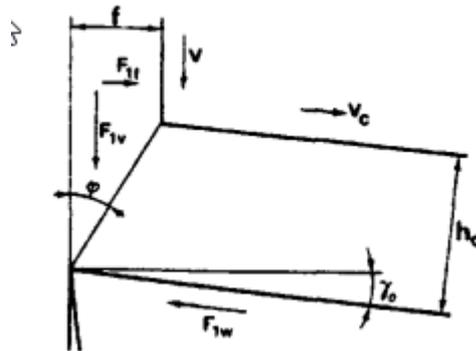
$n$ : Esfuerzo de dureza

$\gamma_0$ : Ángulo de inclinación de la cuchilla

$\varphi$ : Ángulo de corte

$b$ : Ancho de corte

$f$ : Ancho de alimentación



**Figura N° 12.** Esquema de corte para plástico  
**Fuente:** Dautzenberg (1983)

### Angulo de Corte ( $\varphi$ )

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

Donde:

$\varphi$  : Angulo de corte

$h_c$  : Espesor de la viruta (m)

$f$  : Alimentación

$\gamma_0$  : Angulo de inclinación de la herramienta

Para determinar el torque necesario en el eje para la trituración de los plásticos se usará la Ecuación N° 01.

$$T = F_c \cdot r \cdot N \dots \text{Ec (4)}$$

Donde:

$r$ : Radio de la cuchilla

$N$ : número de cuchillas alineadas

### Cálculo de caja reductora

Según Portalanza y Rodríguez (2013) se debe tomar un factor de servicio igual a 1.2 en la fuerza de corte para garantizar el éxito en la operación debido a que los espesores de los plásticos a reciclar pueden variar. Entonces el torque resultante quedara como:

$$T = 1.2 F_c \cdot r \cdot N \dots \text{Ec (5)}$$

### Calculo de potencia del Motor

La potencia del motor necesaria para triturar el plástico está dada por:

$$P = T \cdot w \quad \dots \text{Ec (6)}$$

Donde:

w: Velocidad del motor

Para el análisis paramétrico en función de la potencia del motor y el ancho de corte, se reemplaza la ecuación (2) en (1) y la ecuación (5) en (6):

$$F_c = \frac{c.b.f}{n+1} \left[ \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} + \frac{c.b.f \cdot \left[ \frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right] \cdot \sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \right] \quad \dots \text{Ec (7)}$$

$$P = 1.2 F_c \cdot r \cdot N \cdot w \quad \dots \text{Ec (8)}$$

Reemplazando la ecuación (7) en (8):

$$P = 1.2 \frac{c.b.f}{n+1} \left[ \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} + \frac{c.b.f \cdot \left[ \frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right] \cdot \sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \right] \cdot r \cdot N \cdot w \quad \dots \text{Ec (9)}$$

### Calculo del diámetro del eje

El eje estará sometido a esfuerzos torsionales permanentes, por tanto, para calcular el diámetro del eje se usará el diseño por fatiga. Una de las expresiones matemáticas más usadas, es la combinación de la teoría de la energía de distorsión para el esfuerzo y la teoría de Goodman modificada para la resistencia a la fatiga, la cual se expresa como:

$$d = \left( \frac{32n}{\pi} \cdot \left\{ \left[ \left( \frac{K_f \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2} + \left[ \left( \frac{M_m}{S_{ut}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_m}{S_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \dots \text{Ec (10)}$$

Donde:

$n$ : Factor de seguridad (adim.)

$d$ : Diámetro (m.)

$S_e$ : Límite de fatiga de la pieza (adim.)

$M_a$ : Momento flexionante alternante (N.m)

$M_m$ : Momento flexionante medio (N.m)

$T_a$ : Par de torsión alternante (N.m)

$T_m$ : Par de torsión medio (N.m)

$K_f$ : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión (adim.)

$K_{fs}$ : Factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la torsión (adim.)

$S_{ut}$ : Resistencia tensión (Pa)

El límite de fatiga del eje según Marín, se determina de la ecuación:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e \quad \dots Ec (11)$$

Donde:

$K_a$ : Factor de modificación de la condición superficial (adim.)

$K_b$ : Factor de modificación del tamaño (adim.)

$K_c$ : Factor de modificación de la carga (adim.)

$K_d$ : Factor de modificación de la temperatura (adim.)

$K_e$ : Factor de confiabilidad (adim.)

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos (adim.)

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (MPa)

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso (MPa)

Para obtener el factor de modificación de la condición superficial se usa la ecuación siguiente:

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad \dots Ec (12)$$

Donde:

$a, b$ : Factores de acabado de superficie

Para obtener el factor de modificación del tamaño para diámetros entre los rangos de 0.11 a 2 pulgadas se usa la expresión mostrada a continuación:

$$K_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} \quad \dots \text{Ec (13)}$$

Para el factor de modificación de carga  $K_c$  se tomara el valor de 0.59 porque el eje está sometido a torsión, para el factor de modificación de la temperatura  $K_d$  se tomara el valor 1 ya que el trabajo que realiza el eje no generara temperaturas extremas y para el factor de confiabilidad asumiremos 1.

Para obtener el factor de concentración de esfuerzos se usa la siguiente expresión:

$$K_f = 1 + q(kt - 1) \quad \dots \text{Ec (14)}$$

El límite de resistencia a la fatiga del eje se calcula con:

$$S'_e = 0.506 * S_{ut} \quad \dots \text{Ec (15)}$$

### Calculo de esfuerzos fluctuantes

Momento medio (Mm)

$$m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2} \quad \dots \text{Ec (16)}$$

Momento alternante (Ma)

$$Ma = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \quad \dots \text{Ec (17)}$$

Torque medio( $T_m$ )

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad \dots Ec (18)$$

Torque alternante ( $T_a$ )

$$T_a = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad \dots Ec (19)$$

### 1.3.9 Normativa Asociada a las Maquinas trituradoras de plástico

#### A) Norma ISO 15270

Esta norma fue creada para proporcionar una guía reglas y especificaciones relacionadas a la recuperación de desechos plásticos y a su vez los requisitos para obtener los estándares de calidad que se debe tener en cuenta en todos los métodos de recuperación, recomendaciones para los ensayos y detalles del producto. Esta norma cuenta con los siguientes objetivos generales:

- Organización a nivel mundial sostenible para el rehúso y recuperación de los plásticos.
- Generar una buena reutilización de los plásticos y sus materias primas.
- Disminuir el uso de energía para el proceso del plástico.
- Abrir un mercado sostenible para materiales y derivados del plástico ayudando así en el desarrollo sostenible del medio ambiente.

La página principal de la norma ISO 15270 se puede visualizar en el Anexo 1.

#### B) Norma Europea ES 15348

Esta norma fue creada por los miembros del CEN (Comité Europeo de Normalización). Esta norma se basa en la recuperación de los residuos plásticos, generando un ahorro en los recursos empleados para el proceso de fabricación de estos, y a la vez disminuir lo las emisiones toxicas al ambiente, así como cualquier otro impacto ambiental, social o que perjudique a la salud de las personas. Esta norma cuenta con los siguientes objetivos generales:

- Crear impactos ambientales que sean más bajas que las opciones de reciclado.
- Generar una operación de reciclaje industrial sostenible.

La página principal de la norma Europea ES 15348 se puede visualizar en el Anexo 2.

### 1.3.7 Definición de términos

**Pet:** Teraftalato de Polietileno, polímero que se obtiene mediante una reacción química de poli condensación, puede ser procesado por medio de extrusión o inyección.

**Reciclaje:** Proceso cuya finalidad es reutilizar los desechos en nuevos productos para su posterior utilización.

**Máquina Trituradora:** Conjunto de mecanismos cuya finalidad es reducir a pequeñas partes cualquier material que sea sometida a ella.

**Eje:** Mecanismo utilizado netamente para la transmisión de potencia.

**Cuchillas:** Elementos cortantes que son los encargados del proceso de trituración.

**Diámetro:** Segmento rectilíneo que une dos puntos de una circunferencia.

**Esfuerzo Cortante Máximo:** Es el esfuerzo resultante de las secciones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.

**Flexión:** Deformación que sufre un material en su composición estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

**Torsión:** Se define a la aplicación de una fuerza a un elemento originando un momento sobre su eje longitudinal.

**Esfuerzo Máximo:** Llamado también esfuerzo de fluencia y se puede realizar en un material sin llegar a la deformación plástica.

**Índice de Seguridad:** Se llama así a la relación entre la carga límite que puede soportar un elemento y la carga máxima admisible.

**Potencia:** Capacidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo.

**Plan de Mantenimiento:** Un plan de mantenimiento es el conjunto de tareas preventivas a realizar en una instalación con el fin de cumplir unos objetivos de disponibilidad, de fiabilidad, de coste y con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de la instalación.

### 1.3.10 Software de ingeniería aplicada al diseño

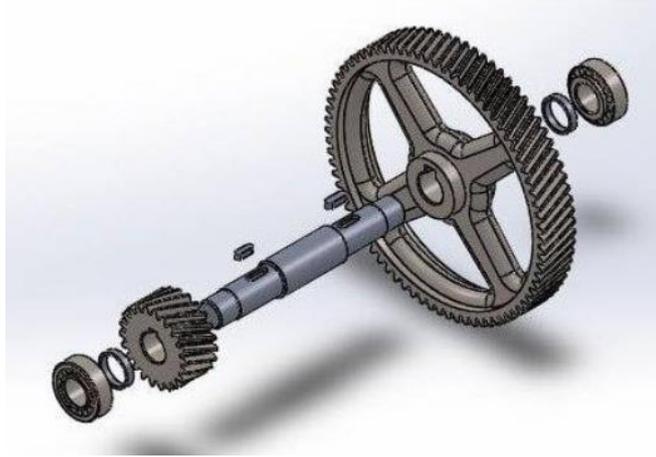
#### A) SolidWorks

Es un programa creado para realizar trabajos de diseño mecánico, y realizar los modelados en 2D y 3D. En este software se pueden modelar piezas y obtener de ellas los planos de detalle y otro tipo de información requerida por el usuario. SolidWorks permite a los diseñadores desarrollar habilidades avanzadas en el diseño, y evaluar el comportamiento de sus diseños antes de ser fabricados, convirtiéndolo así en un programa de gran ayuda para los ingenieros cadistas. (Wikipedia.org)



*Figura 13. Logo oficial SolidWorks*

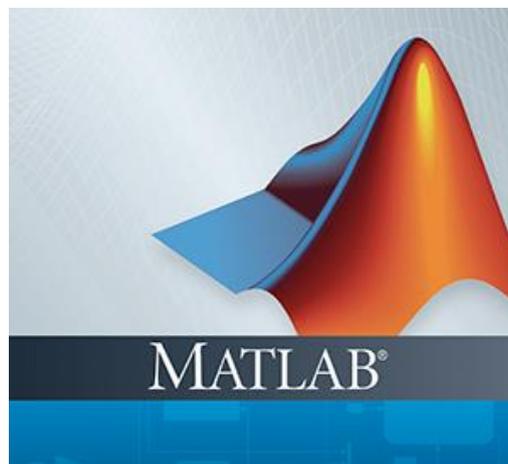
*Fuente: Bibango (2018)*



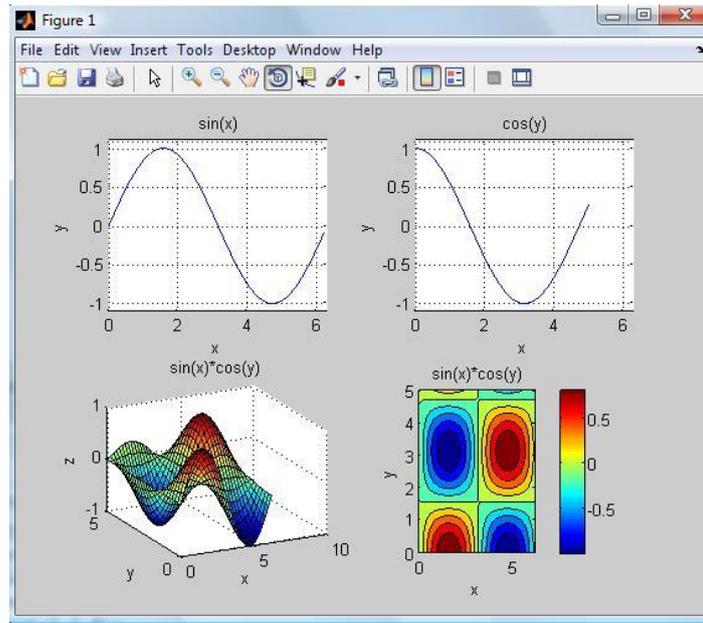
*Figura 14. Ejemplo de diseño en Solidworks*  
*Fuente: SolidWorks tutorías, trabajos y consultas (2018)*

## **B) MATLAB**

En su traducción quiere decir laboratorio de matrices, es un software de gran importancia en el campo de las ciencias, ofreciendo un entorno de desarrollo integrado, con este programa se pueden realizar GUIs, lenguajes de programación y realizar cálculos numéricos de manera rápida y exacta. Este software nos permite enlazarse a través de SIMULINK, diseñar sistemas sencillos, dinámicos y complejos realizando el modelado mediante lenguajes basados en diagramas de bloques, sistemas de control y control inteligente, aplicados en el campo de la ingeniería.



*Figura 15. Logo oficial MATLAB*  
*Fuente: Logolinx (2018)*



**Figura 16.** Graficas comparativas en MATLAB  
**Fuente:** Matlab, simulink y matemáticas (2018)

### C) ANSYS versión académica

Este software nos permite realizar el análisis estructural de elementos complejos de ingeniería, para poder tomar las mejores decisiones al momento del diseño. Cuenta con herramientas como análisis de elementos finitos la cual nos permite solucionar problemas mecánicos estructurales. El software se utiliza en todos los sectores del campo de la ingeniería para facilitar y optimizar el diseño de los productos y reduciendo así los costos de pruebas físicas.



**Figura 17.** Logo oficial ANSYS 2018 versión estudiante  
**Fuente:** Baja tutor (2018)

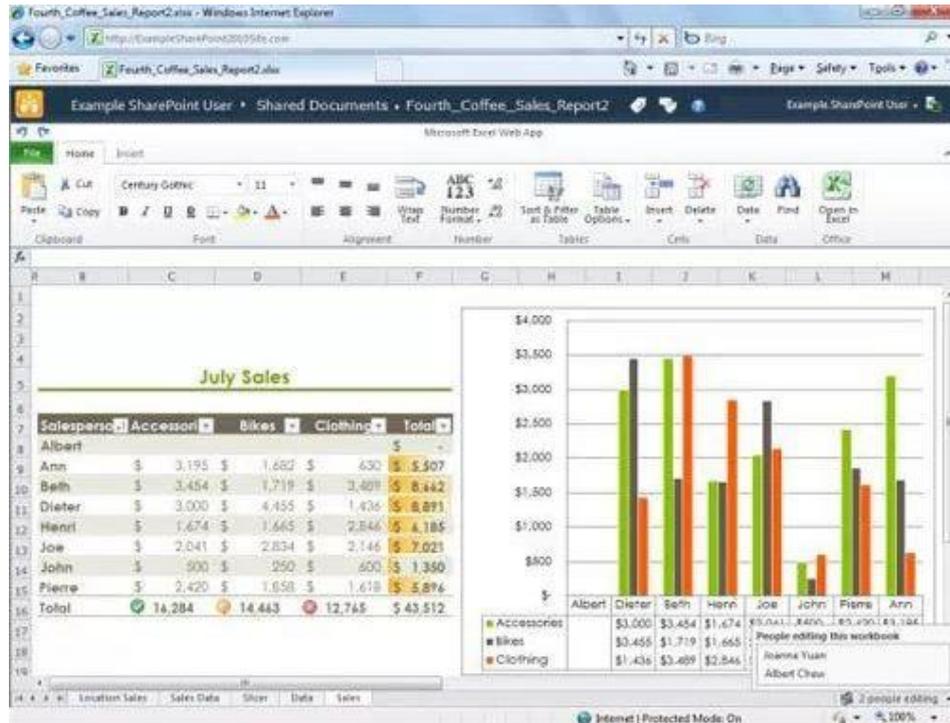
## D) EXCEL

Excel es una aplicación de Microsoft, es una hoja de cálculo muy utilizada para las tareas financieras, contables y cuentan con múltiples fórmulas predefinidas para todo tipo de cálculo, ofreciendo también gráficos que nos permiten evaluar el comportamiento de cualquier tipo de operación.



*Figura 18. Logo oficial EXCEL*

*Fuente: El nuevo diario (2018)*



*Figura 19. Hojas de Cálculo y diagramas de barras en EXCEL*

*Fuente: informaticasj.blogspot.com (2018)*

## **1.4 Formulación del Problema**

¿Qué arquitectura y especificaciones técnicas tendrá una máquina trituradora de botellas de plástico con capacidad de 25 kg/h para la recicladora BRAVO en el distrito de Túcume – Lambayeque?

## **1.5 Justificación e importancia del estudio**

### **1.5.1 Ambiental**

Con esta investigación se contribuirá a preservar el medio ambiente mediante un adecuado proceso de reciclaje. Además, que con el reciclaje reduciríamos el uso de materias primas, recursos naturales y energéticos necesarios para la fabricación de estos.

### **1.5.2 Económico**

La investigación tiene como objetivo generar mayores ganancias ya que actualmente el plástico triturado a comparación con el chancado tiene un mejor precio en el mercado.

### **1.5.3 Técnica**

Mediante el presente proyecto constituye un primer esfuerzo de brindar cálculos detallados de ingeniería para el diseño formal de este equipo. Para que esta pueda cumplir con las expectativas y necesidades que requiere la industria del reciclado.

## **1.6 Objetivos:**

### **1.6.1 Objetivos General**

Diseñar una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para obtener un beneficio económico en la empresa “BRAVO”, Tucume-Lambayeque.

### **1.6.2 Objetivos Específicos:**

- Identificar las necesidades de la empresa BRAVO, aplicando entrevistas al personal y extrayendo en términos de ingeniería las características necesarias para el diseño bajo normativa nacional y/o internacional.
- Obtener a través de una matriz de selección el concepto y la alternativa de solución adecuada y que cumpla con los requerimientos para el diseño de la máquina trituradora de botellas de plástico.
- Dimensionar la máquina trituradora de botellas de plástico empleando una metodología de diseño apoyado de los cálculos analíticos correspondientes.
- Realizar el análisis de viabilidad del proyecto.

## **1.7 Estado del Arte**

### **Plastics Machinery Serie TRSB**

Con la tecnología TRSB el material insertado en su interior es enganchado y desmenuzado por la cuchilla para reducir las dimensiones de las coladas o piezas, antes de que lleguen estas a las cuchillas dentadas, para así obtener el material final de la trituración. Asimismo, debido a su sistema de corte mediante rotor con cuchillas dentadas, se ha eliminado el uso de la rejilla para la dimensión del material, evitando así el atasco de la misma y obteniendo un acabado final homogéneo y compacto. Entre sus principales características se destaca el bajo consumo energético, bajas revoluciones de corte (25 rpm), bajo residuo de polvo (ideales para lugares donde no puede haber acumulación de polvo), bajos niveles de ruido. (Interpresas, Gstecnic, 2016)



*Figura 20. Plastics Machine Serie TRSB  
Fuente: Interempresas (2018)*

### **ZBS TRITURADOR ECONÓMICO PARA PLASTAS Y PURGAS**

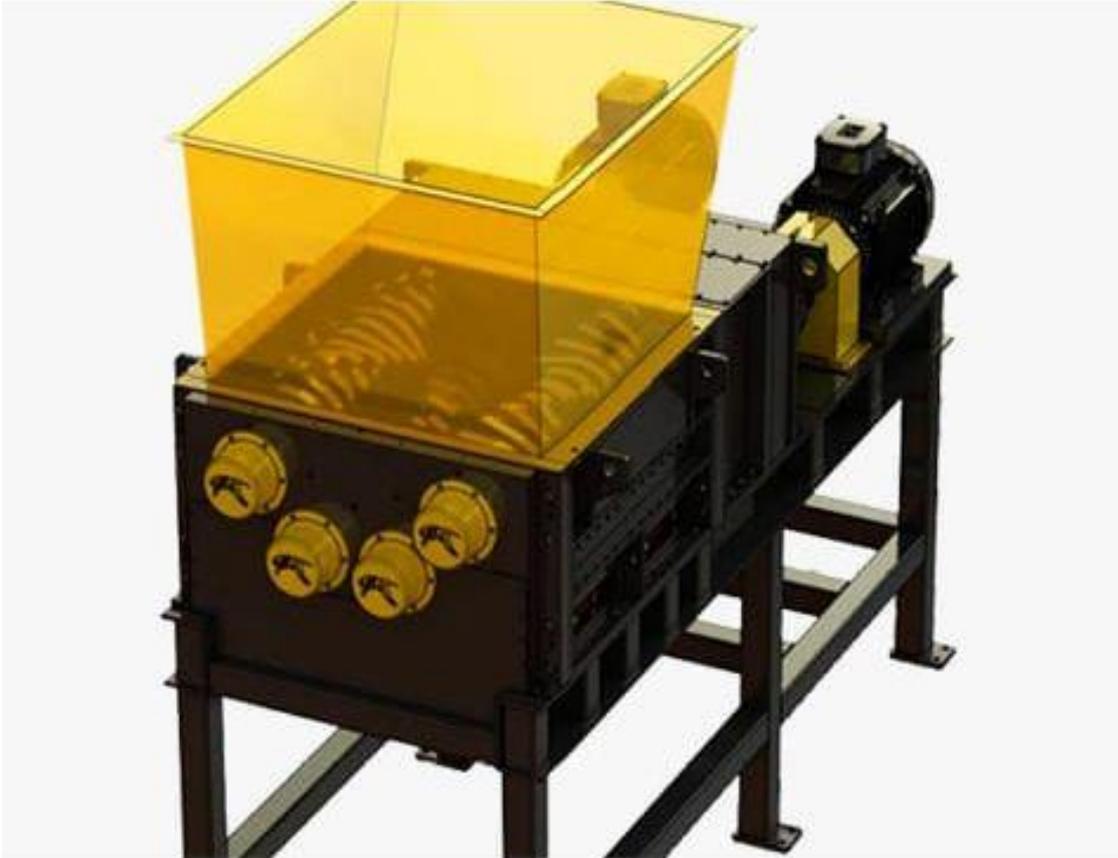
Los trituradores de la serie ZBS (Zerma Machinery & Recycling Technology Co. Ltd. Shanghai China 2016) poseen un solo eje y entrada tangencial para eliminar la necesidad de un sistema de alimentación hidráulica. El ahorro de espacio y su diseño de fácil manejo en combinación con los controles de encendido inmediato hacen este modelo muy flexible y fácil de instalar. Al igual que los modelos mayores en la serie ZS, estas máquinas vienen equipadas con cojinetes exteriores, con rotores E de 310 mm de diámetro y 600 o 850 mm de ancho, accionadas por una moto reductora sobredimensionado. Por otra parte, el uso de las eficaces cuchillas y porta cuchillas de ZERMA hacen más fácil su limpieza y mantenimiento.



*Figura 21. Triturador ZBS  
Fuente: SERMA México (2018)*

### **Trituradora de 4 ejes marca UNTHA RS 50**

Los materiales que trituran pasan por el cortador principal, donde se someten a un triturado previo y posterior en un solo paso de trabajo. El material que no pasa por la criba se traspa al mecanismo de corte secundario y se vuelven a impulsar hacia arriba a la cámara de corte para volver al proceso de triturar. La criba determina el tamaño de la fracción final. (UNTHA shredding technology GmbH, 2017)



*Figura 22. Trituradora de 4 ejes UNTHA RS 50  
Fuente: UNTHA (2018)*

### **TRITURADOR ZSS**

Los trituradores ZSS de un solo eje tienen un diseño con potente empujador de dos velocidades de swing. Lo que elimina el riesgo de bloqueo y el desgaste de los rieles interiores. Esta máquina es muy versátil y puede ser utilizada para triturar todo tipo de materiales en las diversas industrias. Los rotores de 457 mm de diámetro y de 850 a 2000 mm de ancho son controlados por uno o dos motos reductores sobredimensionados. El sistema hidráulico se encuentra dentro de la carcasa de la máquina lo que ahorra espacio y lo protege, pero aun así permite su fácil acceso y mantenimiento. El rotor E estándar cuenta con el avanzado diseño de cuchillas y porta cuchillas ZERMA, así como cojinetes externos y soporte de criba hidráulico. Estas máquinas pueden ser adaptadas para distintas opciones: refrigeración o revestimiento reforzado, además de otras opciones según el desgaste. (Zerma Machinery & Recycling Technology Co. Ltd. Shanghai China 2016).



*Figura 23. Trituradora de 1 ejes ZSS 2013  
Fuente: MEXTEND (2018)*

# **CAPÍTULO II**

## **MÉTODO**

## **II. MÉTODO**

### **2.1 Tipo y diseño de la investigación:**

Tipo: Aplicada

Diseño: Investigación casi-experimental

### **2.2 Variables**

En el apartado 1.3.6 “Partes de una máquina trituradora de plástico”, se encuentran las partes más críticas de la maquina las cuales serán sometidas a un diseño paramétrico, estas son el sistema de trituración (cuchillas o elementos cortantes) y sistema de transmisión (eje). Estos elementos serán evaluados en función a las variables independientes y dependientes mostradas a continuación.

#### **2.2.1 Variables para el sistema de trituración**

##### **Variables independientes:**

- Número de cuchillas
- Espesor de la cuchilla
- Velocidad de corte
- Fuerza de corte

##### **Variables dependientes:**

- Esfuerzo de Von Mises
- Deformación unitaria
- Factor de seguridad

#### **2.2.2 Variables para el sistema de transmisión (eje)**

##### **Variables independientes:**

- Resistencia del material

- Fuerza de corte
- Diámetro del eje

**Variables dependientes:**

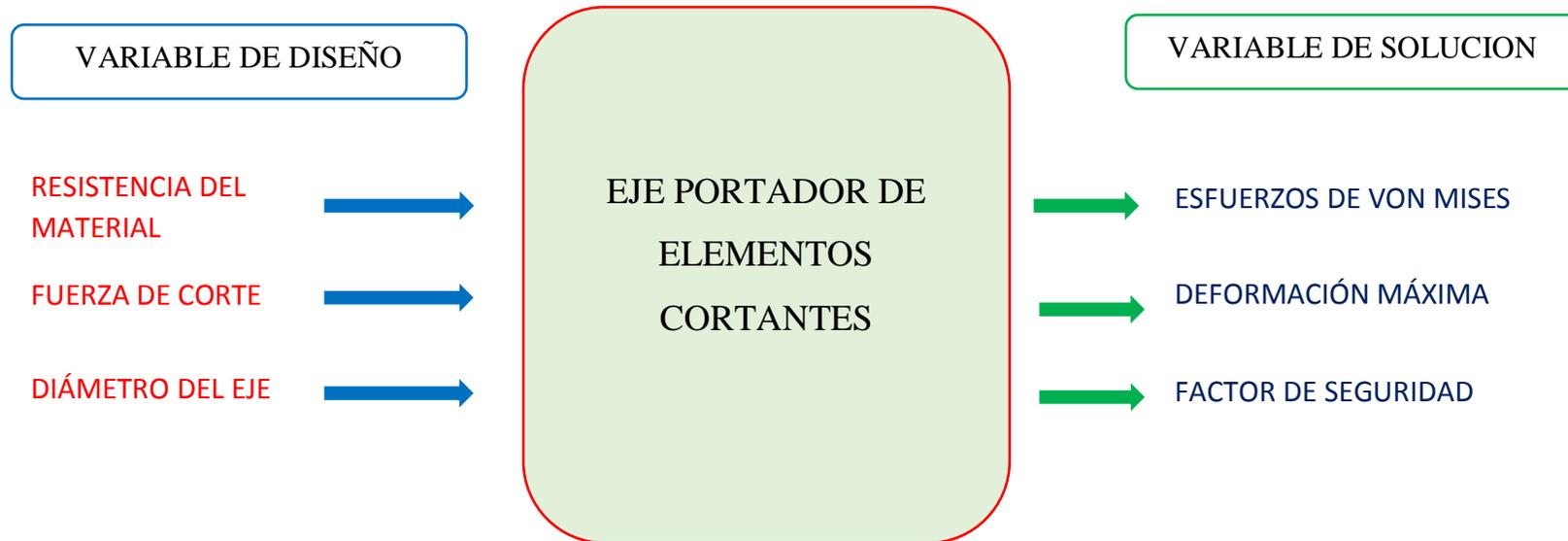
- Esfuerzo de Von Mises
- Deformación máxima
- Factor de seguridad

### **2.2.3 Caja negra para variables**

La caja negra o black box es un sistema cuyo funcionamiento interno es desconocido, pero posee entradas o inputs que experimentan unas determinadas transformaciones en el interior de la caja y que, como consecuencia de esto, brindan unas salidas u outputs (Nava, T. et al., 2013). En nuestro caso las variables de entrada serán las variables independientes, y las variables de salida, variables dependientes.



**Figura 24.** Caja negra para el diseño de elementos cortantes  
**Fuente:** Propia



*Figura 25. Caja negra para el diseño de eje*  
*Fuente: Propia*

## 2.2.4 Operacionalización de Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables para los elementos cortantes*

	VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADOR	ESCALA
VARIABLES DEPENDIENTES	Número de Cuchillas	Cantidad de elementos cortantes	Cantidad (N)	Adim
	Espesor de la Cuchilla	Distancia entre caras paralelas de las cuchillas.	Longitud (e)	mm
	Velocidad de corte	Velocidad instantánea del extremo de la cuchilla durante la operación de corte.	Velocidad (v)	m/s
	Fuerza de corte	Carga aplicada sobre el plástico para realizar el cizallamiento deseado.	Fuerza (Fc)	N
VARIABLES INDEPENDIENTES	Esfuerzo de Von Mises	Permite sustituir esfuerzo combinados multiaxiales tensionales y cortantes por esfuerzos de tensión equivalente.	Esfuerzo ( $\sigma$ )	MPa
	Deformación unitaria	Relación entre la deformación total y la longitud inicial de un elemento.	Longitud/Longitud ( $\epsilon$ )	Adim
	Factor de Seguridad	Cociente entre el esfuerzo máximo permitido y el valor del esfuerzo máximo aplicado.	$\frac{\text{Resistencia de falla}}{\text{esfuerzo adm}}$ (FS)	Adim

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 2***Operacionalización de variables para el diseño del eje*

	VARIABLES	DEFINICIÓN	INDICADOR	ESCALA
VARIABLES DE DEPENDIENTE	Resistencia del material del eje	Capacidad de soportar niveles de esfuerzo sin generarse una falla.	Resistencia ( $S_y$ )	MPa
	Fuerza de corte	Carga aplicada sobre el plástico para realizar el cizallamiento deseado.	Fuerza ( $F_c$ )	N
	Diámetro del eje	Distancia máxima entre dos puntos equidistante en la circunferencia del eje.	Longitud ( $D$ )	mm
VARIABLES DE INDEPENDIENTE	Esfuerzo de Von Mises	Permite sustituir esfuerzo combinados multiaxiales tensionales y cortantes por esfuerzos de tensión equivalente.	Esfuerzo ( $\sigma$ )	MPa
	Deformación máxima	Valor máximo de deformación en el cuerpo del elemento.	Longitud ( $\delta$ )	Adim
	Factor de Seguridad	Cociente entre el esfuerzo máximo permitido y el valor del esfuerzo máximo aplicado.	$\frac{\text{Resistencia de falla}}{\text{esfuerzo adm}}$ (FS)	Adim

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

## **2.3 Población y Muestra**

No aplicable para este tipo de investigación

## **2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1 Técnicas de Recolección de Datos, validez y confiabilidad**

Con el objetivo de realizar una buena investigación, se desarrollaron técnicas de recolección de datos que ayude a obtener información muy importante y necesaria que nos ayude a cumplir con los objetivos de nuestra investigación. Estas técnicas se mencionan continuación.

#### **A) Observación**

Este es el primer paso fundamental en toda la investigación consiste en percibir los acontecimientos del mundo exterior a través de nuestros sentidos o el registro de información por medio de herramientas y equipos científicos. Toda la información registrada nos permitirá realizar comparaciones, describir y registrar la información para la investigación.

Para la investigación se realizará primeramente las visitas técnicas al centro de labores de la recicladora “BRAVO”, para poder obtener información que nos brinden los trabajadores y así poder establecer la problemática por la cual está pasando dicha empresa.

Con las visitas continuas hechas en la empresa recicladora, podemos encontrar los problemas que suceden al momento de triturar el plástico. Y se observa que la maquina con la que cuentan para tal proceso es deficiente y no se logra una trituración como se requiere.

## **B) Información Bibliográfica**

Para esta parte se utiliza esta técnica para obtener información importante registrada en tesis, papers, revistas científicas, que nos ayudara a tener un mejor entendimiento del tema a realizar y poder realizar una correcta evaluación del diseño de la máquina trituradora de plástico para la empresa “BRAVO”.

## **C) Análisis de Documentos**

Esta técnica su usa para establecer la correcta información de los materiales bibliográficos seleccionando cuidadosamente los contenidos que nos proporcionen la información adecuada para poder lograr un mejor entendimiento del tema para poder evaluar de manera correcta el diseño de la máquina trituradora de plástico.

### **2.4.2 Instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.**

Los instrumentos empleados para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Laptop
- Celulares
- Cámara fotográfica
- Internet
- Encuestas
- Instrumentos de medición

## **A) Guías de Observación**

Como guías de observación para la documentación de datos de la recicladora “BRAVO”, tendremos en cuenta los siguientes puntos:

- Ambiente de trabajo.
- Equipos y maquinaria de trabajo.
- Tipo de material que recicla.

## **B) Cuestionarios**

Se elaborarán cuestionarios para entrevistar a las personas más allegadas a la empresa y/o con personas con experiencia en el tema sobre el diseño de máquina trituradora de plástico.

### **2.4.3 Procedimientos para la recolección de datos**

#### **Etapa 1: Elaboración de entrevista**

En esta etapa se elaboran las preguntas que se van a realizar al dueño y los trabajadores de la empresa “BRAVO”, referenciando los aspectos técnicos que necesitamos para un futuro diseño de la máquina trituradora de plástico.

#### **Etapa 2: Establecer fechas para entrevistas**

En esta parte estableceremos las fechas en que realizaremos las encuestas a los trabajadores de la empresa recicladora “BRAVO”. Para desarrollar esta etapa se ha establecido dos días para las respectivas entrevistas.

#### **Etapa 3: Ejecución de las entrevistas**

Se realizan las entrevistas al dueño y trabajadores de la empresa para poder tener una referencia de acuerdo al grado de satisfacción de cada entrevistado para poder tener una guía para próximo diseño de la máquina trituradora de plástico.

#### **Etapa 4: Reconocer la problemática de la empresa**

En esta etapa una vez realizada las entrevistas evaluamos las respuestas de los trabajadores y se obtiene los problemas presentados en la empresa.

#### **Etapa 5: Inspección de la Zona de Trabajo**

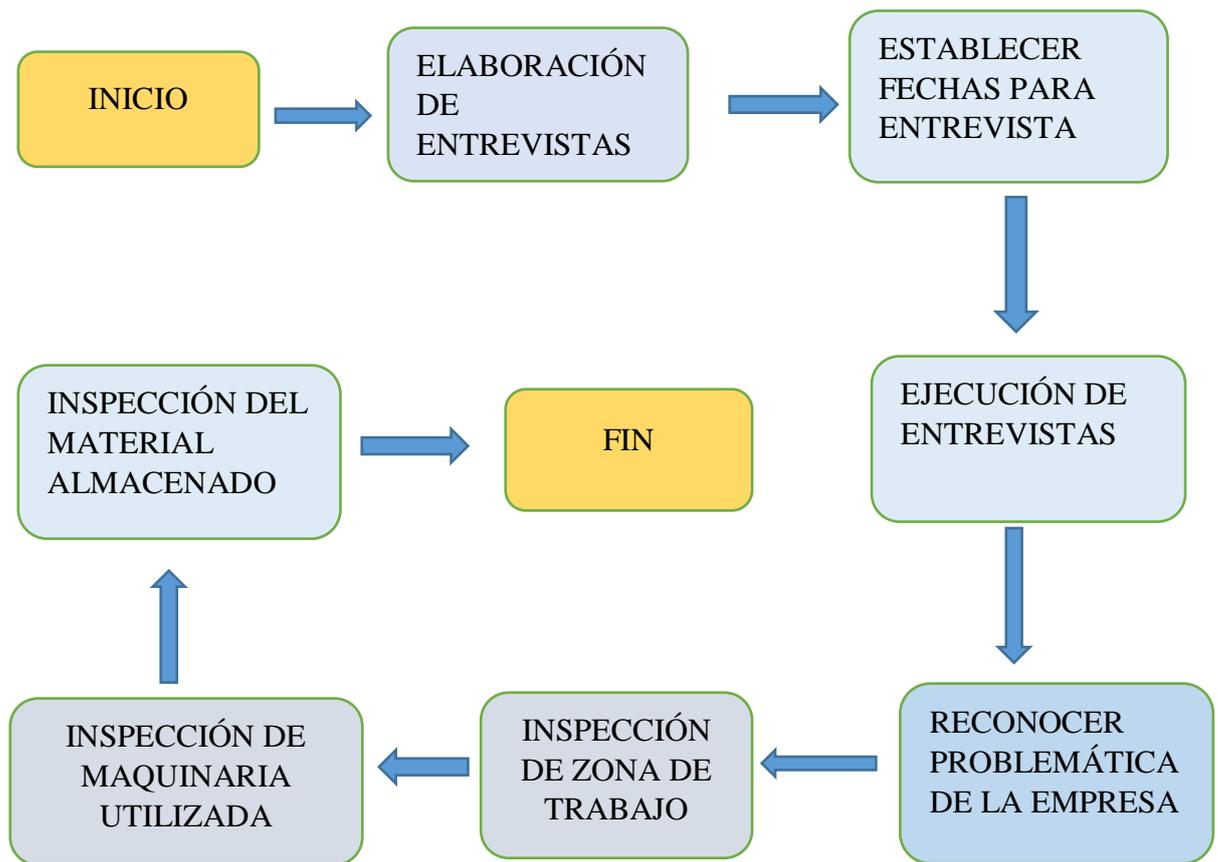
Se observa las condiciones de trabajo en que se realizan las labores en la empresa, y tener posibles soluciones a los problemas encontrados.

### **Etapa 6: Inspección del tipo de maquinaria utilizada**

Se realiza una inspección de la maquinaria usada para el reciclaje, y tener datos valiosos que nos ayuden a proponer un mejor diseño.

### **Etapa 7: Evaluación de material almacenado**

Se verifica el tipo de material de plástico que más se compra y tener referencias del material a triturar para una futura construcción de la máquina trituradora de plástico.



*Figura 26. Esquema de recolección de datos*

*Fuente: Propia*

## **2.5 Métodos de Análisis de datos**

Los resultados obtenidos de las entrevistas se organizan los resultados mediante el uso de tablas de doble entrada que nos ayuden a relacionar la información con los datos del entrevistado con el fin de observar la información obtenida.

## **2.6 Principios de Rigor Científico**

El presente trabajo tendrá en cuenta los siguientes principios:

### **A) Validez**

Se seleccionará cuidadosamente las variables más importantes y relacionadas con la problemática.

### **B) Generalización**

En esta parte la entrevistase tiene que realizarse cuidadosamente teniendo que ser coordinada y ejecutada adecuadamente.

### **C) Fiabilidad**

Al momento de obtener los resultados finales se revisarán cuidadosamente la metodología empleada.

### **D) Replicabilidad**

Los protocolos y métodos estarán guiados a favorecer la repetición de los resultados en trabajos de investigación anteriores.

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS**

### **III. RESULTADOS:**

#### **3.1 Necesidades de la empresa**

Las necesidades de la empresa se obtuvieron mediante la realización de tres (3) entrevistas cuyo formato se puede ver en el Anexo N° 3. Los entrevistados fueron el Gerente y 2 operarios encargados del proceso de selección del plástico. En el Anexo N° 4 se encuentran las entrevistas firmadas. En la Tabla N° 3 se resume los resultados de las entrevistas y se realiza un análisis de las repuestas dadas por los entrevistados de donde se obtienen las conclusiones que se listan a continuación.

#### **Pregunta N° 1: ¿Cuántos kilogramos diarios de botellas de plástico se almacenan en su local?**

De las entrevistas realizadas se concluye que la cantidad promedio de almacenamiento diario es: 200 kg/día.

#### **Pregunta N° 2: ¿Cuántos operarios trabajan en el prensado o chancado de botellas?**

Para el trabajo del chancado de botellas se emplean dos operarios.

#### **Pregunta N° 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el chancado de botellas de plástico?**

De los entrevistados todos coinciden que hay una compactación y triturado insuficiente.

#### **Pregunta N° 4: ¿Cuántos kilos procesan diariamente en el chancado de botellas?**

Compactan un promedio de 86.6 kg/día.

#### **Pregunta N° 5: ¿Según su opinión cree que el plástico triturado es mejor pagado que el plástico prensado?**

Los entrevistados coinciden que sí.

**Pregunta N° 6: ¿Estaría interesado en poseer una máquina trituradora de botellas de plástico? ¿Qué características quiere que tenga la máquina?**

Todos los entrevistados concuerdan que si están interesados en contar con un sistema de trituración mecánico que tenga como características: que sea fácil de operar y que sea eficiente.

**Pregunta N° 7: ¿Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, cuanto cree que sería su producción diaria, piensa que sería de gran ayuda para su empresa?**

Los entrevistados expresan que con una producción diaria de 200kg/día sería de buena ayuda para su empresa ya que al día entra un promedio de 150 a 200 kg de plástico.

**Pregunta N° 8: ¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?**

Una máquina semiautomática donde pueda trabajar un operario y que sea fácil de operar.

**Pregunta N° 9: ¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina (Ejemplo: 5mx6mx7m)?**

La empresa recicladora cuenta con un espacio disponible de 2 metros de ancho, tres metros de largo y 1 metros de altura (2x3x6).

**Pregunta N° 10: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?**

Lo que estarían dispuestos a pagar entra en un rango de S/.2000 a S/.3000 soles

**Pregunta N° 11: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?**

De los entrevistados solo uno conoce del tema y expresa que el periodo de recuperación sería de 2 años.

**Tabla 3***Resultado de entrevista a los trabajadores de la empresa recicladora “Bravo”*

<b>PREGUNTAS</b>	<b>CARLOS BRAVO</b>	<b>JUAN CHAPOÑAN</b>	<b>JOSÉ BRAVO</b>
<b>¿Cuántos kilogramos diarios de botellas de plástico de almacenan en su local?</b>	200-250 kg/día	200 kg/día	200 kg/día
<b>¿Cuántos operarios trabajan en el chancado de botellas?</b>	2	2	2
<b>¿Qué dificultades encuentra en el triturado de botellas?</b>	Trituración deficiente	Compactación insuficiente	Compactación deficiente
<b>¿Cuántos kilos procesan al día en el chancado de botellas?</b>	80 kg/día	100 kg/día	80 kg/día
<b>¿El plástico triturado es mejor pagado que el plástico ¿prensado?</b>	Si	Si	Si
<b>¿Estaría interesado en poseer una máquina trituradora de plástico? ¿Qué características quisiera que tenga?</b>	Si	Si	Si

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 4**

Resultado de entrevista a los trabajadores de la empresa recicladora “Bravo”.

(Continuación)

<b>PREGUNTAS</b>	<b>CARLOS BRAVO</b>	<b>JUAN CHAPOÑAN</b>	<b>JOSÉ BRAVO</b>
<b>Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, ¿cuánto cree que sería su producción diaria?, piensa que sería de gran ayuda para su empresa??</b>	200 kg/día	200-250 kg/día	200 kg/día
<b>¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?</b>	Semi automática	Semi automática	Semi automática
<b>¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina?</b>	2x3x6 m	2x3x6 m	2x3x6 m
<b>¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?</b>	S/. 2000.00	S/. 3000.00	S/. 2000.00
<b>¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?</b>	2 años	No Sabe	No Sabe

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

### 3.2 Recomendaciones de Diseño

Después de realizar una minuciosa búsqueda a nivel mundial de códigos, normas, estándares de diseño y trabajos académicos similares, se logró recopilar una serie de recomendaciones que ayudaran a mejorar el diseño de la máquina trituradora de plástico las cuales se detallan en las Tablas N° 5 y N° 6.

**Tabla 5**

*Recomendaciones para el diseño de máquina trituradora de plástico*

ASPECTO/ CRITERIO	RECOMENDACIÓN	FUENTE
<b>MATERIALES</b>	Principales materiales a usar por la resistencia límite a la fluencia en trituradoras de PET Planchas de acero al carbono: AISI 1010 =1837 kg/cm <sup>2</sup> Angulares para estructuras: ASTM A36=2530 kg/cm <sup>2</sup> Ejes de acero al carbono: AISI 1045 = 3163 kg/cm <sup>2</sup>	W. Miranda 2014
	El material usado para la estructura que soporta el rodillo triturador es ángulo de 1"x 1/8 de material AISI 1010	
	El material que se utilizara en la construcción de la Navaja es ACERO SISA A2 debido a sus características las cuales ofrece una combinación de buena tenacidad	A. García et.al 2014
	El material para ejes principales y secundarios será de ACERO AISI 1045 pues es de acero al carbono con buenas propiedades mecánicas. El material para las cuchillas será de acero AISI D2 este acero es idóneo para trabajar con plásticos donde se requiere alta resistencia al desgaste	J. Mayorga 2016

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 6***Recomendaciones para el diseño de máquina trituradora de plástico (Continuación)**Fuente: Propia*

	<p>La máquina trituradora constara de 8 Navajas distribuidas, 4 en cada eje para lograr el objetivo de una trituración uniforme.</p> <p>El sistema incluye dos engranes con un dentado de 30 c/u. conectados los 2 al eje de navajas de manera que uno dé sentido horario y el otra anti horario; para que las navajas extraigan el material PET para ser triturado.</p>	<p>A. García et.al 2014</p>
<b>COMPONENTES</b>	<p>El sistema de trituración compuesto por un rodillo equipado de cuchillas y dos chumaceras para el descanso del eje portacuchilla.</p> <p>El sistema de transmisión compuesta por una polea acoplada al rodillo que por medio de una correa se conecta a la polea del motor eléctrico y dos soportes de pie.</p> <p>El sistema de selección está compuesta por un Tamiz que lleva unas perforaciones según el tamaño requerido.</p>	<p>W. Miranda 2014</p>
<b>GEOMETRIA</b>	<p>El ángulo de corte e las cuchillas deben ser los siguientes</p> <p>Angulo de corte: <math>\beta=70^\circ</math> a <math>80^\circ</math></p> <p>Angulo de ataque: <math>\alpha=4^\circ</math> a <math>6^\circ</math></p> <p>Angulo de abertura: <math>Y= 8^\circ</math> a <math>10^\circ</math></p>	<p>R.Portalanza, I.Rodríguez 2013</p>

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

Para una mejor selección de nuestra maquina se presentan a continuación cuatro (4) opciones de solución y de las cuales poder elegir la más adecuada que permita satisfacer las necesidades de la empresa. Estas soluciones se analizarán detalladamente en los siguientes párrafos.

### **3.3 Diseño conceptual**

#### **3.3.1 Concepto 1: Máquina trituradora en Base a Martillos**

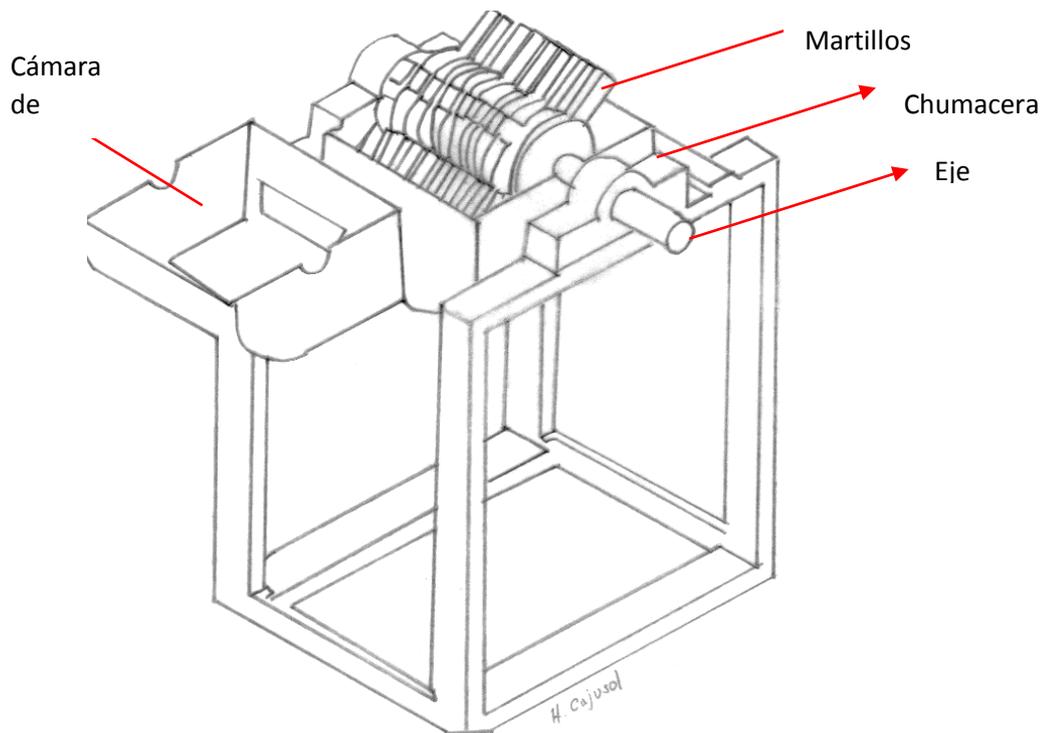
Este concepto (ver Figura 27) se basó en el diseño elaborado por Sagastegui (Sagastegui, 2003). Este tipo de máquinas son utilizadas para minimizar el volumen de los residuos plásticos a través de un sistema de mecanismos de cribas y martillos para así obtener el tamaño requerido. Este tipo de sistema consiste en una serie de barras en movimiento libre circular, los cuales están sujetos a unos pivotes y a un eje rotatorio. Al ingresar las botellas a través de una tolva incorporada son desmenuzadas por los martillos y luego pasan por las cribas las cuales determinan el tamaño de las partículas de plástico.

#### **Ventajas**

Una de sus principales ventajas de estos equipos es que son muy versátiles en su operación ya que es muy fácil que el operario pueda trabajar sin problemas. También son muy prácticos al momento del cambio de martillos y cribas, a la vez son de fácil mantenimiento.

#### **Desventajas**

Para lograr un tamaño deseado dependerá de la velocidad de rotación por lo que se tendrá que acoplar un sistema de variador de velocidad lo que conlleva a un mayor gasto de fabricación. A la vez por sus altas revoluciones de trabajo hay material que no se llega a triturar por completo y hay que volverlo a procesar nuevamente, también presenta inconvenientes por atascamientos.



**Figura 27. Concepto 1 Molino De Martillos**  
**Fuente: Alex Ortiz (2013)**

### 3.3.2 Concepto 2: Máquina trituradora en base de cuchillas

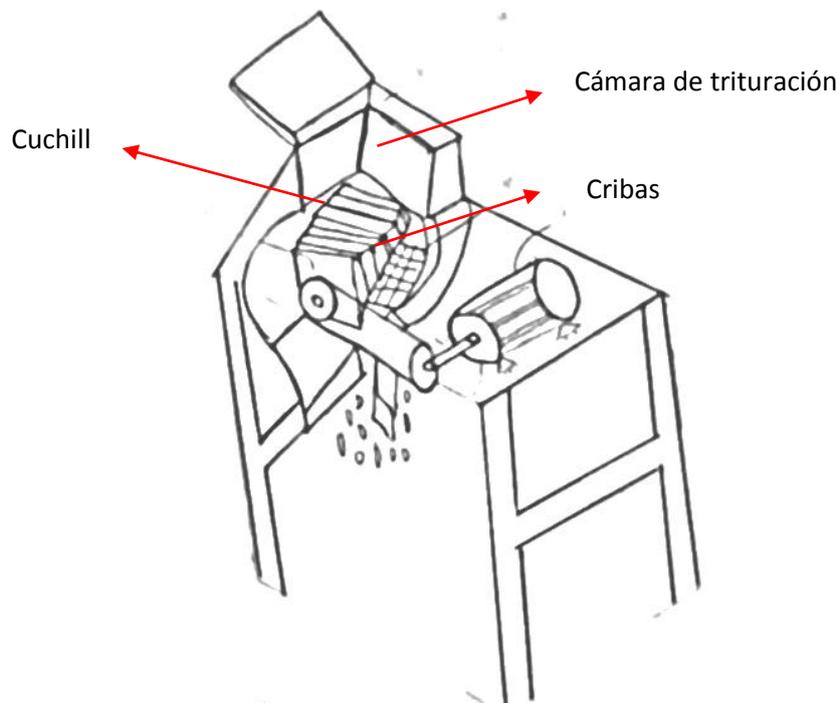
Este concepto tiene su origen en el trabajo de Mauricio Falconi y Robinson Tiaguaro (2009). Este tipo de trituradora está conformado por un eje porta cuchillas que tiene dos aletas, que ayudan al arrastre del material para ser triturado (ver Figura 28). En sus extremos se alojan dos cuchillas fijadas por medio de pernos, cuenta con una cámara de trituración donde se alojan las cuchillas fijas en la parte frontal y posterior, también ahí se encuentra alojado un tamiz que determina el tamaño del material a triturar. Estas máquinas cuentan con una producción de 10 kg/h.

#### **Ventajas**

Las ventajas de estas máquinas que cuentan con un fácil mantenimiento, son muy fáciles de transportar lo que las hace muy prácticas, son de operación sencillas, no consume mucha energía para su funcionamiento. Las cuchillas son fáciles de afilar y a la vez son de fácil adquisición en el mercado nacional y local.

## Desventajas

Una de las principales desventajas de este tipo de máquinas es que al momento de iniciar la producción producen mucho ruido causando malestar auditivo para el operario. También otro inconveniente es que para la construcción del eje del rotor con las dos aletas resulta difícil, también ofrecen una producción muy baja lo cual lo hace muy limitada.



**Figura 28.** Máquina Trituradora de cuchillas  
**Fuente:** A. Vascones (2013)

### 3.3.3 Concepto 3: Máquina trituradora en base a rodillos

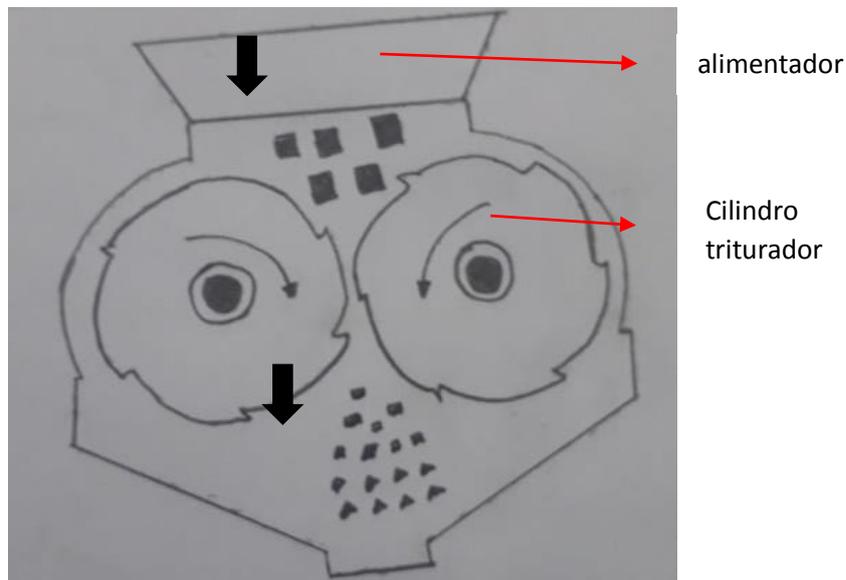
Este concepto se basa en el trabajo de Luis Portalanza y Eduardo Rodríguez (2013) (ver Figura 29). Este modelo de máquina se basa en dos rodillos de ejes paralelos que se encuentran girando en sentido inverso y a una misma velocidad de rotación, una vez entrando en contacto las botellas de plástico con los rodillos estos ejercen una presión sobre el material y así logrando entre ellos formar una cámara de trituración en forma de V.

## Ventajas

Estas trituradoras ofrecen grandes bocas de alimentación que son adecuadas para materiales de dureza media, tienen grandes fuerzas de trituración, alta capacidad de producción, fácil instalación y de mantenimiento muy bajo en costo.

## Desventajas

Una de las principales desventajas de este tipo de trituradoras es que como su principio de trituración es por fricción los rodillos tiende a sufrir desgastes lo cual lo hace que se genere gastos comprar nuevos rodillos.



**Figura 29.** Máquina Trituradora de rodillos  
**Fuente:** A. Vascones (2013)

### 3.3.4 Concepto 4: Máquina trituradora basada en el modelo de impacto

Este concepto se basa en el trabajo de Luis Portalanza y Eduardo Rodríguez (2013). Constituye en un sistema de trituración por comprensión, pues entre más rápida sea la fuerza de aplicación es más rápida la fractura del material por el aumento de la energía cinética, concentrando la fuerza de fragmentación en un solo punto

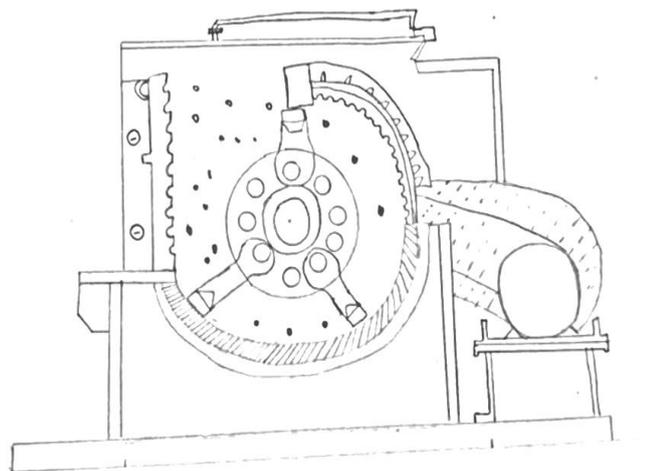
produciendo partículas que se fracturan rápidamente al límite. Consta de un rotor horizontal acoplados a unos martillos fijos o pivotantes encajados en una carcasa, en la parte inferior está ubicada un tamiz fijo (ver Figura 30).

### **Ventajas**

Estas máquinas producen un amplio rango de tamaño de partículas, pueden operar con cualquier tipo de material, tiene un bajo costo en la compra inicial, ofrece un bajo costo de mantenimiento.

### **Desventajas**

Son bajos en eficiencia, generan calor debido a la fricción que se generan en los martillos con la parte fija del tamiz, son muy ruidosas al momento de la producción y también generan mucho polvo, a la vez una de sus principales desventajas es que no tienen uniformidad en el tamaño de las partículas.



**Figura 30.** Máquina Trituradora de rodillos  
**Fuente:** A. Vascones (2013)

## **3.4 Determinación del concepto optimo**

Se escogió la alternativa óptima mediante una matriz de selección ponderada de la como la presentada por Eggert, R. (2010), (ver Tabla 7).

**Tabla 7***Conceptos alternativos de una recicladora de plástico*

CRITERIO	PESO	CONCEPTOS ALTERNATIVOS							
		CONCEPTO 1		CONCEPTO 2		CONCEPTO 3		CONCEPTO 4	
		VAL	CAL	VAL	CAL	VAL	CAL	VAL	CAL
EFICIENCIA	25%	3	0.75	4	1	2	0.5	4	1
CONFIABILIDAD	20%	2	0.4	4	0.8	3	0.6	4	0.8
MANTENIMIENTO	15%	4	0.6	4	0.6	1	0.15	3	0.45
COSTO	15%	1	0.15	3	0.45	3	0.45	3	0.45
PESO	10%	3	0.3	4	0.4	1	0.1	2	0.2
RUIDO	10%	2	0.2	4	0.4	2	0.2	1	0.1
ESTÉTICA	5%	1	0.05	4	0.2	1	0.05	3	0.15
TOTAL	100%		2.45		3.85		2.05		3.15
RANKING			3°		1°		4°		2°

*Nota. Fuente: Elaboración propia***Tabla 8***Indicadores*

PUNTUACIÓN	EXPLICACIÓN
1	INSATISFECHO
2	POCO SATISFECHO
3	SATISFECHO
4	MUY SATISFECHO

INDICADORES	
CRITERIO	PESO
EFICIENCIA	25%
CONFIABILIDAD	20%
MANTENIMIENTO	15%
COSTO	15%
PESO	10%
RUIDO	10%
ESTÉTICA	5%

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

Se tomaron en cuenta los criterios (Tabla 8) para la evaluación del diseño de una maquina recicladora de plástico. Obteniendo como criterios estratégicos a evaluar los que se muestra a continuación:

- Eficiencia: Se consideró este criterio debido las pérdidas energéticas que reducen las ganancias, siendo este el de mayor prioridad.
- Confiabilidad: Este criterio permite evaluar el desempeño de la recicladora en los momentos críticos de solicitud del equipo, siendo este un factor importante en el diseño.
- Mantenimiento: Se consideró este criterio debido que se debe evaluar con facilidad el mantenimiento de la máquina.
- Costo: Este criterio permite evaluar el costo que se generaría para poder fabricar esta máquina.
- Peso: Se consideró este criterio debido a que la recicladora debe ser transportable.
- Ruido: Este criterio considera el cuidado del sentido auditivo del operario.
- Estética: Se consideró este criterio para que el operario tenga un mejor cuidado con la máquina.

El peso ponderado otorgado a cada criterio se basa la prioridad de cada uno de ellos y recomendaciones del artículo: “Design of Used PET Bottles Crushing Machine for Small Scale Industrial Applications” (Ikpe Aniekan E., 2017)

Mediante los indicadores a través de la selección de la alternativa óptima de la matriz ponderada fueron elegidos de acuerdo a los criterios más sobresalientes obtenidos de las entrevistas realizadas a la empresa recicladora BRAVO.

El ranking obtenido de la matriz de selección ponderada indica que el concepto número 4 para la maquina recicladora por trituración es la más óptima. Por lo tanto, esa será la base de solución conceptual para el diseño paramétrico.

### **Asignación de calificativos**

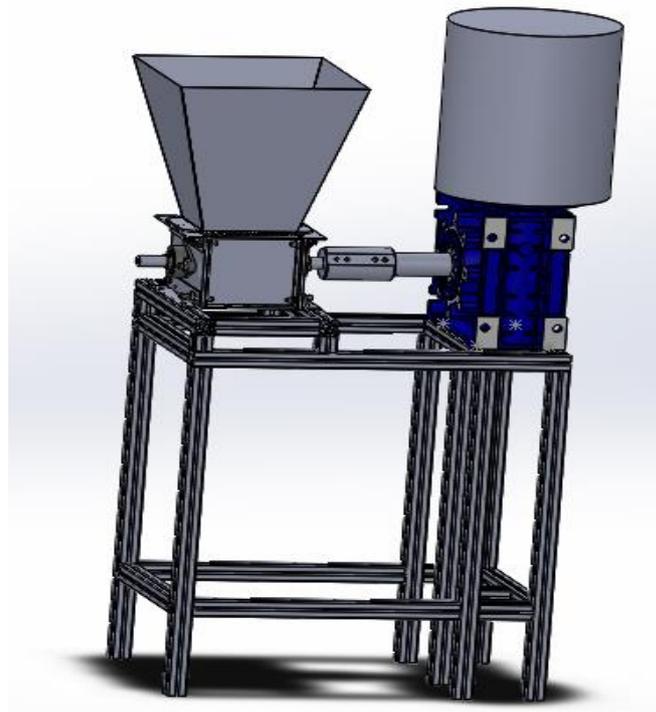
La matriz de selección ponderada en la recta vertical izquierda cuenta con los criterios de selección obtenidos a través de las entrevistas realizadas, los cuales evaluarán a las alternativas de diseño que se encuentran ubicadas en la recta

horizontal superior. A los criterios se le fue asignando una ponderación según la importancia de cada uno, la valoración que se asignó a cada alternativa de diseño fue dada de la siguiente manera: insatisfecho (1); Poco satisfecho (2); Satisfecho (3); Muy satisfecho (4), y la calificación ponderada se obtuvo multiplicando el porcentaje (%) por la valoración para finalmente obtener un ranking de los conceptos alternativos.

### 3.5 Diseño de configuración

#### Configuración N° 1 Transmisión por Acoplamiento y caja reductora

En esta configuración se emplea una transmisión por acoplamiento por caja reductora al eje principal de la máquina trituradora, este tipo de transmisión permite reducir ruidos y vibraciones, también ayuda a multiplicar el par de torsión generada por el motor acoplado en ella y así aumentar la cantidad de trabajo a utilizar. Son más compactas que otros sistemas de transmisión. La disposición de los elementos en esta configuración se puede ver en la Figura 31.

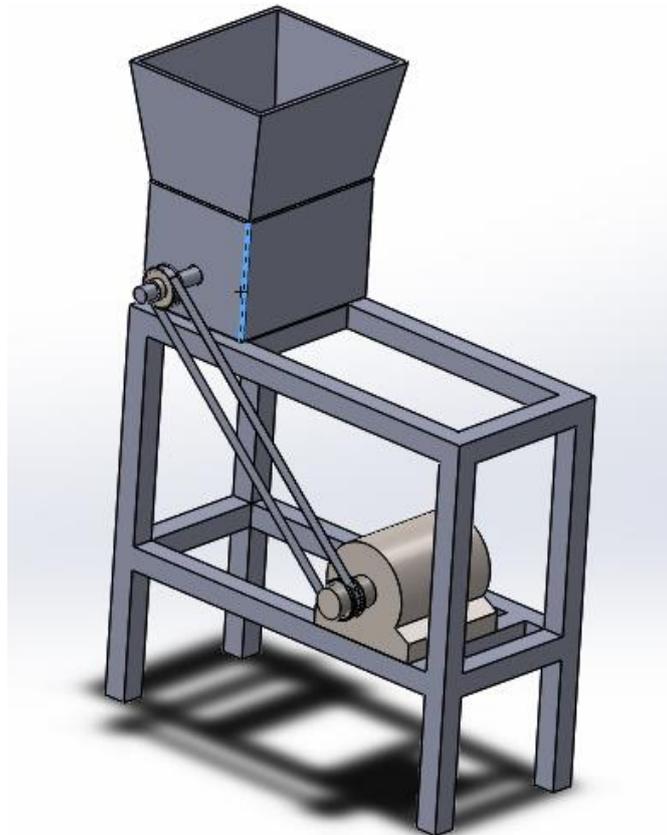


**Figura 31.** Configuración N°1 Transmisión por caja reductora  
*Fuente: Propia*

## Configuración N° 2 Transmisión por Fajas y poleas

En la siguiente configuración (ver Figura 32) se presenta la máquina trituradora con una transmisión mediante fajas y poleas, este tipo de accionamiento nos permite unir el eje conductor al conducido a distancias relativamente grandes, permite una transmisión silenciosa, además trabajan como fusible mecánico debido a que presentan una carga límite de transmisión, cuyo valor al ser superado produce un fenómeno llamado patinaje o resbalamiento entre la correa y la polea.

Una de las desventajas de este tipo de sistema es que la relación de transmisión cinemática no es constante debido al deslizamiento elástico. Las grandes cargas generadas en los ejes y los apoyos conllevan a grandes pérdidas de potencia por fricción, a la vez que la vida útil de las fajas se ve reducida.



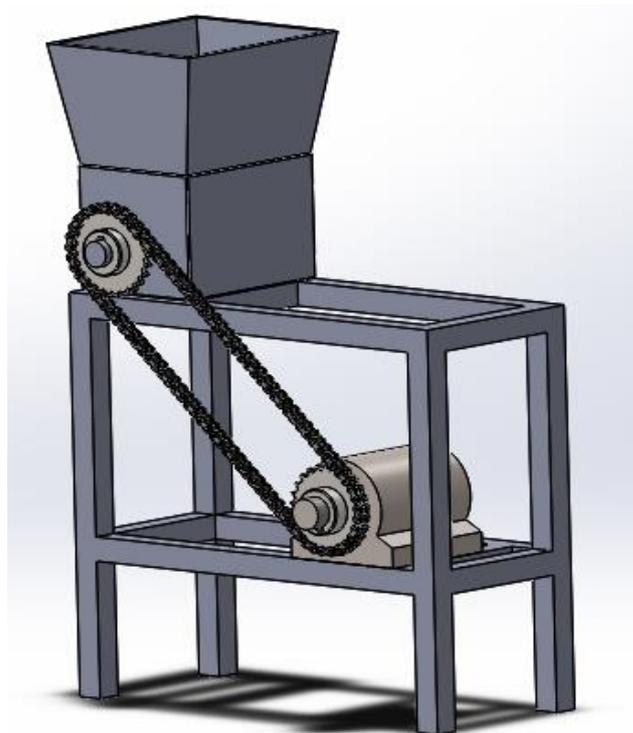
**Figura 32.** Configuración N°2 Transmisión por fajas y poleas

**Fuente:** Propia

### **Configuración N° 3 Transmisión por Cadena**

En esta configuración (ver Figura 33) se presenta a la máquina trituradora con sistema de transmisión por cadenas el cual permite obtener rendimientos elevados del orden del 98%, dado que se excluyen problemas de deslizamiento entre los componentes del sistema. Con el sistema de transmisión se puede transmitir rotación a varios árboles o ejes con una misma cadena.

Las desventajas en este sistema de transmisión tienen elevados costos de sus componentes, requieren montajes precisos con el objetivo de evitar que alguna de las caras de la cadena se someta a cargas superiores y falle por fatiga anticipadamente, es decir se afecte la vida útil de los componentes y además requieren prácticas de mantenimiento minuciosos y procesos de lubricación.



**Figura 33.** Configuración N°3 Transmisión por Cadenas

**Fuente:** Propia

**Tabla 9***Matriz ponderada de selección del sistema de transmisión óptimo para máquina trituradora de plástico*

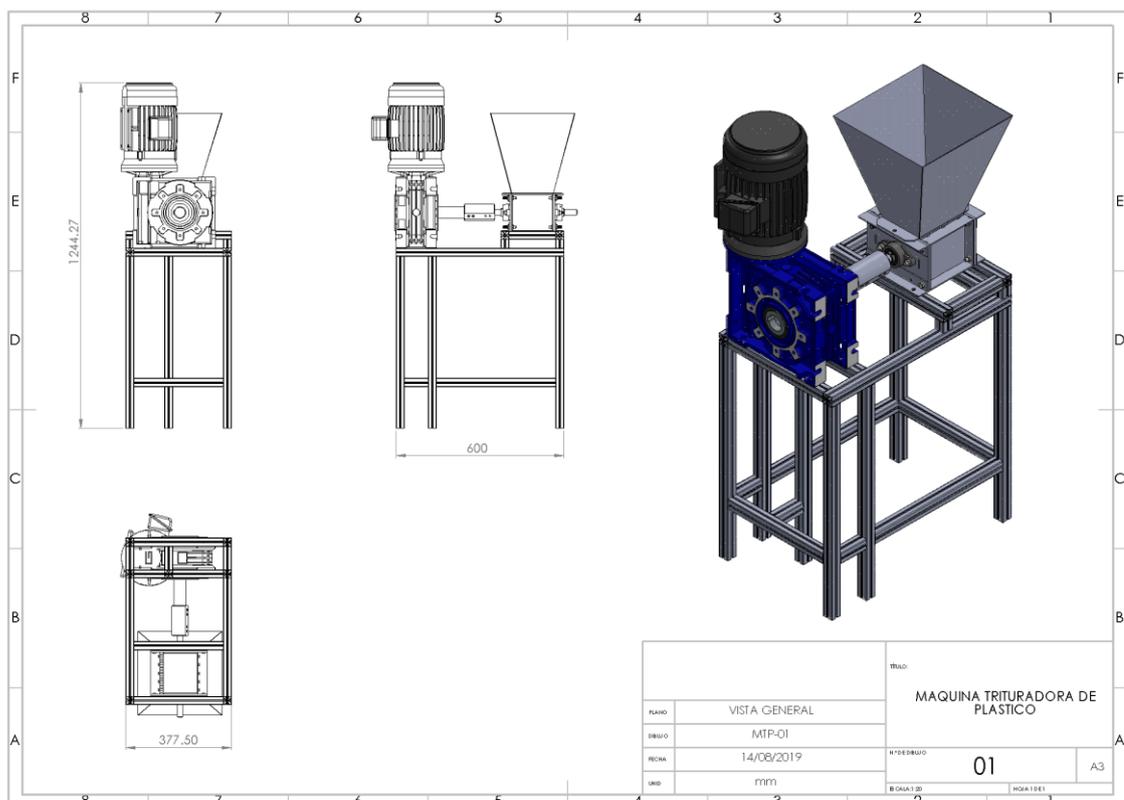
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN MAQUINA TRITURADORA</b>		<b>CONFIGURACIONES</b>					
		<b>CONFIGURACIÓN N° 1</b>		<b>CONFIGURACIÓN N° 2</b>		<b>CONFIGURACIÓN N° 3</b>	
<b>CRITERIOS</b>	<b>PONDERADO</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>PONDERADO</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>PONDERADO</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>PONDERADO</b>
<b>Eficiencia</b>	35 %	4	1.4	3	1.05	4	1.4
<b>Confiabilidad</b>	25 %	4	1	3	0.75	3	0.75
<b>Mantenimiento</b>	15 %	3	0.45	2	0.3	2	0.3
<b>Costo</b>	15 %	3	0.45	4	0.6	3	0.45
<b>Ruido</b>	10%	4	0.4	3	0.3	2	0.2
<b>TOTAL</b>	100 %	18	3.7	15	3	14	3.1

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

La tabla N°9 muestra la puntuación asignada a cada configuración de solución de diseño tomando en cuenta la descripción de estos conceptos de diseño con sus ventajas y desventajas descritas en el ítem 3.5. El máximo total de la columna de ponderado indica que es el diseño conceptual que se acerca al concepto de diseño ideal, siendo ésta la configuración de diseño N°1.

### 3.6 Dimensionamiento del equipo

A partir de las entrevistas realizadas (ver Tablas 3 y 4) en la empresa Reciclador “BRAVO ” se determina el espacio de trabajo disponible que es de 2x3x6, debido a que la necesidad de producción en la empresa es de 25 kg/h se establece el tamaño de tolva de 300x298 mm, el alto de la maquina debe ser diseñada de forma que sea ergonómico para el operador por lo que se determinó un alto de 1.258 m y finalmente el ancho de la maquina está determinado por las dimensiones de la tolva, el motor y sus diferentes componentes montados.



**Figura 34.** Dimensionamiento de máquina trituradora de plástico

**Fuente:** Propia

### **3.7 Selección de Materiales**

Se realiza la selección de materiales de acuerdo a las recomendaciones dadas en la Tabla 5 y la Tabla 6 y de acuerdo al criterio ingenieril.

#### **3.7.1 Selección de Material para el eje**

De acuerdo a las recomendaciones de diseño se utiliza material de acero al carbono: AISI 1045 para ejes. (W. Miranda 2014). El AISI 1045 es un tipo de acero que ofrece buenas propiedades mecánicas y es comercial (Mayorga 2016) cuyas propiedades mecánicas se detallan en el Anexo 5.

#### **3.7.2 Selección de Material para las cuchillas**

El material a usar en las cuchillas de acuerdo a las recomendaciones es ACERO SISA A2 debido a sus características las cuales ofrece una combinación de buena tenacidad, así como resistencia al desgaste (A. García et, al 2014), este acero es idóneo para trabajar con plásticos donde se requiere alta resistencia al desgaste (Mayorga 2016).

Las propiedades mecánicas del acero SISA A2 se detallan en el Anexo 6.

#### **3.7.3 Selección de Material para la tolva**

De acuerdo a las recomendaciones se emplea para la fabricación de la tolva un acero AISI 1010 por su gran aplicación en estructuras metálicas soldadas (W. Miranda 2014). Cuyas propiedades mecánicas se detallan en el Anexo 7.

#### **3.7.4 Selección de Material para estructura de la maquina**

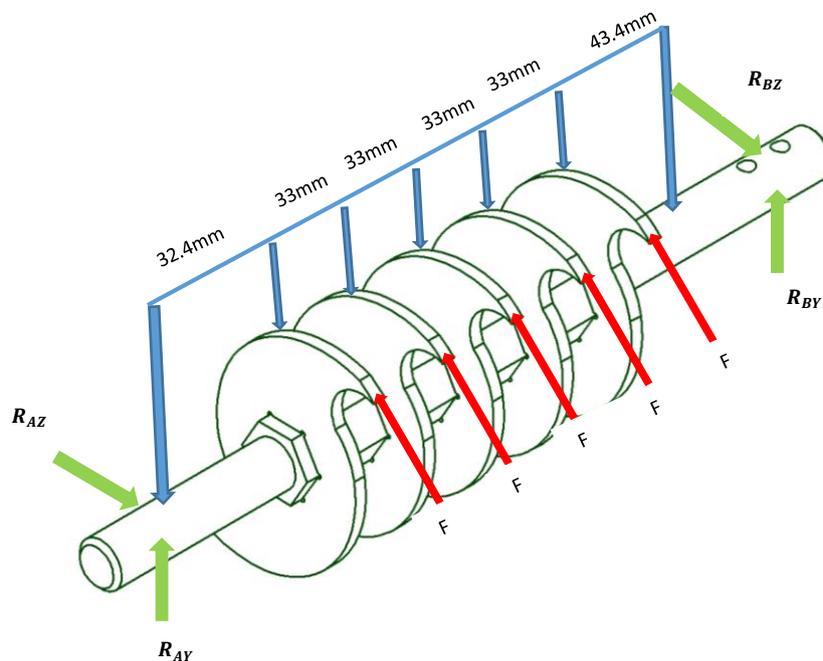
Para la construcción del chasis de la maquina se optó por perfil de aluminio cuyos usos se emplea en estructuras livianas y módulos de laboratorios. Estos perfiles vienen una geometría optimizada para reducir el peso y mantener una buena resistencia a los esfuerzos.

### 3.8 Cálculo de cargas de Diseño

Los cálculos de cargas para nuestro diseño se centrarán en las cuchillas de corte deberá vencer a la resistencia de corte del PET y el eje principal debido soportará las cargas de flexión y torsión.

#### 3.8.1 Fuerza de Corte

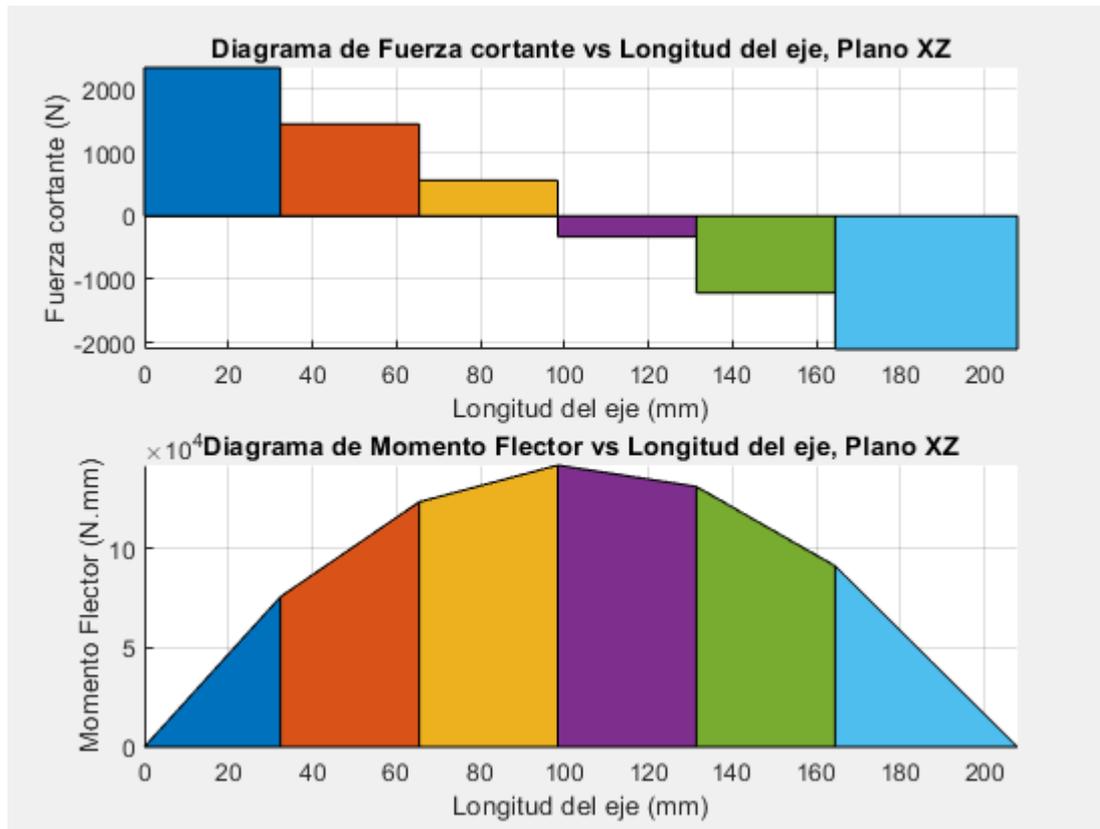
Para determinar la fuerza de corte necesaria para triturar el plástico se tomarán las propiedades físicas PET por ser el plástico más usual en el proceso de reciclado. Estas propiedades se pueden ver en el Anexo 9 (Elaplas, 2019). Para realizar el modelamiento del sistema se inicia con el diagrama de cuerpo libre como podemos observar en la Figura 35. El sistema está conformado por las Fuerzas de corte ( $F=889.25\text{N}$ ) que son originadas en las cuchillas de corte y con dos reacciones ( $R_A, R_B$ ), que se originan en los rodamientos.



**Figura 35.** Diagrama de cuerpo libre de eje y las cuchillas  
**Fuente:** Propia

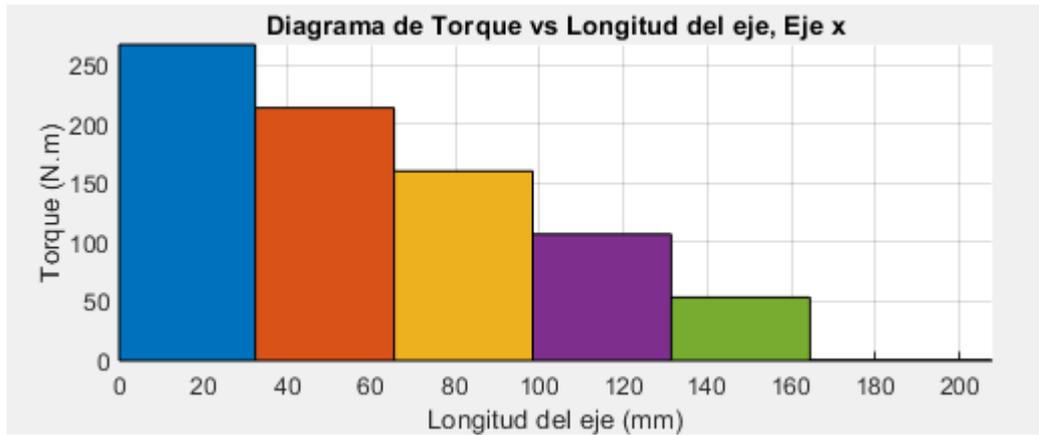
### 3.8.2 Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector

Utilizando el DCL de la figura 35 se elaboran los diagramas de fuerza cortante y momento flector para el eje principal, los que se aprecian Figura 36. La grafica de momento flector es especialmente importante pues en ella se puede localizar el punto donde se aplica el mayor valor del momento flector y es donde se origina el mayor nivel de esfuerzo sobre el eje.



**Figura 36.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector vs longitud del eje  
*Fuente: Propia*

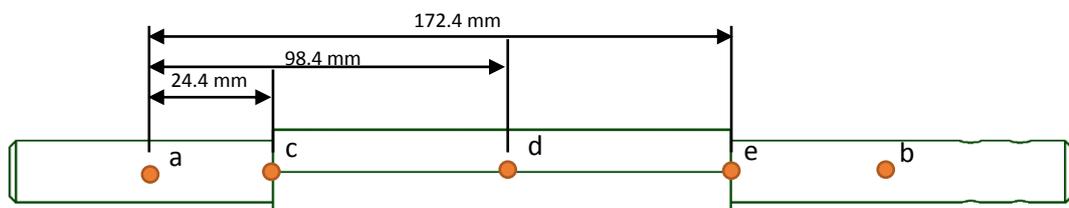
En el diagrama de torque se observa que el máximo valor se da al inicio de la gráfica (ver Figura 37), esto indica que el torque se concentra en la parte inicial del eje donde se acopla con el eje del motor.



*Figura 37. Diagrama de torques vs longitud del eje*  
*Fuente: Propia*

### 3.8.3 Análisis de Esfuerzos en los puntos Críticos

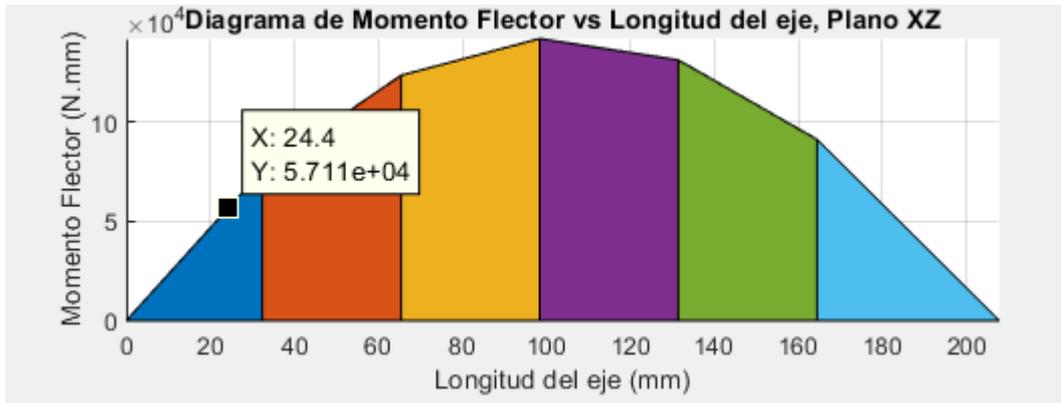
De la gráfica de momento flector se observa que el punto de mayor concentración de los esfuerzos está ubicado en el centro del eje, pero debido a que existen concentración de esfuerzos en los cambios de sección del eje, estas zonas también deben ser analizadas. En la Figura 38 se muestran los puntos a analizar, donde “a” y “b” representan la ubicación de los rodamientos, mientras que los puntos “c”, “d”, y “e”, son los puntos de interés para el análisis.



*Figura 38. Puntos críticos sobre el eje*  
*Fuente: Propia*

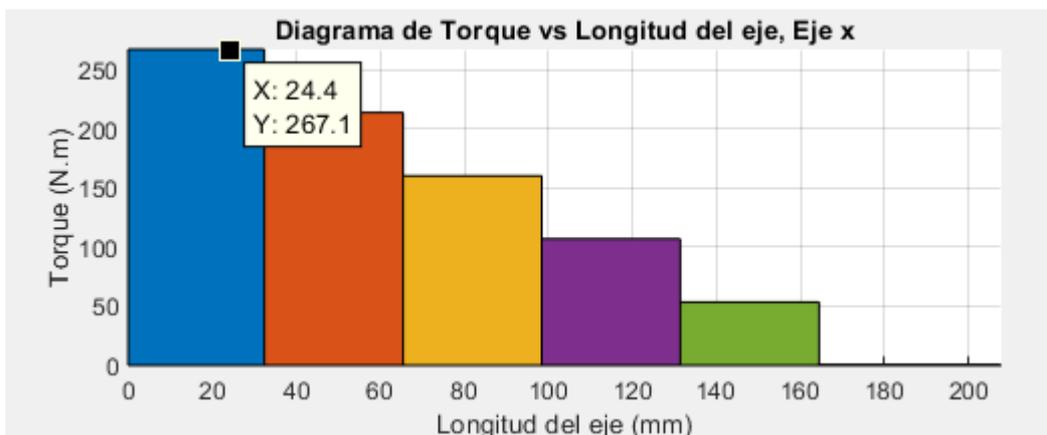
#### Punto c

El punto “c” se encuentra ubicado a 24.4 mm desde la ubicación del rodamiento “a”, en este punto existe un cambio de sección de una geometría circular a una hexagonal, los valores del momento y el torque se pueden obtener desde sus diagramas correspondientes como se ve en las Figuras 39 y 40.



**Figura 39.** Momento flector en el punto “c”

*Fuente: Propia*



**Figura 40.** Torque en el punto “c”

*Fuente: Propia*

Usando la Teoría de Von Mises para calcular el valor del esfuerzo combinado, se tiene:

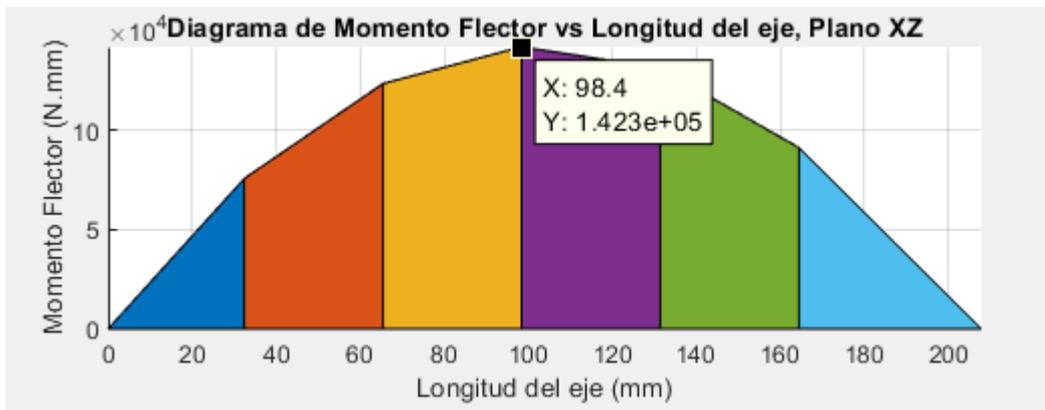
$$\sigma_c = \frac{32M_c}{\pi(d_{eje})^3} = \frac{32(57.11 \text{ N.m})}{\pi(0.028575 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 24.93 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy_c} = \frac{16T_c}{\pi(d_{eje})^3} = \frac{16(267.1 \text{ N.m})}{\pi(0.028575 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 58.3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_c = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{(24.93)^2 + 3(58.3)^2} = 104.01 \text{ Mpa}$$

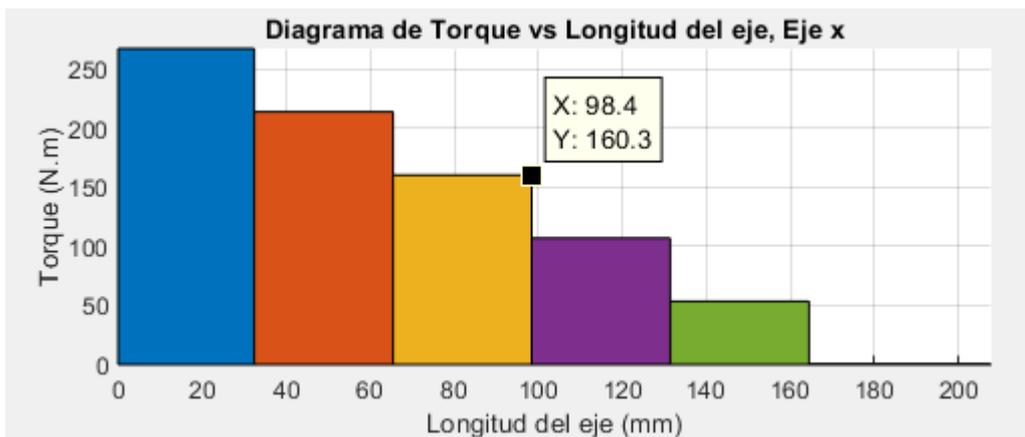
### Punto d

El punto “d” se encuentra ubicado a 98.4 mm desde la ubicación del rodamiento “a”, en este punto se encuentra sobre una geometría hexagonal y como se puede ver en las Figuras 41 y 42 el momento flector es máximo en este punto, pero el torque es menor comparado con el punto “c”.



**Figura 41.** Momento flector en el punto “d”

*Fuente: Propia*



**Figura 42.** Torque en el punto “d”

*Fuente: Propia*

Reemplazando los valores de momento flector y torque en la Teoría de Von Mises para calcular el valor del esfuerzo combinado en un eje con sección transversal hexagonal, se tiene:

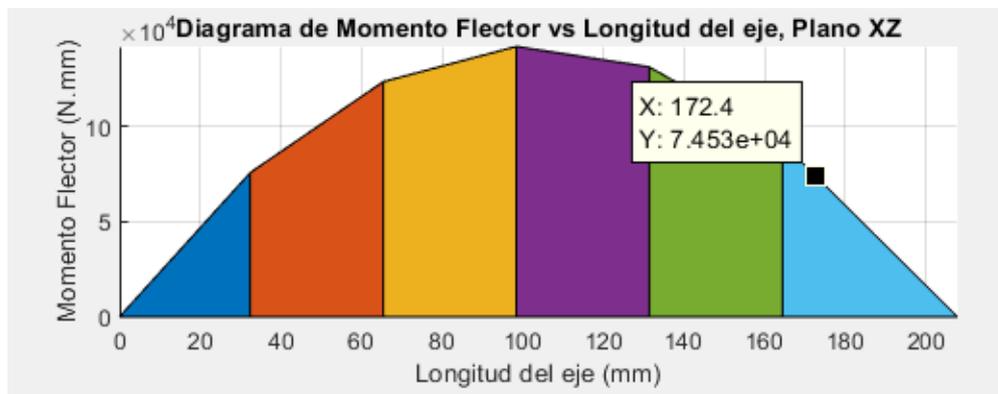
$$\sigma_d = \frac{128M_c}{5\sqrt{3}(d_{eje})^3} = \frac{128(142.3 \text{ N.m})}{5\sqrt{3}(0.03572 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 46.15 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xyd} = \frac{64T_c}{5\sqrt{3}(d_{eje})^3} = \frac{64(160.3 \text{ N.m})}{5\sqrt{3}(0.03572 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 25.99 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_d = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{(46.15)^2 + 3(25.99)^2} = 64.48 \text{ Mpa}$$

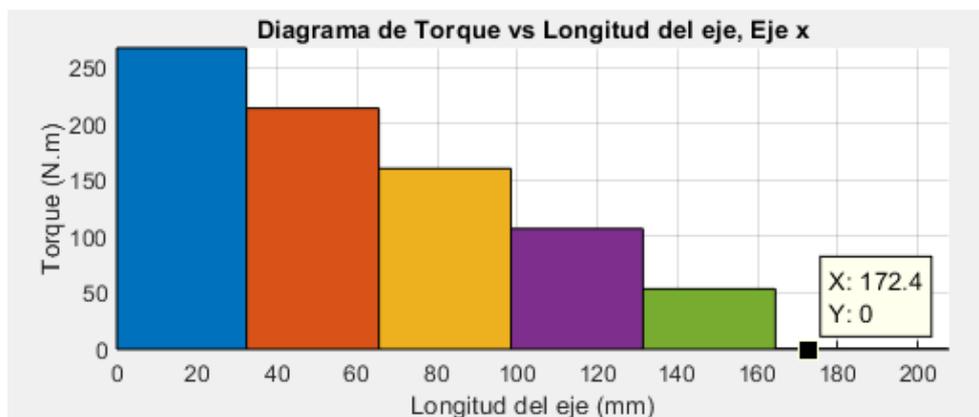
### Punto e

El punto “e” se encuentra ubicado a 172.4 mm desde la ubicación del rodamiento “a”, en este punto también existe un cambio de sección y como se puede ver en los diagramas de las Figuras 43 y 44, los valores del momento y el torque son menores a los de los puntos anteriores.



**Figura 43.** Momento flector en el punto “e”

*Fuente: Propia*



**Figura 44.** Torque en el punto “e”

*Fuente: Propia*

Se usa nuevamente la Teoría de Von Mises para calcular el valor del esfuerzo combinado en este punto del eje con sección circular, de esta manera se tiene:

$$\sigma_e = \frac{32M_e}{\pi(d_{eje})^3} = \frac{32(74.53 \text{ N.m})}{\pi(0.028575 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 32.54 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy_e} = \frac{16T_e}{\pi(d_{eje})^3} = \frac{16(0 \text{ N.m})}{\pi(0.028575 \text{ m})^3} \times 10^{-6} = 0 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_e = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{(32.54)^2 + 3(0)^2} = 32.54 \text{ Mpa}$$

De los resultados obtenidos se puede ver que el punto “c” presenta el mayor esfuerzo, por lo cual se tomara este punto como base para el diseño del eje.

### 3.8.4 Análisis Paramétrico:

Para el diseño paramétrico se analizará el punto “c” del eje en fatiga tomando la Teoría de falla de ASME Elíptica, generándose curvas paramétricas que relacionan el factor de seguridad en fatiga con el diámetro del eje para tres tipos de aceros.

Para el diseño paramétrico se emplearán los siguientes aceros: AISI 1020, AISI 1045 y AISI 1060, por ser de fácil adquisición en mercado local y por estar indicadas en las recomendaciones de diseño.

Cada acero será evaluado en un rango de diámetros que van desde 1” hasta 1.5” con intervalos estandarizados de 1/8”. El factor de seguridad mínimo aceptado será FS = 2.5 para mantener un diseño conservador para el eje.

#### **Esfuerzos fluctuantes**

Debido a que el eje es un elemento rotativo y por la naturaleza de la carga aplicada sobre el mismo los esfuerzos que se presentan en el eje son fluctuantes completamente invertidos. Para calcular el factor de seguridad en fatiga se determinan los esfuerzos fluctuantes como (ver Anexo 12):

$$M_m = 0$$

$$M_a = 57.11 \text{ N.m}$$

$$T_m = 267.1 \text{ N.m}$$

$$T_a = 0$$

**Factor de concentración de esfuerzos:**

Empleando las tablas del Anexo 12 se determina el factor de concentración de esfuerzos para un eje redondo con las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{D}{d} = 1.25, \quad \frac{r}{d} = 0.175$$

Es:

$$K_t = 1.4 \text{ (Flexion)}$$

$$K_{ts} = 1.2 \text{ (Torsion)}$$

Utilizando la ecuación para obtener los factores concentradores de esfuerzo debido a fátiga  $K_f$  y  $K_{fs}$  y con el valor del factor de muesca q, se tiene:

$$q=0.75 \text{ (para radio de muesca 2mm)}$$

$$K_f = 1.4 \text{ (Flexion)}$$

$$K_{fs} = 1.2 \text{ (Torsion)}$$

Límite de resistencia a la fatiga es: (Para  $S_{ut} < 1400 \text{MPa}$ )

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$

Modificadores del límite de resistencia a la fatiga

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

Factor de superficie:  $k_a$

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Donde:

a: 4.51

b: -0.265

Factor de tamaño: kb

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

Factor de carga: kc

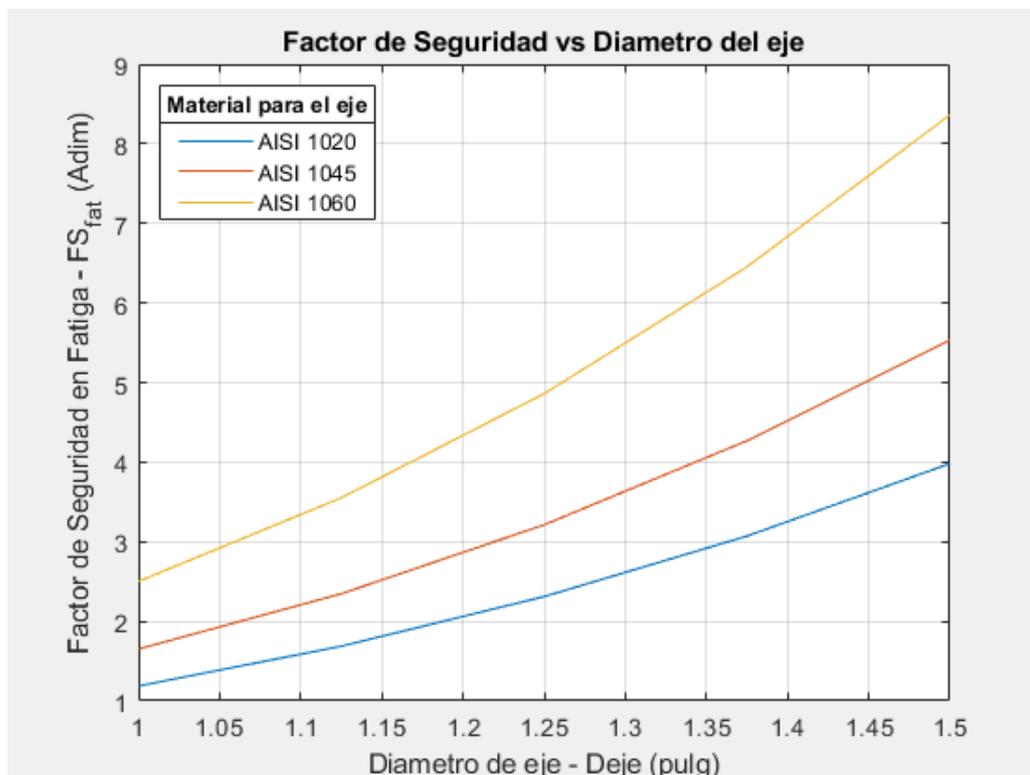
$$k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

### Teoría de Falla ASME Elíptica

Para el diseño paramétrico se utilizarán las ecuaciones 01 hasta la 19 en una sola ecuación siguiendo la teoría de falla de ASME Elíptica:

$$FS = \frac{1}{\frac{16}{\pi d^3} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \dots \text{Ec (20)}$$

La ecuación 20 es programada en el software MATLAB para mostrar los resultados en una gráfica paramétrica que relacione el Factor de Seguridad con el diámetro del eje para tres tipos de aceros, como se ve en la Figura 45.



**Figura 44.** Grafica paramétrica para determinar el diámetro del eje.

**Fuente:** Propia

## Punto de diseño

De la gráfica podemos ver que varios puntos pueden cumplir con el criterio de conseguir un Factor de Seguridad 2.5 a 3 para un criterio de cargas con impacto moderado según la Norma ANSI B106-1, por lo cual se elabora la Tabla 10, con cada uno de estos valores.

**Tabla 10**

*Resultados de la parametrización*

TIPO DE ACERO	DIÁMETRO DEL EJE (pulg.)	FACTOR DE SEGURIDAD (Adim)
<b>AISI 1020</b>	1 3/8"	3.071
<b>AISI 1045</b>	1 1/4"	3.213
<b>AISI 1060</b>	1 1/4"	4.861

*Nota. Fuente: Elaboración propia*

De la Tabla 10 se toma como diámetro para el eje  $D_{eje} = 1\ 3/8"$ , con factor de seguridad  $n = 3.071$ , y fabricado con el acero AISI 1020. Esto permite que el eje tenga el diámetro menor posible con un buen factor de seguridad.

### 3.8.5 Análisis en carga estática

Determinado el diámetro del eje desde el análisis paramétrico se confirma el valor del Factor de Seguridad en carga estática para el nuevo diámetro calculado (ver Anexo 12).

$$\sigma_c = 25.45 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy_c} = 51.01 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_c = \sqrt{\sigma_c^2 + 3\tau_{xy_c}^2} = 91.95 \text{ Mpa}$$

$$FS = 3.071$$

### 3.8.6 Análisis en fatiga

Empleando la Teoría de falla de ASME Elíptica el Factor de Seguridad para el eje de 1 ¼" es:

$$FS = \frac{1}{\frac{16}{\pi(0.03175)^3} \left[ 4 \left( \frac{(1.4)(57.11)}{203.5} \right)^2 + 3 \left( \frac{(1.2)(0)}{203.5} \right)^2 + 4 \left( \frac{(1.4)(0)}{310} \right)^2 + 3 \left( \frac{(1.2)(267.1)}{310} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$FS = 3.071$$

Este valor obtenido del cálculo mostrado en el Anexo 12 es exactamente igual al dado por el análisis paramétrico.

### 3.8.7 Potencia requerida

El valor de la potencia requerida con un factor de diseño de 3.071 para transmitir un torque de 267.1 *N.m* a una velocidad de 60 *rpm* (ver Anexo 12) es:

$$P = 2.01 \text{ KW} = 2.7 \text{ HP}$$

### 3.8.8 GUI en MATLAB

Para realizar los cálculos de manera más flexible se elaboró una GUI donde se encuentran condensados las ecuaciones para el cálculo del diámetro del eje tanto en carga estática como en fatiga. En las Figuras 45 y 46 se muestran las ventanas de dichas GUIs con los valores de Factor de Seguridad correspondientes.

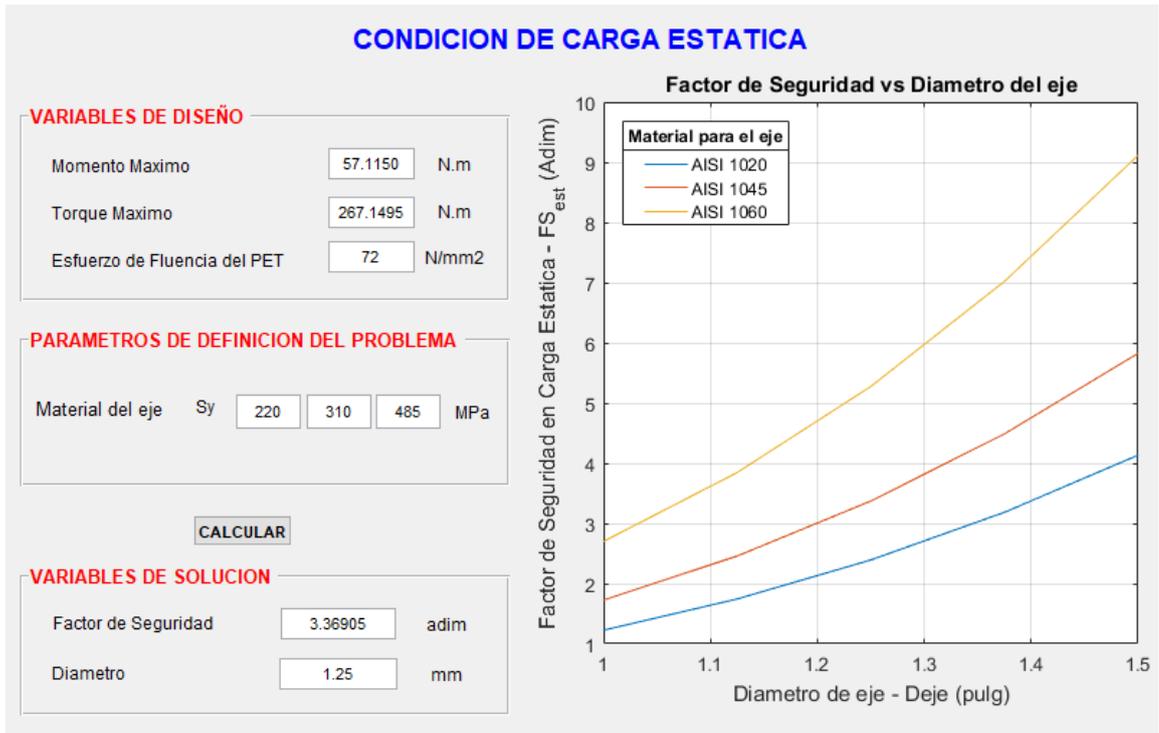


Figura 45. GUI para el análisis en carga estática.

Fuente: Propia

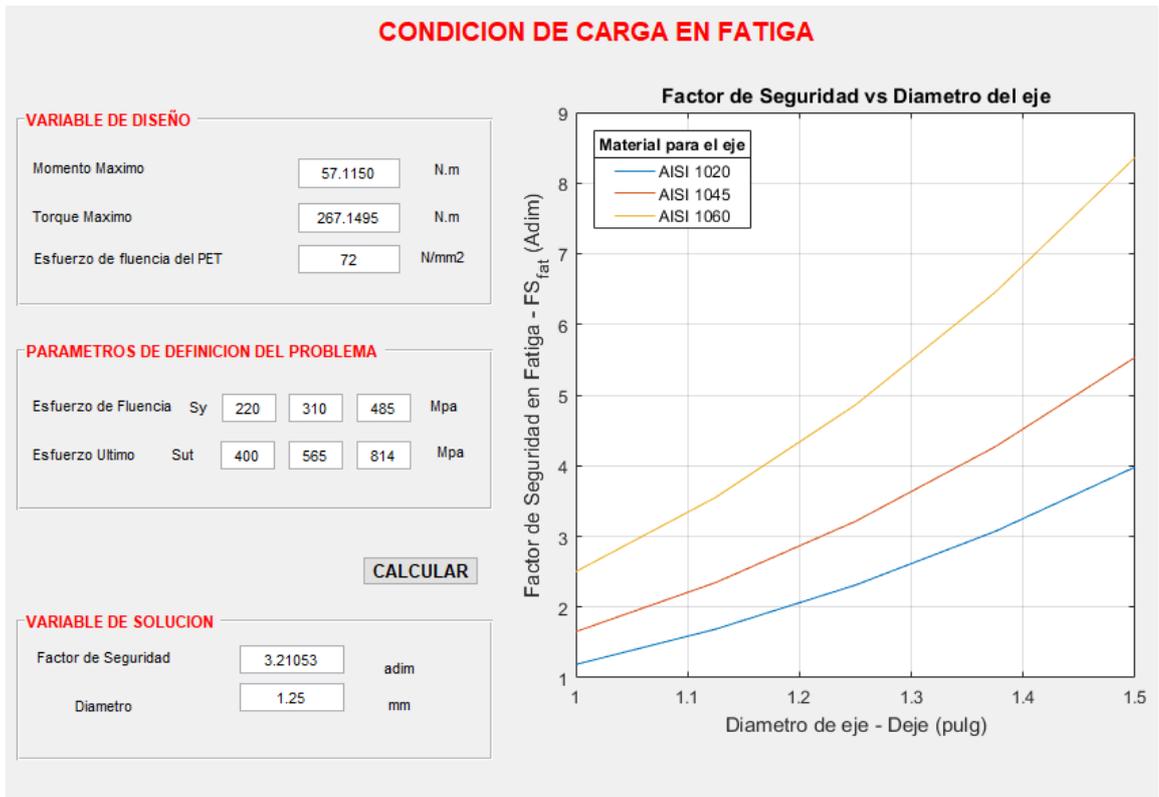


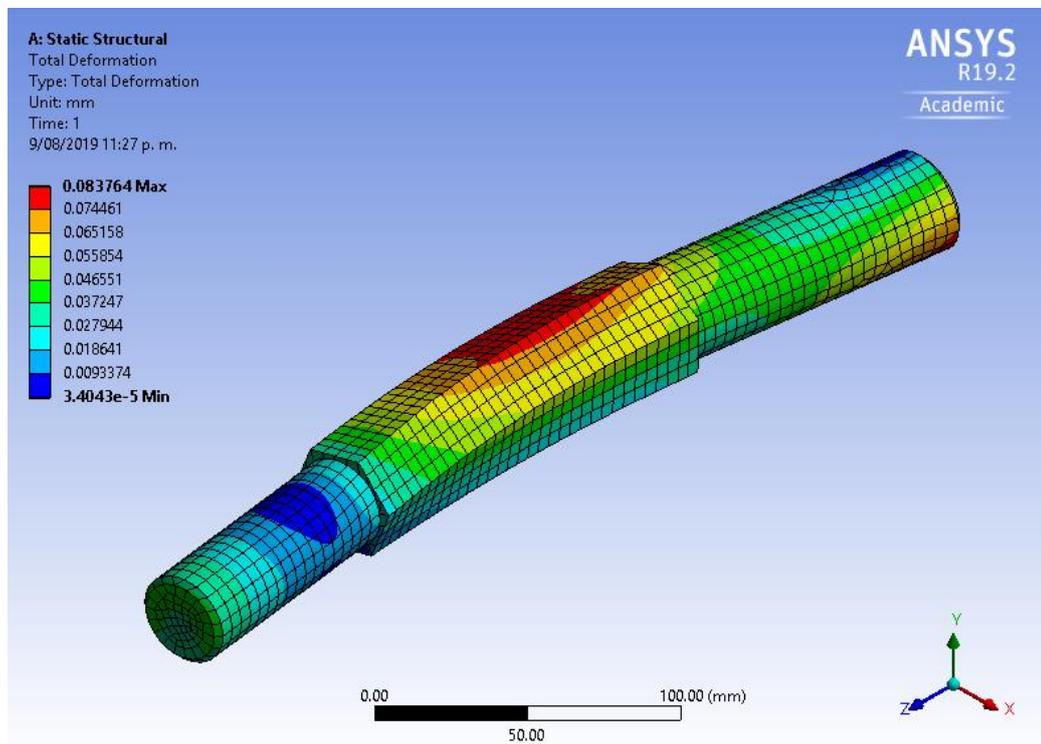
Figura 46. GUI para el análisis en carga estática.

Fuente: Propia

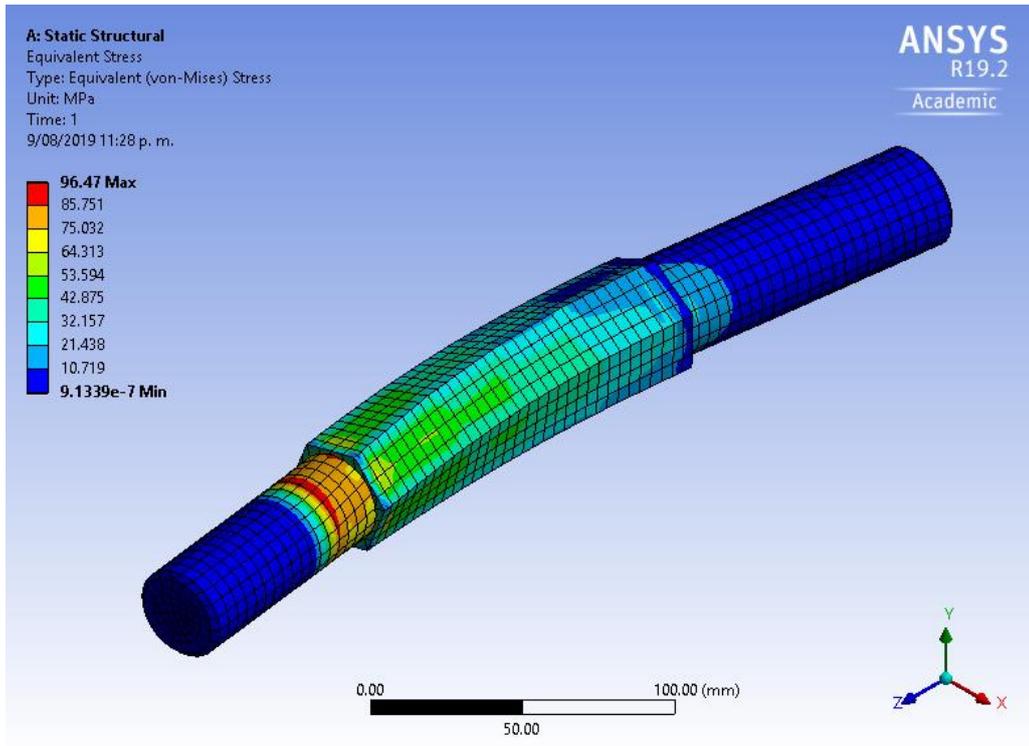
### 3.8.9 Simulación en ANSYS

Para elaborar la simulación del eje se tomó el acero AISI 1045 del análisis paramétrico ingresando los valores del esfuerzo de fluencia ( $S_y = 310 \text{ MPa}$ ), el esfuerzo último a la tracción ( $S_{ut} = 565 \text{ MPa}$ ) y la densidad ( $\rho = 7900 \text{ kg/m}^3$ ). El eje está directamente acoplado al motor y debe soportar el torque generado por este. Del Anexo 12 el torque requerido es  $T = 267.15 \text{ N.m}$  y es originado por el corte de las cuchillas.

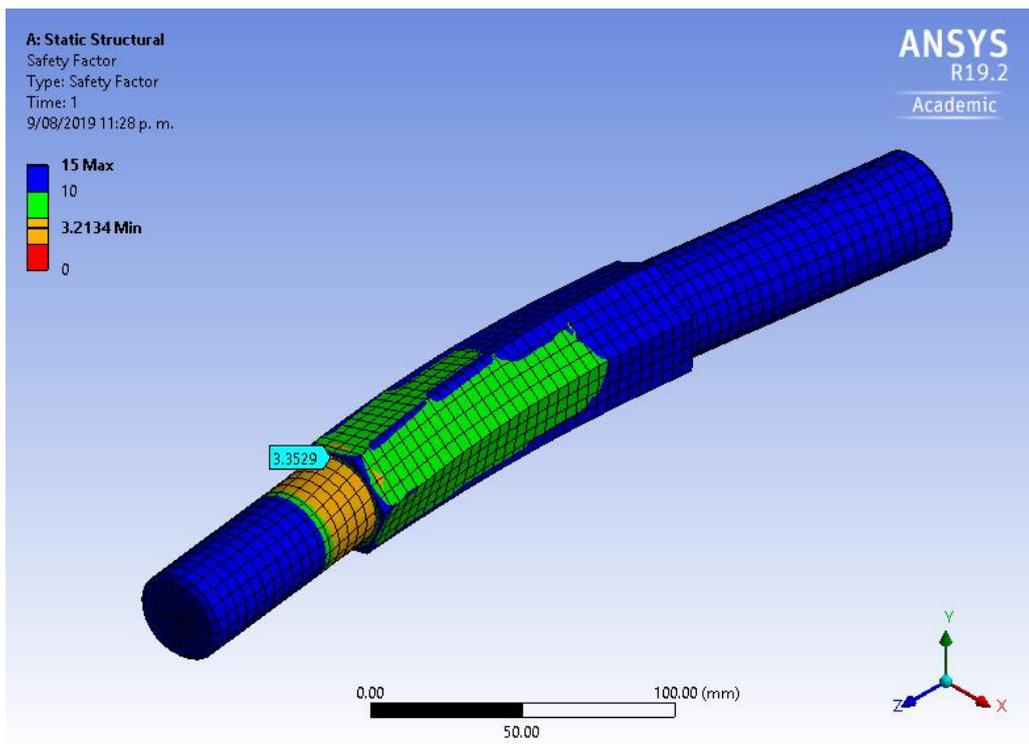
De los resultados de la simulación para el eje con un diámetro de  $1 \frac{1}{4}$  pulgadas se obtuvo que la deformación máxima es  $0.084 \text{ mm}$ , por otra parte, el valor del máximo esfuerzo es  $96.47 \text{ MPa}$  mientras el factor de seguridad en carga estática es de  $3.3529$  y en fatiga es de  $3.0536$ . La deformación máxima, el esfuerzo máximo y el factor de seguridad se pueden ver desde las Figuras 47 a la 50.



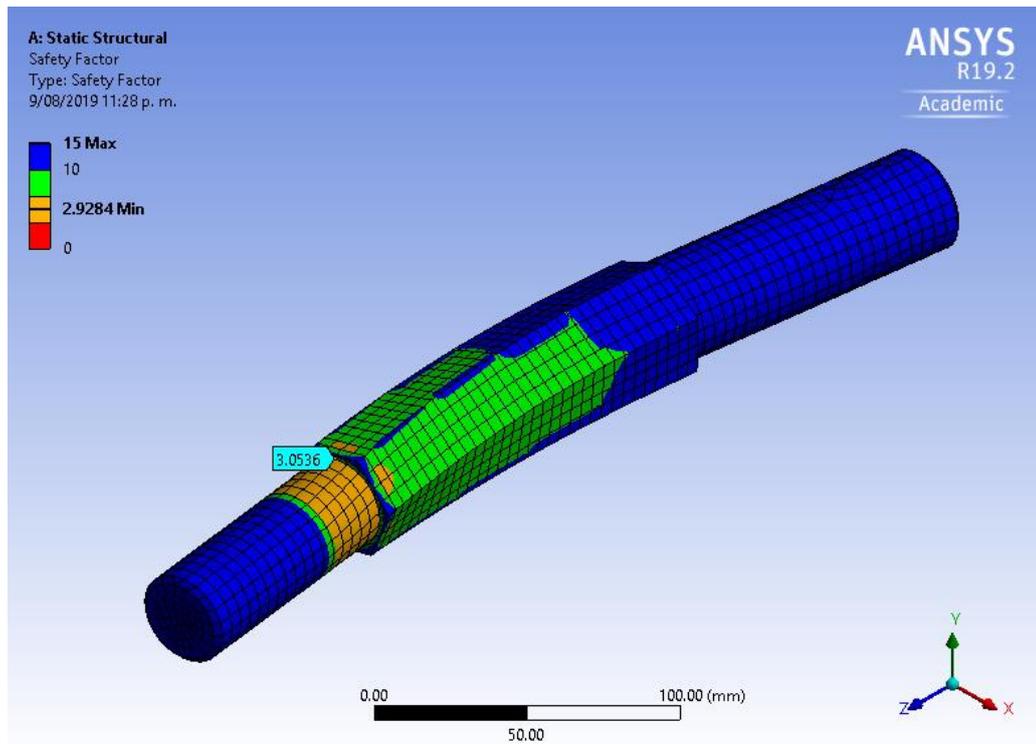
**Figura 47.** Deformación máxima del eje.  
**Fuente:** Propia



*Figura 48. Esfuerzos de Von Mises.  
 Fuente: Propia*



*Figura 49. Factor de seguridad en carga estática.  
 Fuente: Propia*



**Figura 50.** Factor de seguridad en fatiga.  
**Fuente:** Propia

Los resultados de la simulación presentan una diferencia con respecto al cálculo analítico de 0.47% para el factor de seguridad en carga estática y 4.87% para el factor de seguridad de 3.071 en fatiga.

### 3.8.10 Selección de componentes estándar

#### Motor eléctrico

La selección del motor eléctrico se realizó en base al cálculo del Anexo 12. Las especificaciones se pueden ver en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Especificaciones del motor eléctrico*

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Marca	SIEMENS
2	Potencia	3 HP
3	Velocidad nominal	1800 RPM

*Nota:* Fuente: edipesa (2019)



**Figura 51.** Motor eléctrico de 3HP.

*Fuente: edipesa (2019)*

### **Caja reductora de velocidad**

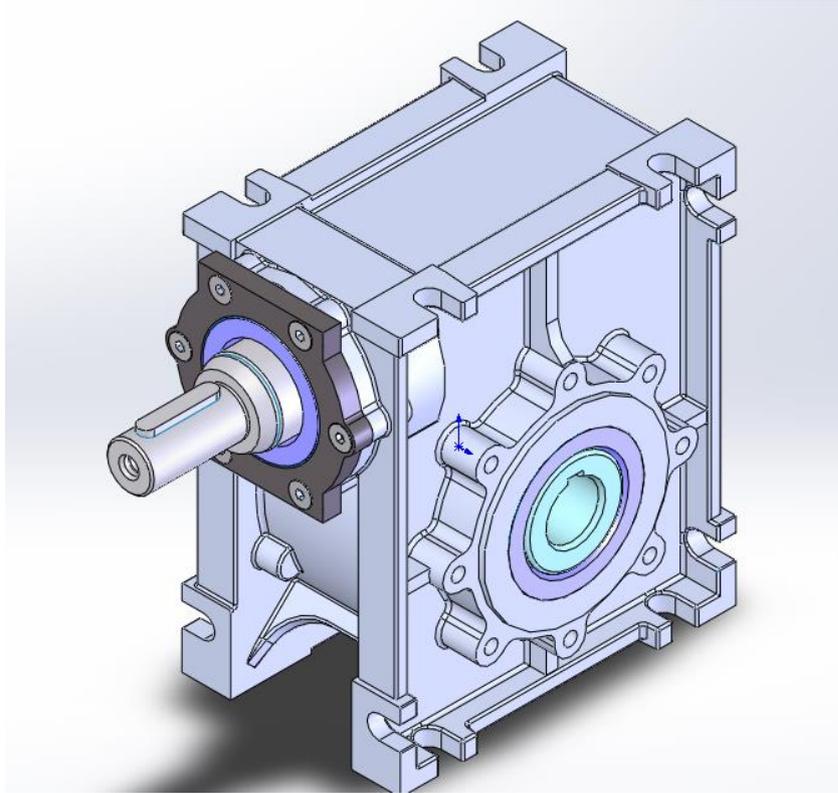
Se empleó una aplicación de web para la selección de la caja reductora de la empresa CIDEPA, donde se ingresaron los parámetros básicos de potencia y relación de reducción. Las características de la caja reductora se pueden ver en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Especificaciones de la caja de reducción de tornillo sinfín*

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Marca	CIDEPA
2	Tipo	Tornillo sinfín
3	Potencia	3 HP
4	Ratio	30:1

*Nota: Fuente: cidepa-sincron (2019)*



**Figura 52.** Reductor de tornillo sinfín.  
**Fuente:** cidepa-sincron (2019)

### Rodamientos

Para el rodamiento en “a” el cual soporta una carga de  $F_a = 2340.9 \text{ N}$  la carga nominal para la selección del tipo de rodamiento adecuado es:

$$C_{10} = 2340.9 \left( \frac{5000(60)(60)}{10^6} \right)^{1/3} = 6134.9 \text{ N}$$

Para el rodamiento en “b” la carga que soporta es de  $F_b = 2105.4 \text{ N}$  la carga nominal para la selección del tipo de rodamiento adecuado es:

$$C_{10} = 2105.4 \left( \frac{5000(60)(60)}{10^6} \right)^{1/3} = 5517.7 \text{ N}$$

Del catálogo del SKF (ver Anexo 13) se tomó el un cojinete con una capacidad de carga mayor que la calculada para cada rodamiento. Las especificaciones del cojinete se pueden ver en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Especificaciones del cojinete*

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Marca	SKF
2	Tipo	Flanged Y-bearing
3	$d_{int}$	1 ¼ in
4	$C_0$	15.3 KN

*Nota: Fuente: SKF (2019)*



**Figura 53.** Flanged Y-bearing unit.

*Fuente: amazon (2019)*

### **Plancha de Acero**

Para la fabricación de las cuchillas se empleará el acero comercial A36 en plancha con dimensiones de 1mX3 m y 5 mm de espesor (ver Figura 54)



*Figura 54. Flanged Y-bearing unit.  
Fuente: amazon (2019)*

### **Perfil de aluminio**

Para realizar la estructura de la máquina trituradora se empleó perfil de aluminio como se puede ver en la Figura 55.



*Figura 55. Plancha de acero.  
Fuente: SODIMAC (2019)*

### 3.8.11 Análisis económico

Para la realización del análisis económico se elaboró el presupuesto de la maquina el cual se muestra en la Tabla 14. Este presupuesto es la inversión inicial que la empresa debe pagar para adquirir el equipo y en base a este se analizara el periodo que le tomara a la empresa recuperar su inversión.

**Tabla 14**

*Presupuesto para la fabricación de la maquina*

No.	Descripción	Cant.	Precio Unit.	Precio total
1	Motor eléctrico trifásico 3HP 1800RPM Blindado 4P IP55 - SIEMENS	1	S/. 730	S/. 730
3	MQ Worm-gear speed reducers SQ-75/30 3 - 3HP - Ratio: 30	1	S/. 800	S/. 800
4	Cojinete con rodamiento dint: 1 1/4 in	2	S/. 242	S/. 483
5	Plancha laminado caliente 5 mm x 1 x 3 mt - Cintac	1	S/. 305	S/. 305
6	Perfil de aluminio 40x40L mm Long 3000 mm	4	S/. 280	S/. 1,120
7	10 Und tuerca martillo t-nut para perfil 40x40 (ancho de 8mm), y rosca M5	4	S/. 19	S/. 76
8	10 Und perno martillo T para perfil 40x40 (ancho de 8mm), M8X20	4	S/. 40	S/. 160
9	Mano de Obra diaria (03 operarios)	7	S/. 90	S/. 630
SUB-TOTAL				S/. 4,304
IGV (18%)				S/. 775
TOTAL				S/. 5,079

**Nota.** Fuente: Elaboración propia

El periodo de retorno de la inversión “PRI”, determina el tiempo en la cual la inversión inicial es recuperada. Este valor se puede determinar empleando la Ecuación:

$$P = \sum_1^j CF_j(1 + i)^{-j}$$

Dónde:

$P$ : Valor monetario de la inversión inicial (soles)

$CF_j$ : Flujo de caja positivo anual (soles)

$i$ : Tasa de interés anual (adimensional)

$j$ : Periodo de recuperación de la inversión (años)

Para el flujo de caja de se toma como dato la diferencia entre los ingresos que obtiene la empresa con el sistema actual y la ganancia que obtendría al adquirir la máquina.

La ganancia actual de la empresa corresponde a una jornada de 8 hr de trabajo en los que se procesan 200 kg de plástico que se vende a S/. 0.60 el kilogramo, esto da un ingreso mensual de S/. 5400 de los cuales se gastan S/. 2700 en el salario de los operarios quedando un total de S/. 900 mensuales. Por otra parte, con la máquina trituradora se podría procesar la misma cantidad de plástico el cual se puede vender a un precio mayor (entre S/. 0.9 a S/.1.2) dependiendo de mercado. Para realizar el cálculo económico se toma el precio de venta promedio de S/. 1.05 lo que daría un ingreso mensual de S/. 3600 descontando el salario de los operarios.

El flujo de caja por lo tanto sería:

$$CF_j = S/.3600 - S/.900 = S/.2700$$

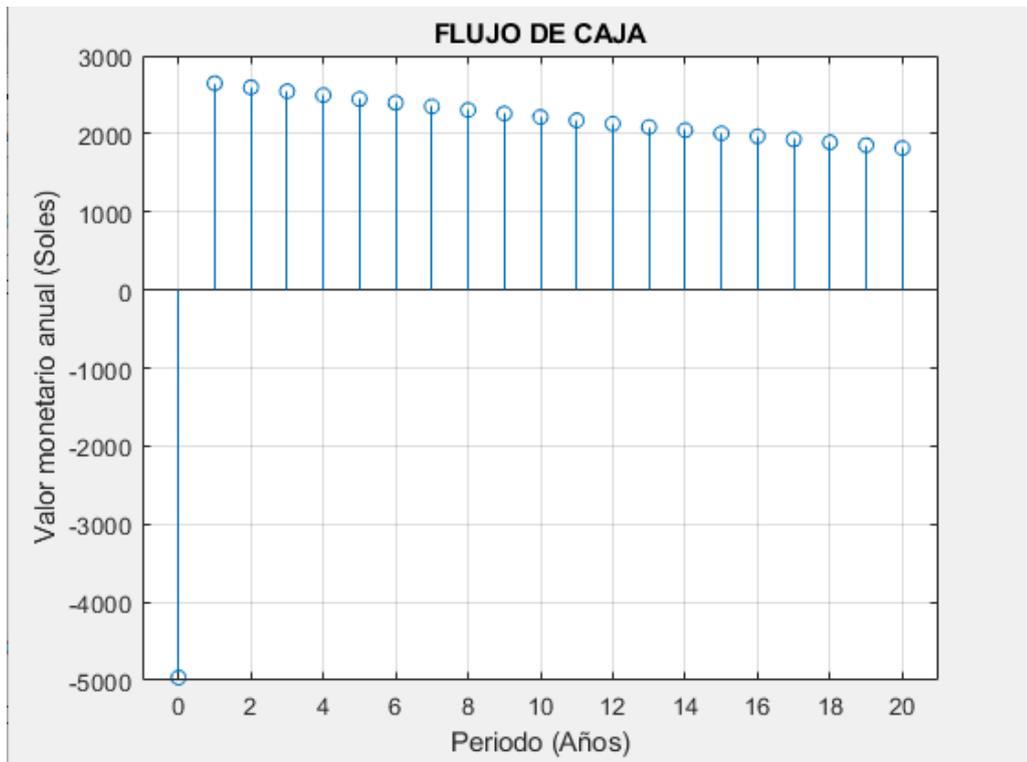
Teniendo los datos de la inversión inicial y el flujo de caja anual se elaboró la tabla que se muestra en la Figura 56, donde se muestra un periodo de 20 años en los cuales la ganancia anual compensa a la inversión inicial. El tiempo en el cual la inversión es recuperada totalmente es 1 año y 11 meses, después de esta fecha la empresa percibirá tan solo ganancias con un valor de S/. 2700 anuales. En la Figura 57 se muestra en una gráfica el flujo de caja en un periodo de 20 años, mientras que en la Figura 58 se puede observar el periodo en el cual la inversión es compensada (cruce por cero en la gráfica).

CÁLCULO DE TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN DESCONTADO					2%
Year	Cash Flow (\$)	CFj (\$)	(P/F, 2%, n)	CFj(P/F,18%,n) (\$)	Sum (\$)
0	-4965.3	-4965.3	1.00000	-4965.3	-4965.3000
1	2700	2700	0.98039	2647.058824	-2318.2412
2	2700	2700	0.96117	2595.155709	276.9145
3	2700	2700	0.94232	2544.270303	2821.1848
4	2700	2700	0.92385	2494.38265	5315.5675
5	2700	2700	0.90573	2445.473187	7761.0407
6	2700	2700	0.88797	2397.522732	10158.5634
7	2700	2700	0.87056	2350.512482	12509.0759
8	2700	2700	0.85349	2304.424002	14813.4999
9	2700	2700	0.83676	2259.239218	17072.7391
10	2700	2700	0.82035	2214.94041	19287.6795
11	2700	2700	0.80426	2171.510206	21459.1897
12	2700	2700	0.78849	2128.931574	23588.1213
13	2700	2700	0.77303	2087.187818	25675.3091
14	2700	2700	0.75788	2046.262566	27721.5717
15	2700	2700	0.74301	2006.139771	29727.7115
16	2700	2700	0.72845	1966.803697	31694.5151
17	2700	2700	0.71416	1928.238919	33622.7541
18	2700	2700	0.70016	1890.430312	35513.1844
19	2700	2700	0.68643	1853.363051	37366.5474
20	2700	2700	0.67297	1817.022599	39183.5700

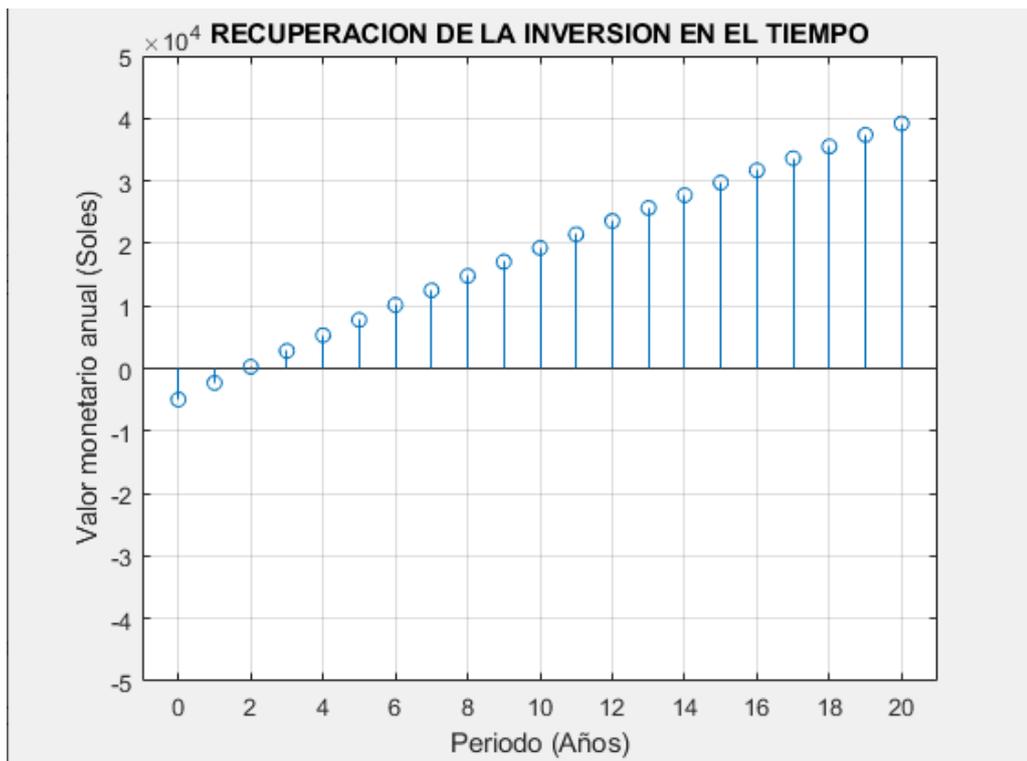
CAMBIO	
1	-2318.24
2	276.915
Tiempo 1.8933	
Años	1
Meses	11

**Figura 56.** Retorno de la inversión (PRI).

*Fuente: Propia*



**Figura 57.** Flujo de caja en años.  
**Fuente:** Propia



**Figura 58.** Flujo de caja en años.  
**Fuente:** Propia

### 3.8.12 Discusión de resultados

De las entrevistas realizadas a la empresa Bravo se tuvo que recurrir a la realización de entrevistas que nos permitieran determinar parámetros como capacidad de producción, dimensiones, etc. Para cumplir con la producción requerida la maquina debe tener una capacidad de procesamiento de 25 kg/hr de plástico triturado y este dato se toma como punto de inicio para el diseño de la máquina.

Debido a la falta de normativa referente al diseño de máquinas trituradoras de plástico se procedió a la recopilación de recomendaciones de diseño de otras fuentes como: tesis, artículos de investigación y manuales de ingeniería que sirvieran de guía para establecer nuestro diseño conceptual. Las recomendaciones obtenidas fueron clasificadas en tres aspectos: materiales, componentes y geometría y se emplearon en la formulación de los conceptos de solución para el diseño.

Se propuso cinco conceptos los cuales tenían sus propias características, para lograr una decisión correcta se procedió a la selección mediante una matriz de selección en la que se evaluaron por costo, eficiencia, mantenimiento, ruido, confiabilidad. Bajo estos criterios de selección se obtuvo que la máquina trituradora de cuchillas es el concepto más viable para la fabricación del tipo de maquina deseada.

De manera similar para el diseño de configuración, se realizaron tres posibles configuraciones que fueron filtradas con una matriz de selección de donde se obtuvo que la configuración optima del sistema de transición es empleado una caja reductora pues es más compacta y permite un ensamblaje más fácil.

En la selección de materiales se usó las recomendaciones de diseño, quedando el acero AISI 1045 como el más adecuado para el eje, el AISI 1010 es más adecuado para la tolva y la carcasa, mientras que las cuchillas requieren de un acero especial que tenga mayor resistencia al desgaste por lo cual se optó por el acero SISA A2.

En los cálculos de la maquina se tomó el elemento más crítico para ser analizado paramétricamente, para lo cual se elaboró el diagrama de cuerpo libre del eje porta

cuchillas pues es la encargada de resistir los esfuerzos que se generan durante el proceso de triturado. Con el diagrama de cuerpo libre se pudo determinar las reacciones en los rodamientos y generar la gráfica de esfuerzo cortante y momento flector el cual permitió identificar los puntos donde se concentran los mayores momentos. Es así que se analizaron 3 puntos críticos sobre el eje de los cuales el punto “c” (ver Figura 38) presenta la mayor concentración de esfuerzo y el análisis paramétrico se realizó para este punto.

Del análisis paramétrico se obtuvo que el diámetro adecuado para el eje es 1 ¼” empleando el acero AISI 1045 y logrando un factor de seguridad en carga estática de  $n = 3.37$  y un factor de seguridad en fatiga de  $n = 3.213$ , que son idénticos a los arrojados en la secuencia de cálculo del Anexo 12. Para corroborar estos resultados se realizó una simulación en ANSYS 2019 versión académica de donde el factor de seguridad en carga estática difiere al arrojado por la parametrización en 0.47% mientras que para el factor de seguridad en fatiga la diferencia es 4.87%. La diferencia es mayor en la fatiga debido a los datos de este tipo de falla presenta mayor dispersión por lo cual se considera como un valor adecuado mientras no se exceda el 5% de error.

En el análisis económico se logra demostrar el beneficio de fabricar la máquina trituradora de plástico, pues con ella se logra una mayor ganancia mensual, además la inversión inicial para la fabricación de esta máquina se logra recuperar en un periodo de 1 año y 11 meses después del cual la ganancia que conseguirá la empresa mensualmente sería de S/. 2700.

**CAPITULO IV**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

#### IV. CONCLUSIONES

En las entrevistas que se realizaron a la empresa se logró obtener datos que ayudaron en la elaboración del diseño. Esto permitió realizar los cálculos paramétricos posteriores para poder cumplir con las expectativas de la empresa.

Por la inexistencia de normas para el diseño de la máquina trituradora, se vio la necesidad de utilizar la experiencia de otros autores en diseño de ingeniería, para lo cual se recopilando recomendaciones de trabajos similares previos.

Para obtener un diseño adecuado se empleó una matriz de selección que permitió obtener como la mejor opción entre 5 opciones conceptuales, proceso del cual resultó ganador el sistema de triturado por cuchillas. Del mismo modo empleando una matriz de criterios ponderados se realizó el diseño de configuración el cual arrojó a la transmisión con caja reductora como ganador.

El diseño paramétrico permitió evaluar diversos diámetros para el eje con tres tipos de material y de esta manera se pudo hallar el diámetro adecuado que alcance un factor de seguridad igual o mayor a 2.5 para mantener un diseño conservador. De este análisis se determinó que el diámetro debe ser 1 1/4" utilizando el acero AISI 1045 para alcanzar un factor de seguridad de 3.213. Estos cálculos sistemáticos permitieron escoger las mejores dimensiones para el equipo en cuestión.

Con el análisis económico se verificó que la fabricación de una máquina trituradora le genera un beneficio económico a la empresa de S/. 2700 mensuales y que el periodo de retorno de la inversión (PIR) es menor a 2 años (1 año y 11 meses). Esto muestra al equipo como una opción deseable económicamente.

## **V. RECOMENDACIONES**

La máquina por su naturaleza de operación genera un alto nivel de ruido por lo cual se recomienda ubicarla en una zona apartada, donde el ruido no perturbe en el trabajo de otros operarios.

La máquina por poseer un eje rotativo genera vibraciones notorias que pueden afectar el funcionamiento de equipos sensibles a la vibración, es por eso que se recomienda realizar la instalación de la máquina sobre una cimentación adecuada y que posea una caja de jebe como un sistema de amortiguación pasivo. Esto reducirá la vibración y el ruido que se puede transmitir a otros equipos.

Para asegurar que la máquina tenga una larga vida útil los operarios deben asegurarse que el plástico reciclado no tenga elementos metálicos que causen atascamiento o rotura de las cuchillas.

**CAPITULO VII**  
**REFERENCIAS**

## VI. REFERENCIAS

AGROADS (2018). Repuestos para Tractores Jhon Deere2420. Recuperado de <https://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=364730>

Amazon (2019). Cojinetes de bloque de bridas. Recuperado de [https://www.amazon.es/SKF-rodamiento-agujeros-regreasable-exc%C3%A9ntrica/dp/B007VF9OZY/ref=sr\\_1\\_fkmr0\\_2?\\_\\_mk\\_es\\_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=FYT+1.1%2F4+RM&qid=1565722172&s=gateway&sr=8-2-fkmr0](https://www.amazon.es/SKF-rodamiento-agujeros-regreasable-exc%C3%A9ntrica/dp/B007VF9OZY/ref=sr_1_fkmr0_2?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=FYT+1.1%2F4+RM&qid=1565722172&s=gateway&sr=8-2-fkmr0)

Ayala Hernandez, a. D., & Serralde Gonzalez, m. I. (2009). Centro móvil triturador de PET (Doctoral dissertation).

Baja tutor (2018) ANSYS Tutorials & Projects for BAJA-SAE. Recuperado de <https://bajatutor.net/pt/ansys-tutorials-projects/>

Bibango (2018). Solidworks Engineering Graphics Course only in MCTC. Recuperado de <https://www.bibango.com/ads/solidworks-engineering-graphics-course-only-in-mctc/>

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. McGraw Hill Mexico.

Cepeda Lascano, J. E. (2016). Diseño y construcción de una máquina trituradora de capacidad 2, 5 kg de polietileno de baja densidad reciclado (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica).

Como hacer para (2018). Los peligros de los residuos plásticos. Recuperado de <https://comohacerpara.com/peligros-residuos-plasticos-7769e.html>

Dautzenberg, J. H., Kals, J. A. G., & Van der Wolf, A. C. H. (1983). Forces and plastic work in cutting. CIRP annals, 32(1), 223-227.

Depositphotos (2018). Concepto de reciclaje de botellas de plástico. Recuperado de <https://sp.depositphotos.com/10631853/stock-photo-plastic-bottle-recycling-concept.html>

El nuevo diario (2018). Excel al alcance de una foto. Recuperado de <https://www.elnuevodiariocom.ni/suplementos/tecnologia/487040-excel-alcance-foto-aplicacion/>

Elaplas (2019). PET. Recuperado de <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/pet/>

Falconi Flores, M. I., & Tiaguaro Rea, R. R. (2009). Molino Triturador de Botellas Desechables.

García, J. E. M., Durán, C. E. S., Ramón, V. M. H., & Anzaldo, S. B. (2011). Diseño de una trituradora para plástico Polietileno de Tereftalato (PET).

González Mosquera, C. J., & Freire Cárdenas, L. M. (2014). Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo pet (Bachelor's thesis).

Informaticasj. INFORMATICA BASICA. Microsoft Excel. Recuperado de <http://informaticasj.blogspot.com/p/microsoft-excel-pronto.html>

Interempresas (2018). Trituradores para el recuperado de materiales duros. Recuperado de <https://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Trituradores-SB-Plastics-Machinery-Serie-TRSB-60142.html>

Importacionesenprl (2018). Los peligros del plástico. Recuperado de <http://aportacionesenprl.blogspot.com/2018/03/los-peligros-del-plastico.html>

ISVE S.R.L (2018). Molinos Granuladores. Recuperado de <http://www.tritotutto.com/es/molinos-granuladores>

Logolinx (2018). Logo Matlab. Recuperado de <https://www.logolynx.com/topic/matlab>

Matlab Simulink y matemáticas (2018). Diferentes tipos de gráficos en Matlab y simulink. Recuperado de <https://jmirezmath.wordpress.com/2011/03/26/diferentes-tipos-de-representacion-de-graficos-en-matlab-simulink/>

Martínez López, R. I. (2017). Diseño de una máquina recicladora de botellas plásticas para promover el manejo de residuos sólidos en la ciudadanía (Bachelor's thesis).

Melinterest (2018). Máquinas para la industria - Molinos. Recuperado de <http://co.melinterest.com/?r=site/search&category=MCO113549>

MEXTEND (2018). Trituradoras y granuladoras industriales. Recuperado de <http://www.zermamexico.com/>

MSA GROUP (2018). Máquina trituradora de plástico y Electrónicos. Recuperado de [http://themsagroup.com/adwords/maquina-trituradora-de-plasticos.php?gclid=EAIaIQobChMI8d\\_u3qDB1wIVhIKzCh1ydwYKEAAYASAAEgKNBvD\\_BwE#molino-2ejes](http://themsagroup.com/adwords/maquina-trituradora-de-plasticos.php?gclid=EAIaIQobChMI8d_u3qDB1wIVhIKzCh1ydwYKEAAYASAAEgKNBvD_BwE#molino-2ejes)

Pilatasig Lasluisa, D. A., & Pozo Correa, F. R. (2014). Diseño y construcción de una máquina para moler plásticos PET para la microempresa de reciclaje “Santa Anita” ubicada en el Canton Salcedo provincia de Cotopaxi.

Riise, B. L., Starchl, M., & Gysbers, J. (2014). *U.S. Patent No. 8,899,422*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Rueda, P., Ricardo, L., & Rodríguez Salazar, I. E. (2013). Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos fuera de especificación en envases tetra pack y recipientes plásticos (Bachelor's thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2013).

UNTHA (2019). Produkte - RS50/60/100. Recuperado de [https://www.untha.com/de/produkte/neumaschinen/rs50/60/100\\_p56](https://www.untha.com/de/produkte/neumaschinen/rs50/60/100_p56)

Sánchez Vargas, J. O. (2015). Estudio de factibilidad para la aplicación de una máquina trituradora de plástico en la empresa MG gestores ambientales (Bachelor's thesis).

SERMA México (2018) ZBS Pastas y puegas. Recuperado de <http://www.zermamexico.com/wp-content/uploads/2017/06/fabricante-de-maquinas-trituradoras-industriales-zerma-mexico-trituradores-zbs.jpg>

# **ANEXOS**

## VII.ANEXOS

### ANEXO 1

#### **Norma Internacional Plásticos- Directrices para la recuperación y reciclaje de residuos plásticos (ISO 15270- 2018)**

**NORMA  
INTERNACIONAL**

**ISO  
15270**

segunda edición  
2008-06-15

---

---

**Plásticos - Directrices para la recuperación y el reciclaje  
de los residuos plásticos**

*Plastiques - lignes conductrices Lignes pour la valorización et le recyclage des déchets Plastiques*

## ANEXO 2

# Norma Europea Plásticos- Plásticos reciclados- Caracterización del polietileno- Teraftalato PET- Reciclados (ES 15348)

BS EN 15348: 2014

NORMA NORMA EUROPEA

ES 15348

Norma Europea

EUROPÄISCHE

de noviembre de 2014

ICS 13.030.50; 83.080.20

Sustituye EN 15348: 2007

Versión inglesa

### Plásticos - plásticos reciclados - Caracterización de poli (etileno tereftalato) (PET) reciclados

Plastiques - Plastiques recicla - caractérisation des  
recyclats de poli (téraphthalate de etileno) (PET)

Kunststoffe - Kunststoff-Rezyklate - Charakterisierung von  
Polyethylenterephthalat (PET) -Rezyklaten

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 20 de septiembre de 2014.

Los miembros de CEN están obligados a cumplir con los / CENELEC Reglamento Interior de CEN que estipulan las condiciones de la norma europea del rango de norma nacional sin ninguna alteración. Hasta a la fecha de las listas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse mediante solicitud presentada ante el Centro de Gestión de CEN-CENELEC o cualquier miembro de CEN. Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (Inglés, francés, alemán). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión de CEN-CENELEC tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, ex República Yugoslava de Macedonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania,

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, ex República Yugoslava de Macedonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y Reino Unido.



Comité Europeo de Normalización Comité Europeo de Normalización  
Europäisches KOMITEE für Normung

CEN-CENELEC Centro de Gestión: Avenida Marnix 17, B-1000 Bruselas

### ANEXO 3

## MODELO DE ENTREVISTA PARA DETERMINAR LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA “BRAVO”



### ENCUESTA DE NECESIDADES DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO

**ALUMNO:** Cajusol Baldera Henry Paul  
**UNIVERSIDAD:** Señor de Sipán  
**ESCUELA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica  
**TESIS:** Diseño de una Máquina Trituradora de botellas de plástico con una capacidad de 25kg/h para la empresa BRAVO- TUCUME  
**EMPRESA:** Recicladora BRAVO  
**UBICACIÓN:** Calle Federico Villarreal 380 - Tucume

**Pregunta N° 1: ¿Cuál es la cantidad máxima que entra diariamente de botellas de plástico en su almacén?**

.....  
.....

**Pregunta N° 2: ¿Cuántos operarios trabajan en el prensado o chancado de botellas?**

.....  
.....

**Pregunta N° 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el chancado de botellas de plástico?**

.....  
.....

**Pregunta N° 4: ¿Cuántos kilos procesan diariamente en el chancado de botellas?**

.....  
.....

**Pregunta N° 5: ¿Según su opinión cree que el plástico triturado es mejor pagado que el plástico prensado?**

.....  
.....

**Pregunta N° 6: ¿Estaría interesado en poseer una máquina TRITURADORA DE BOTELAS DE PLASTICO? ¿Qué características quiere que tenga la máquina?**

.....  
.....

**Pregunta N° 7: ¿Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, cuanto cree que sería su producción diaria, piensa que sería de gran ayuda para su empresa?**

.....  
.....

**Pregunta N° 8: ¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?**

.....  
.....

**Pregunta N° 9: ¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina (Ejemplo: 5mx6mx7m)?**

.....  
.....

**Pregunta N° 10: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?**

.....  
.....

**Pregunta N° 11: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?**

.....  
.....

**ANEXO 4**  
**ENTREVISTA N° 1**



**ENCUESTA DE NECESIDADES DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE  
BOTELLAS DE PLÁSTICO**

**ALUMNO:** Cajusol Baldera Henry Paul  
**UNIVERSIDAD:** Señor de Sipán  
**ESCUELA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica  
**TESIS:** Diseño de una Máquina Trituradora de botellas de plástico con una capacidad de 25kg/h para la empresa BRAVO- TUCUME  
**EMPRESA:** Recicladora BRAVO  
**UBICACIÓN:** Calle Federico Villarreal 380 - Tucume  
; Carlos Bravo Santisteban

**Pregunta N° 1: ¿Cuál es la cantidad máxima que entra diariamente de botellas de plástico en su almacén?**

La cantidad sería entre 200-250 Kg/día

**Pregunta N° 2: ¿Cuántos operarios trabajan en el prensado o chancado de botellas?**

trabajamos 2 personas en el chancado de plástico

**Pregunta N° 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el chancado de botellas de plástico?**

No hay una buena trituración en las botellas es muy insuficiente

**Pregunta N° 4: ¿Cuántos kilos procesan diariamente en el chancado de botellas?**

Normalmente se procesa un máximo de 80 kg/día

**Pregunta N° 5: ¿Según su opinión cree que el plástico triturado es mejor pagado que el plástico prensado?**

Si, el plástico triturado es mejor pagado

**Pregunta N° 6: ¿Estaría interesado en poseer una máquina TRITURADORA DE BOTELAS DE PLASTICO? ¿Qué características quiere que tenga la máquina?**

Si sería de mucha importancia para Empresa, puede ser semi automática, y que cuente con sistema de trituración eficiente

**Pregunta N° 7: ¿Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, cuanto cree que sería su producción diaria, piensa que sería de gran ayuda para su empresa?**

Con 200 kg sería de mucha ayuda, reduciríamos costo de personal y un mejor triturado

**Pregunta N° 8: ¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?**

La máquina que sea semi automática y sencilla para operar

Pregunta N° 9: ¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina (Ejemplo: 5mx6mx7m)?

Se dispone un area de 2x3x6 m

Pregunta N° 10: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?

S/ 2000.00

Pregunta N° 11: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?

En dos años.



## ENTREVISTA N° 2



### ENCUESTA DE NECESIDADES DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO

**ALUMNO:** Cajusol Baldera Henry Paul  
**UNIVERSIDAD:** Señor de Sipán  
**ESCUELA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica  
**TESIS:** Diseño de una Máquina Trituradora de botellas de plástico con una capacidad de 25kg/h para la empresa BRAVO- TUCUME  
**EMPRESA:** Recicladora BRAVO  
**UBICACIÓN:** Calle Federico Villarreal 380 - Tucume  
*Juan Chapiroñan Bances*

**Pregunta N° 1: ¿Cuál es la cantidad máxima que entra diariamente de botellas de plástico en su almacén?**

*Se almacena 200 kg/día*

**Pregunta N° 2: ¿Cuántos operarios trabajan en el prensado o chancado de botellas?**

*Trabajan 2 personas*

**Pregunta N° 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el chancado de botellas de plástico?**

La compactación es insuficiente

**Pregunta N° 4: ¿Cuántos kilos procesan diariamente en el chancado de botellas?**

Un promedio de 100 kg

**Pregunta N° 5: ¿Según su opinión cree que el plástico triturado es mejor pagado que el plástico prensado?**

Si es mejor y se paga otro precio

**Pregunta N° 6: ¿Estaría interesado en poseer una máquina TRITURADORA DE BOTELAS DE PLASTICO? ¿Qué características quiere que tenga la máquina?**

Si, debe contar con un buen sistema de corte y que sea semi automática donde trabaje solo 1 persona

**Pregunta N° 7: ¿Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, cuanto cree que sería su producción diaria, piensa que sería de gran ayuda para su empresa?**

200 - 250 kg - día

**Pregunta N° 8: ¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?**

Semi automática y un sistema de trituración eficiente

**Pregunta N° 9: ¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina (Ejemplo: 5mx6mx7m)?**

Se dispones un espacio de 2x3x6 m

**Pregunta N° 10: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?**

Se puede pagar \$ 3000.00

**Pregunta N° 11: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?**

No sabe



ENTREVISTA N° 3



ENCUESTA DE NECESIDADES DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS DE PLASTICO

**ALUMNO:** Cajusol Baldera Henry Paul  
**UNIVERSIDAD:** Señor de Sipan  
**ESCUELA:** Ingeniería Mecánica Eléctrica  
**TESIS:** Diseño de una Máquina Trituradora de botellas de plástico con una capacidad de 25kg/h para la empresa BRAVO- TUCUME  
**EMPRESA:** Recicladora BRAVO  
**UBICACIÓN:** Calle Federico Villarreal 380 - Tucume  
Jose Bravo Santisteban

**Pregunta N° 1: ¿Cuál es la cantidad máxima que entra diariamente de botellas de plástico en su almacén?**

200 kg  
.....  
.....

**Pregunta N° 2: ¿Cuántos operarios trabajan en el prensado o chancado de botellas?**

2 personas  
.....  
.....

**Pregunta N° 3: ¿Según su opinión, que dificultades presenta el chancado de botellas de plástico?**

Es muy ineficiente

**Pregunta N° 4: ¿Cuántos kilos procesan diariamente en el chancado de botellas?**

Promedio 80 kg

**Pregunta N° 5: ¿Según su opinión cree que el plástico triturado es mejor pagado que el plástico prensado?**

Si es mucho mejor y lo paga tambien

**Pregunta N° 6: ¿Estaría interesado en poseer una máquina TRITURADORA DE BOTELAS DE PLASTICO? ¿Qué características quiere que tenga la máquina?**

Semi automática y con un buen sistema de trituración

**Pregunta N° 7: ¿Si usted contaría con una máquina trituradora de plástico, cuanto cree que sería su producción diaria, piensa que sería de gran ayuda para su empresa?**

200 kg al día Seria de gran ayuda para la producción

**Pregunta N° 8: ¿Qué características debería tener el producto final para considerarse satisfecho?**

Semi automática

Pregunta N° 9: ¿Qué espacio de trabajo podría brindarle a esta nueva máquina (Ejemplo: 5mx6mx7m)?

2 x 3 x 6 mts

Pregunta N° 10: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por esta máquina trituradora de botellas de plástico?

S/ 2000.00

Pregunta N° 11: ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de compra de la máquina trituradora de botellas de plástico?

No sabe

## ANEXO 5

### Propiedades Mecánicas del ACERO AISI 1045

#### SUMITEC-2015

24/4/2019

AISI 1045 Steel, cold drawn, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

#### AISI 1045 Steel, cold drawn, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Medium-carbon steel, can be hammer forged. Can be heat treated, flame or induction hardened, but not recommended for carburizing or cyaniding. AISI cross reference for JIS S45C and KS SM45C.

**Key Words:** AFNOR NF A35-553 XC45, AFNOR NF A35-554 XC48, DIN 1654 1.1192, DIN 1654 Cq45, DIN 17200 1.0503, AFNOR XC42, AFNOR XC42TS, AFNOR XC48TS, AFNOR NF A33-101 AF65C45, AFNOR NF A35-552 XC48H1, UNS G10450, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A266 Class 3, ASTM A304, ASTM A311, ASTM A510, ASTM A519, AS 1442 K1045 (Australia), AS 1442 S1045, AS 1443 K1045, AS 1443 S1045, AS 1446 K1045, AS 1446 S1045, ASTM A568, ASTM A576, ASTM A682, ASTM A827, ASTM A830, FED QQ-S-635, FED QQ-S-700, FED QQ-W-461, MIL S-24093, MIL S-3039, BDS 6354 45G2A, BDS 6354 45G2K2, BDS 6354 45G2K3, GB 3078 45 (China), GB 3088 45, GB 699 45, YB 6 45B, DIN 17200 1.1191, DIN 17200 1.1201, DIN 17200 C45, DIN 17200 CK45, DIN 17200 Cm45, DIN 17200 GS-CK45, DIN 17212 1.1193, MIL S-46070, SAE J1397, SAE J403, SAE J412, BS 970 Part 1 O60A47 (U.K), BS 970 Part 1 O80A47, BS 970 Part 1 O80M46, NBN 253-02 C45-3, NBN 253-06 C46, BDS 3492 45LI (Bulgaria), BDS 3492 45LII, BDS 3492 45LIIL, BDS 5785 45, BDS 6354 45G2, ONORM M3108 C45SW (Austria), ONORM M3110 RC45, ONORM M3161 C45, NBN 253-02 C45-1 (Belgium), NBN 253-02 C45-2

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell
Tensile Strength, Ultimate	625 MPa	90600 psi	
Tensile Strength, Yield	530 MPa	76900 psi	
Elongation at Break	12 %	12 %	In 50 mm
Reduction of Area	35 %	35 %	
Modulus of Elasticity	206 GPa	29900 ksi	
Bulk Modulus	163 GPa	23600 ksi	Estimated from elastic modulus
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical for steel
Machinability	55 %	55 %	Based on AISI 1212 steel. as 100% machinability
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Estimated from elastic modulus
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000162 ohm-cm @Temperature 0.000 °C	0.0000162 ohm-cm @Temperature 32.0 °F	annealed specimen
	0.0000223 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000223 ohm-cm @Temperature 212 °F	annealed specimen
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	11.5 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	6.39 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	13.0 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 300 °C	7.22 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 572 °F	
	14.0 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 500 °C	7.78 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 932 °F	
Specific Heat Capacity 	0.486 J/g-°C @Temperature >=100 °C	0.116 BTU/lb-°F @Temperature >=212 °F	annealed
	0.519 J/g-°C	0.124 BTU/lb-°F	

## ANEXO 6

### Propiedades Mecánicas del Acero SISA A2



**SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.**

Color de distinción verde blanco

#### CARACTERÍSTICAS

Acero grado herramienta de media aleación (medio carbón, medio cromo), de temple al aire que alcanza durezas de 60-62 HRC. Su resistencia al desgaste es entre los aceros temple al aceite (O1) y los aceros de alto cromo / carbón (D2). Al ofrecer la combinación de buena tenacidad así como moderada resistencia al desgaste, se ha usado ampliamente por muchos años en una variedad de aplicaciones de trabajo en frío que requieren buena resistencia a la abrasión pero en donde los aceros de alto cromo / carbón sufren desposillado o fractura.

El acero SISA A2 es de fácil maquinado en estado recocido y como los otros aceros herramienta de temple al aire, exhibe mínima distorsión durante al temple, haciéndolo una excelente elección para herramientas de configuración complicada.

#### APLICACIONES TÍPICAS

Estampado y Formado	Partes de Desgaste
Matrices y Punzones	Dados de Laminación
Troquelado y Perforado	Punzones para Pastillas
Troquelado Fino	Farmacéuticas
Dados para Acuñaado	Cuchillas para Corte de
Herramientas de Roscado	Chatarra y Sitters
Herramientas para	Herramientas para
Rebabeear	Embutido
Insertos para Moldes	

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
1.00	0.85	0.30	5.25	1.10	0.25

#### NORMAS:

SAE / AISI	DIN	JIS
A2	1.2363	SKD 12

#### TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El Acero SISA A2 puede ser nitrurado, recubierta con TiN (nitruro de titanio) o cromo duro. Cuando se utilizan recubrimientos superficiales, templar al rango de temperaturas altas de austenización y revenir a la misma temperatura o superior a la del tratamiento superficial.

#### SISA A2

#### PROPIEDADES FÍSICAS

**Módulo de Elasticidad** 30 psi x 10<sup>6</sup> (207 GPa)  
**Densidad** 76861 kg/m<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)  
**Conductibilidad Térmica**  
 BTU/hr-ft-F    W/m<sup>2</sup>K    cal/cm-s-°C  
 a 95°C (200°F)    15    26    0.0620

#### Coefficiente de Dilatación Térmica

°C	°F	mm/mm°C	in/in°F
20-260	70-500	10.6x10 <sup>-6</sup>	5.91x10 <sup>-6</sup>
20-425	70-800	12.9x10 <sup>-6</sup>	7.19x10 <sup>-6</sup>
20-540	70-1000	14.0x10 <sup>-6</sup>	7.76x10 <sup>-6</sup>
20-660	70-1200	14.2x10 <sup>-6</sup>	7.91x10 <sup>-6</sup>

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

	Temperatura <sup>(1)</sup> de Temple °C	Temperatura <sup>(1)</sup> °F	Dureza HRC	Resistencia <sup>(2)</sup> al Impacto ft.-lb. (J)	Resistencia <sup>(2)</sup> al Desgaste Adhesivo
A2	955	1750	60	40 (53)	2-3
S7	955	1750	57	125 (169)	1
D2	1010	1850	60	21 (28)	3-4
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: Temple según se indica con respecto a la dureza.

(2) Pruebas de Impacto Enthalpy Charpy C.

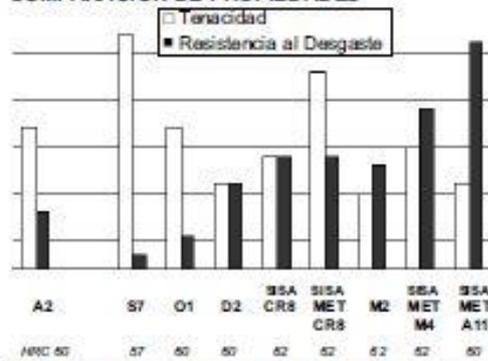
(3) Valores relativos.

(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	%
970	1775	205	400	61	+0.07
970	1775	260	500	59	+0.10
970	1775	315	600	58	+0.09

#### COMPARACIÓN DE PROPIEDADES



Note: Las aplicaciones indicadas son típicas. No se debe intentar su aplicación específica sin un estudio independiente y una evaluación de factibilidad.

## ANEXO 7

### Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1010

AISI 1010 Steel, CQ sheet, 1.6-5.8 mm round or thickness

[http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=...](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=...)

#### AISI 1010 Steel, CQ sheet, 1.6-5.8 mm round or thickness

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Easily cold formed by heading, extruding, upsetting, bending, and other deforming processes. Uses for wires include electroplated products, such as racks, storage bins, shopping carts, fan guards, and jewelry, and unplated such as wires, staples, hardware, and barbed wire.

**Key Words:** UNS G10100, AMS 5040, AMS 5042, AMS 5044, AMS 5047, AMS 5053, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A510, ASTM A519, ASTM A545, ASTM A549, ASTM A575, ASTM A576, MIL SPEC MIL-S-11310 (CS1010), JIS S 9 CK, SAE J403, SAE J412, SAE J414, DIN 1.1121, AFNOR XC 10 (Fr), JIS S10 C, JIS S 12 C, AISI1010

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	Typical for steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	310 - 360 MPa	45000 - 52200 psi	
Tensile Strength, Yield	180 - 240 MPa	26100 - 34800 psi	
Elongation at Break	32 - 48 %	32 - 48 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical For Steel
Machinability	55 %	55 %	Based on AISI 1212 steel. as 100% machinability. Group I bar, rod, and wire products machinability can be improved by cold drawing.
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000143 ohm-cm	0.0000143 ohm-cm	condition unknown
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	12.2 µm/m-°C	6.78 µin/in-°F	
	@ Temperature 0.000 - 100 °C	@ Temperature 32.0 - 212 °F	
	13.0 µm/m-°C	7.22 µin/in-°F	
	@ Temperature 0.000 - 200 °C	@ Temperature 32.0 - 392 °F	
	13.5 µm/m-°C	7.50 µin/in-°F	
	@ Temperature 0.000 - 300 °C	@ Temperature 32.0 - 572 °F	
	13.8 µm/m-°C	7.67 µin/in-°F	
	@ Temperature 0.000 - 400 °C	@ Temperature 32.0 - 752 °F	

## ANEXO 8

### Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1020

AISI 1020 Steel, hot rolled, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

[http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=...](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=...)

#### AISI 1020 Steel, hot rolled, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

**Categories:** [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

**Material Notes:** Applications include parts in the case hardened condition where core strength is not critical, and for shafts of larger cross section that are not highly stressed. Other uses include lightly stressed gears with hard wearing surfaces and case hardened pins and chains.

**Key Words:** UNS G10200, AMS 5032, AMS 5045, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A510, ASTM A519, ASTM A29, A108, A510, A512, A513, A519, A544, A575 M10120, A576, A635, A659, A827, A830, BS 970 040A20, 050A20 (En2C), 050A20 (En2D), 060A20, BS 970 Part 1 070M20, DEF STAN95-1-1 C1020, SAE J412, SAE J414, DIN 1.0402, AFNOR CC 20, UNI C 20, SS14 1450 (Sweden), SAE J403

**Vendors:** No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	111	111	
Hardness, Knoop	128	128	Converted from Brinell Hardness
Hardness, Vickers	112	112	Converted from Brinell Hardness
Tensile Strength, Ultimate	380 MPa	55100 psi	
Tensile Strength, Yield	205 MPa	29700 psi	
Elongation at Break	25 %	25 %	
Reduction of Area	50 %	50 %	
Modulus of Elasticity	186 GPa	27000 ksi	
Bulk Modulus	148 GPa	21500 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Poissons Ratio	0.29	0.29	
Shear Modulus	72.0 GPa	10400 ksi	calculated from elastic modulus and Poisson's ratio
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000159 ohm-cm @Temperature 0.000 °C	0.0000159 ohm-cm @Temperature 32.0 °F	condition unknown
	0.0000219 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000219 ohm-cm @Temperature 212 °F	condition unknown
	0.0000292 ohm-cm @Temperature 200 °C	0.0000292 ohm-cm @Temperature 392 °F	condition unknown
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity 	0.486 J/g-°C @Temperature >=100 °C	0.116 BTU/lb-°F @Temperature >=212 °F	condition unknown

## ANEXO 9

### Propiedades físicas del PET



#### PROPIEDADES FÍSICAS POLITEREFTARATO DE ETILENO (PET)

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm <sup>3</sup>	1,39
<b>Absorción de agua:</b>			
después de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	jun-13
hasta la saturación en aire a 23°C / 50% HR	62	%	0,07/0,16
hasta la saturación en aire a 23°C		%	0,25
		%	0,5
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>			
Temperatura de Fusión		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
<b>Coefficiente de dilatación termica lineal:</b>			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 <sup>-6</sup>
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 <sup>-6</sup>
<b>Temperatura por deformación por carga:</b>			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
<b>Temperatura máxima de servicio en aire:</b>			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
<b>Temperatura mínima de servicio</b>			
Inflamabilidad			
-Indice de oxígeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificación UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB
<b>PROPIEDADES MECANICAS A 23°C</b>			
<b>Ensayo de tracción</b>			
-esfuerzo de tensión para fluencia	527	MPa	90
-elongación a la rotura			15
-modulo de elasticidad			3.700
<b>Ensayo de compresión</b>			
-esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	MPa	26/51/103
<b>Ensayo de fluencia a tracción</b>			
-esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación las 1.000h	899	Mpa	26
Resistencia al impacto Charpy-sin entalla	179/1eU	kJ/m2	≥50
Resistencia al impacto Charpy-con entalla	179/1eU	kJ/m2	2
Resistencia al impacto Izod- con entalla	180/2A	kJ/m2	2
Dureza con bola	2039-1	N/mm2	170
Dureza Rockwell	2039-2		M96
<b>PROPIEDADES ELECTRICAS A 23°C</b>			
Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	22
Resistividad volumetrica	60093	Ω-cm	>10 <sup>15</sup>
Resistividad superficial		Ω	>10 <sup>15</sup>
<b>Permeabilidad relativa</b>			
	-a 100 Hz	60250	3,4
	-a 1 Hz	60250	3,2

## ANEXO 10

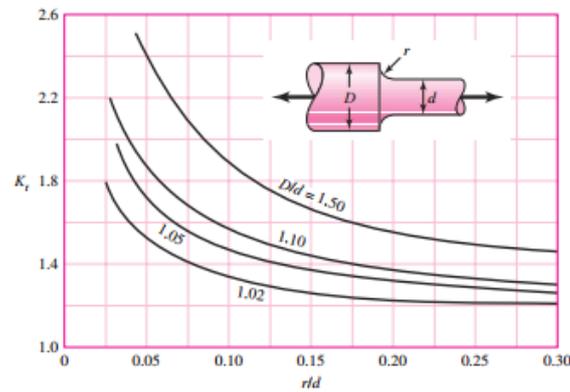
### Factores de concentración de esfuerzo – (Budynas, R. y Nisbett, J. ,2008)

**Tabla A-15**

Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo  $K_t^*$  (continuación)

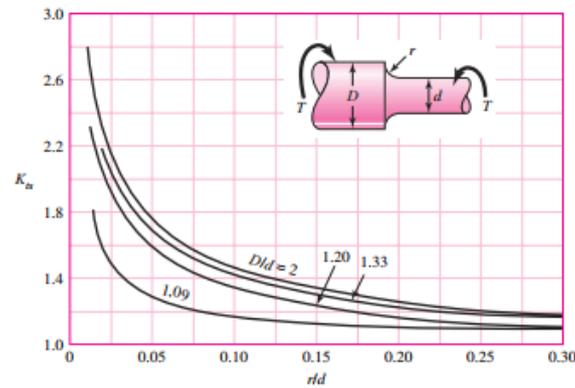
**Figura A-15-7**

Eje redondo con filete en el hombro en tensión.  $\sigma_0 = F/A$ , donde  $A = \pi d^2/4$ .



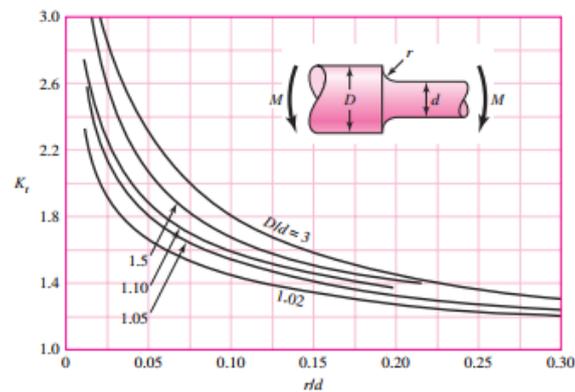
**Figura A-15-8**

Eje redondo con filete en el hombro en torsión.  $\tau_0 = Tc/J$ , donde  $c = d/2$  y  $J = \pi d^4/32$ .



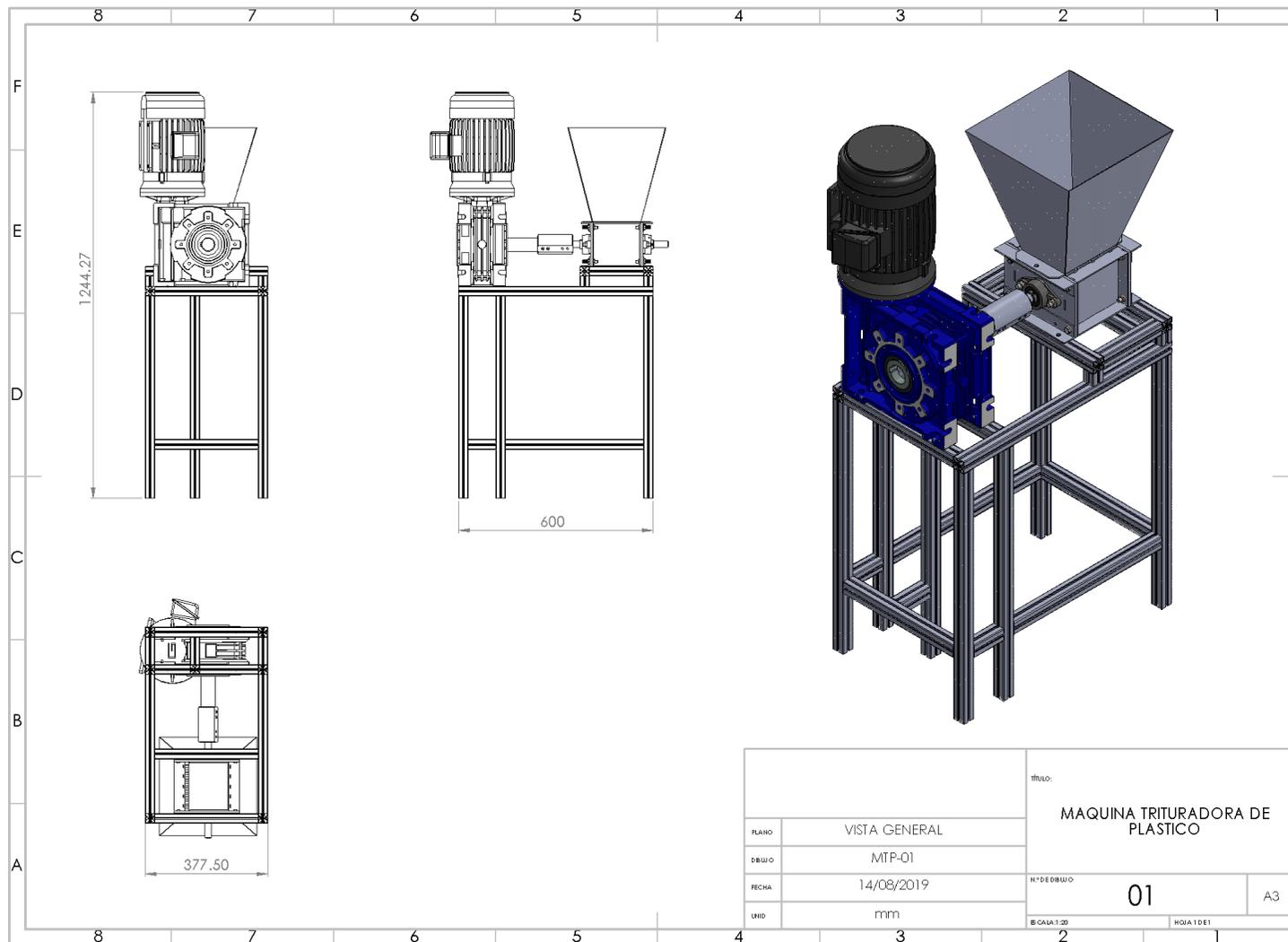
**Figura A-15-9**

Eje redondo con filete en el hombro en flexión.  $\sigma_0 = Mc/I$ , donde  $c = d/2$  y  $I = \pi d^4/64$ .

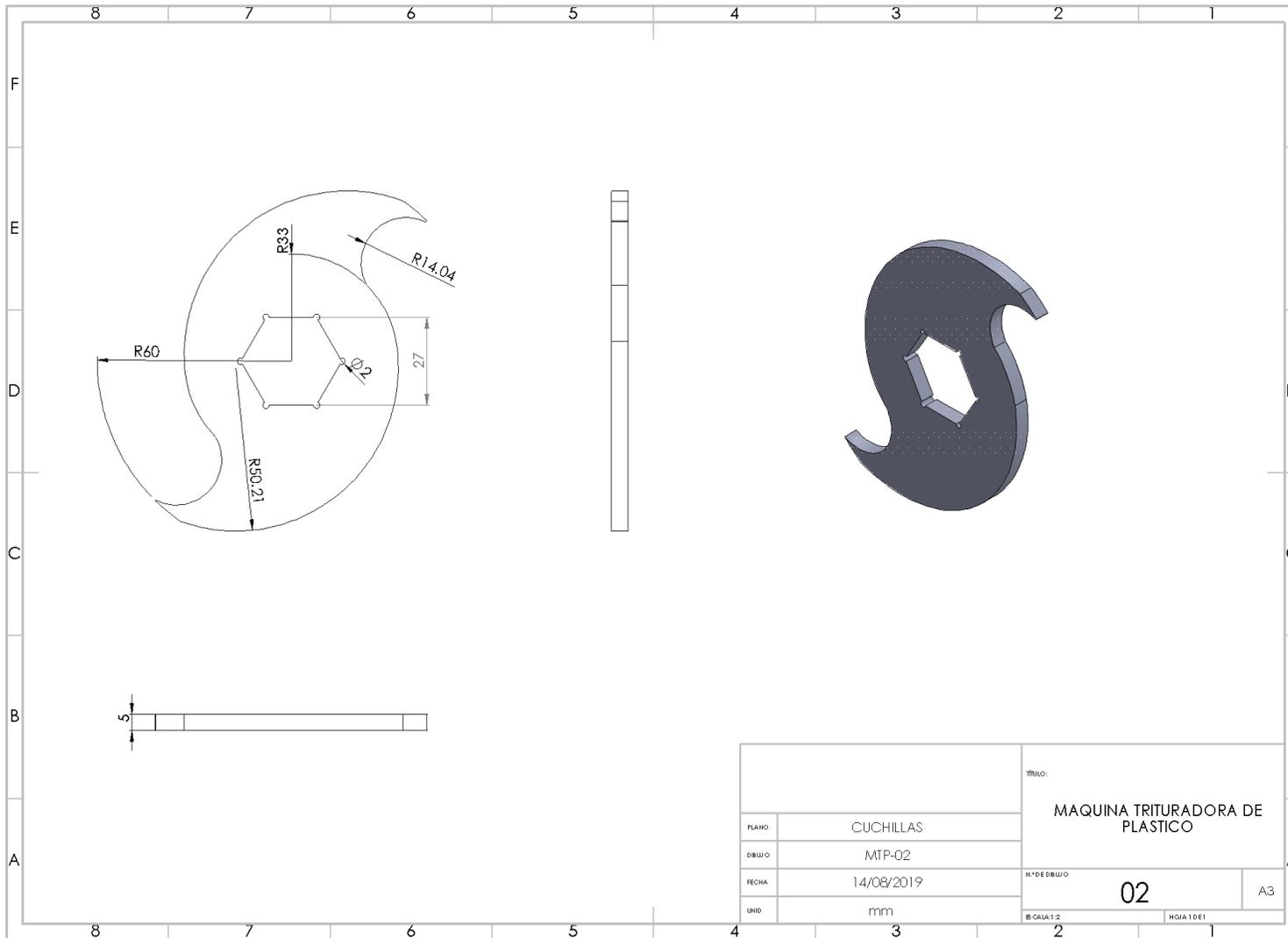


## ANEXO 11

### PLANO GENERAL DE MAQUINA TRITURADORA DE PLASTICO

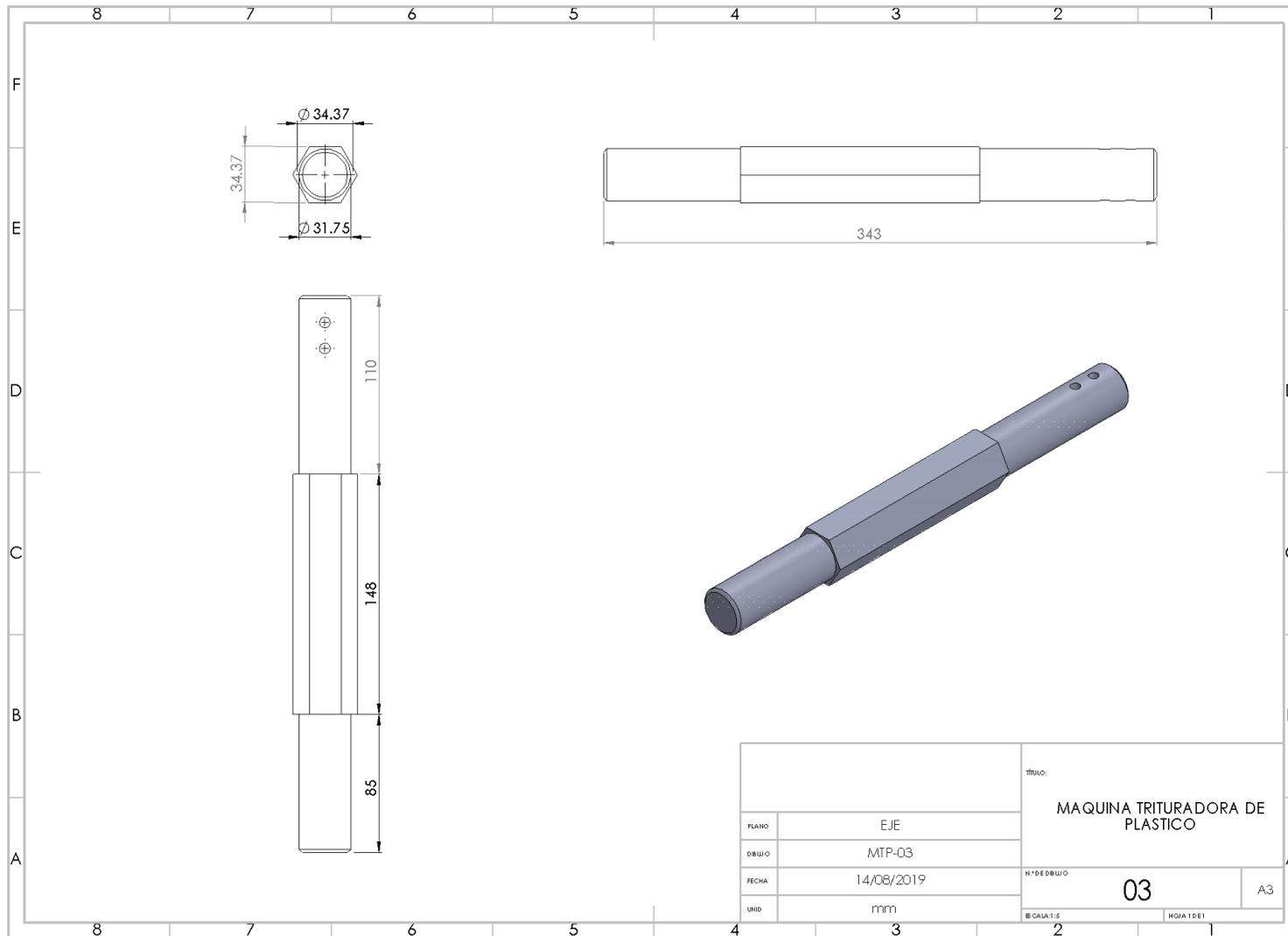


# PLANO DE FABRICACION DE LAS CUCHILLAS



TITULO:		MAQUINA TRITURADORA DE PLASTICO	
PLANO:	CUCHILLAS	H/D E DIBUJO:	02
DIBUJO:	MTP-02	A3	
FECHA:	14/08/2019	ESCALA 1:2	
UNID:	mm	HOJA 1 DE 1	

# EJE PORTA CUCHILLAS



## ANEXO 12

### Cálculo de escritorio para el diseño del eje por carga estática y fatiga

#### 1. Cálculo para determinar la fuerza de corte para el plástico

##### 1.1. Ángulo de corte

Para determinar el ángulo de corte se emplea la Ecuación N° 3.

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

Donde:

$\varphi$  : Ángulo de corte

$h_c$  : 3.5 mm

$f$  : 3 mm

$\gamma_0$  : 15°

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{\cos 15}{\frac{3.5}{3} - \sin(15)} \right)$$

$$\varphi = 46.775^\circ$$

##### 1.2. Fuerza de fricción sobre la viruta

Calculamos la fuerza de fricción que actúa sobre la viruta empleando la Ecuación N° 2.

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

Donde:

$F_w$  : Fuerza de fricción actuando sobre la viruta

$C$ :  $72 \text{ N/mm}^2$

$n$ : 0.346

$b$ : 5 mm

$$F_w = 72 \times 5 \times 3 \left[ \frac{\cos(2(46.775) - 15)}{\sqrt{3} \cdot \sin^2(46.775)} \cdot \left( \frac{\cos 15}{\sqrt{3} \cdot \sin(46.775) \cos(46.775 - 15)} \right)^{0.346} \right]$$

$$F_w = 224.8 \text{ N}$$

### 1.3. Fuerza de corte

Con la Ecuación N° 1 calculamos la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{cbf}{n+1} \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} \times \sin \varphi \times \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^{n+1} + F_w \left( \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi - \gamma_0)} \right)$$

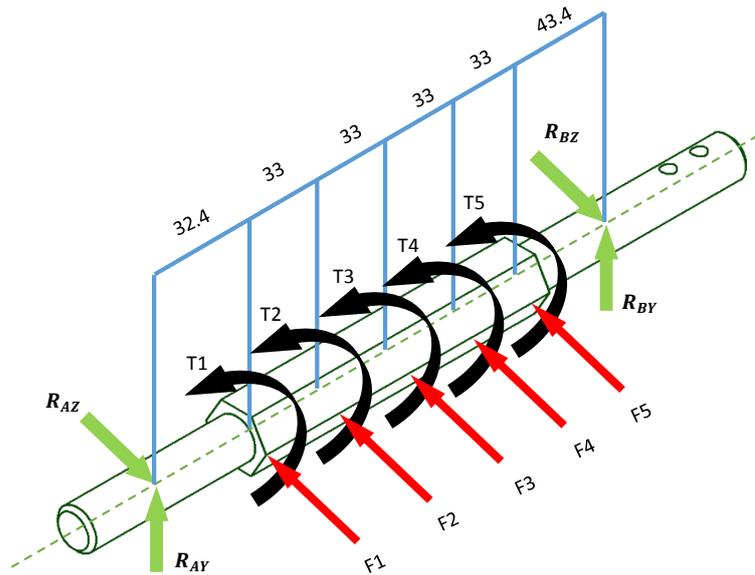
$$F_c = \frac{72 \times 5 \times 3}{0.346 + 1} \left( \frac{\cos 15}{\sqrt{3} \times \sin 46.775 \times \cos(46.775 - 15)} \right)^{0.346+1} + 132.11 \left( \frac{\sin 46.775}{\cos(46.775 - 15)} \right)$$

$$F_c = 889.25 \text{ N}$$

## 2. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el eje

### 2.1. Diagrama de Cuerpo Libre

De la Figura 35 se sustituye las fuerzas que actúan sobre las cuchillas por sus valores equivalentes sobre el eje (Fuerzas y Momentos) como se aprecia en la Figura N° XX



**Figura N° XX.** Diagrama de cuerpo libre de eje  
**Fuente:** Propia

## 2.2. Ecuaciones de Equilibrio

$$\sum F_Y = R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = R_{BY}$$

$$\sum F_Z = R_{AZ} - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 + R_{BZ} = 0$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 5(F_1) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 5(889.25 \text{ N}) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 4446.3 \text{ N}$$

$$\sum M_{AY} = F_1(L_1) + F_2(L_2) + F_3(L_3) + F_4(L_4) + F_5(L_5) - R_{BZ}(L_T) = 0$$

$$F_1(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) = R_{BZ}(L_T)$$

$$(889.25 \text{ N})(32.40 + 65.4 + 98.4 + 131.4 + 164.4) = R_{BZ}(207.8)$$

$$R_{BZ} = \frac{(889.25 \text{ N})(492 \text{ mm})}{207.8 \text{ mm}} = 2105.4 \text{ N}$$

$$R_{AZ} = 4446.3 - R_{BZ}$$

$$R_{AZ} = 4446.3 - 2105.4$$

$$R_{AZ} = 2340.9 \text{ N}$$

### 2.3. Esfuerzos fluctuantes

Debido a que el eje es un elemento rotativo y por la naturaleza de la carga aplicada sobre el mismo los esfuerzos que se presentan en el eje son fluctuantes completamente invertidos. Para determinar el factor de seguridad en fatiga se determinan los esfuerzos fluctuantes como:

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

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

Donde:

$$M_{max} = M_c = 57.11 \text{ N.m}$$

$$M_{min} = -M_c = -57.11 \text{ N.m}$$

$$\tau_{max} = 267.1 \text{ N.m}$$

$$\tau_{min} = 0$$

Sustituyendo se tiene:

$$M_m = \frac{57.11 + (-57.11)}{2} = 0$$

$$M_a = \left| \frac{57.11 - (-57.11)}{2} \right| = 57.11 \text{ N.m}$$

$$T_m = 267.1 \text{ N.m}$$

$$T_a = 0$$

## 2.4. Factor de Seguridad en Carga Estática

Determinado el diámetro del eje desde el análisis paramétrico se confirma el valor del Factor de Seguridad en carga estática para el nuevo diámetro calculado.

$$\sigma_c = K_t \frac{32M_a}{\pi(d_{eje})^3} = (1.4) \frac{32(57.11 \text{ N.m})}{\pi(0.03175\text{m})^3} \times 10^{-6} = 25.45 \text{ Mpa}$$
$$\tau_{xy_c} = K_{ts} \frac{16T_c}{\pi(d_{eje})^3} = (1.2) \frac{16(267.1 \text{ N.m})}{\pi(0.03175\text{m})^3} \times 10^{-6} = 51.01 \text{ Mpa}$$
$$\sigma'_c = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{(24.93)^2 + 3(58.3)^2} = 91.95 \text{ Mpa}$$
$$FS = \frac{S_y}{\sigma'_c} = \frac{310 \text{ Mpa}}{91.9474 \text{ Mpa}} = 3.37$$

## 2.5. Factor de Seguridad en Fatiga

Límite de resistencia a la fatiga es:

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$
$$S'_e = 0.5(565) = 282.5$$

Factor de superficie:  $k_a$

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Donde:

$S_{ut}$ : 565 Mpa

a: 4.51

b: -0.265

$$k_a = 4.51(565)^{-0.265} = 0.8412$$

Factor de tamaño:  $k_b$

$$k_b = 1.24d^{-0.107}$$
$$k_b = 1.24(31.75)^{-0.107} = 0.8565$$

Factor de carga: kc

$$k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

Modificadores del límite de resistencia a la fatiga

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

$$S_e = (0.8412)(0.8565)(1)(1)(1)(1)(282.5) = 203.5$$

**Teoría de Falla ASME Elíptica**

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

$$FS = \frac{1}{\frac{16}{\pi (0.03175)^3} \left[ 4 \left( \frac{(1.4)(57.11)}{203.5} \right)^2 + 3 \left( \frac{(1.2)(0)}{203.5} \right)^2 + 4 \left( \frac{(1.4)(0)}{310} \right)^2 + 3 \left( \frac{(1.2)(267.1)}{310} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

$$FS = 3.21$$

**Potencia Requerida**

$$P = T \cdot \omega$$

$$T = 267.1 \text{ N.m}$$

$$\omega = 60 \text{ RPM}$$

Sustituyendo:

$$P = (1.2)(267.1 \text{ N.m})(60 \text{ RPM}) \left( \frac{2\pi}{60} \right) (10^{-3}) = 2.01 \text{ KW}$$

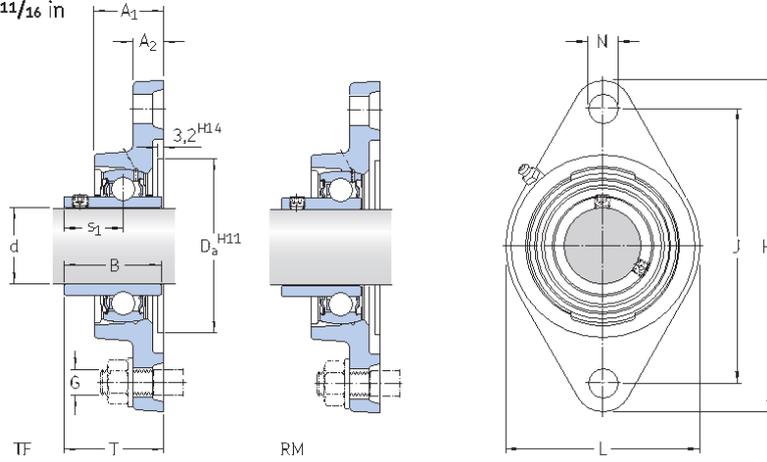
$$P = 2.01 \text{ KW} = 2.7 \text{ HP}$$

## ANEXO 13

### Cojinetes en pulgadas - SKF

Flanged Y-bearing units with a cast housing with an oval flange and grub screws,  
inch shafts

d 1 3/16 - 1 11/16 in



**Dimensions**

**Designation**  
Bearing unit

d	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	H	J	L	N	G	s <sub>1</sub>	T	
in/mm											
-											
<b>1 3/16</b>	1.28	0.51	1.22	5.57	4.60	3.27	0.50	7/16	0.87	1.66	<b>FYT 1.3/16 RM</b>
30,163	32,5	13	31	141,5	116,9	83	12,7	10	22	42,2	
	1.28	0.51	1.50	5.57	4.60	3.27	0.50	7/16	0.87	1.66	<b>FYT 1.3/16 TF</b>
	32,5	13	38,1	141,5	116,9	83	12,7	10	22,2	42,2	
<b>1 1/4</b>	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.1/4 RM</b>
31,75	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.12	3.78	0.55	1/2	1.00	1.83	<b>FYT B 1.1/4 TF</b>
	34,5	13	42,9	156	130	96	14	12	25,4	46,4	
	1.34	0.63	1.69	6.34	5.12	3.78	0.63	9/16	1.00	1.75	<b>FYTJ 1.1/4 TF</b>
	34	16	42,9	161	130	96	16	14	25,4	44,4	
<b>1 5/16</b>	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.5/16 TF</b>
33,338	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
<b>1 3/8</b>	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.3/8 RM</b>
34,925	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.3/8 TF</b>
	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
<b>1 7/16</b>	1.36	0.51	1.38	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.7/16 RM</b>
36,513	34,5	13	35	156	130,2	96	14,3	12	25,5	46,4	
	1.36	0.51	1.69	6.14	5.13	3.78	0.56	1/2	1.00	1.83	<b>FYT 1.7/16 TF</b>
	34,5	13	42,9	156	130,2	96	14,3	12	25,4	46,4	
<b>1 1/2</b>	1.52	0.55	1.57	6.75	5.66	4.02	0.56	1/2	1.12	2.07	<b>FYT 1.1/2 RM</b>
38,1	38,5	14	40	171,5	143,7	102	14,3	12	28,5	52,6	
	1.52	0.55	1.94	6.75	5.66	4.02	0.56	1/2	1.19	2.13	<b>FYT 1.1/2 TF</b>
	38,5	14	49,2	171,5	143,7	102	14,3	12	30,2	54,2	
	1.52	0.55	1.94	6.75	5.65	4.02	0.55	1/2	1.19	2.13	<b>FYT B 1.1/2 TF</b>
	38,5	14	49,2	171,5	143,5	102	14	12	30,2	54,2	
	1.42	0.63	1.94	6.89	5.67	3.94	0.63	9/16	1.19	2.02	<b>FYTJ 1.1/2 TF</b>
	36	16	49,2	175	144	100	16	14	30,2	51,2	
<b>1 5/8</b>	1.54	0.55	1.94	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.19	2.13	<b>FYT 1.5/8 TF</b>
41,275	39	14	49,2	178,5	148,4	111	15,9	14	30,2	54,2	
<b>1 11/16</b>	1.54	0.55	1.63	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.20	2.13	<b>FYT 1.11/16 RM</b>
42,863	39	14	41,5	178,5	148,4	111	15,9	14	30,5	54,2	
	1.54	0.55	1.94	7.03	5.84	4.37	0.63	9/16	1.19	2.13	<b>FYT 1.11/16 TF</b>
	39	14	49,2	178,5	148,4	111	15,9	14	30,2	54,2	

Designations Bearing unit	Separate components		Basic load ratings		Fatigue load limit $P_u$	Limiting speed with shaft tolerance $h_6$	Mass Bearing unit $h_6$
	Housing	Bearing	dynamic $C$	static $C_0$			
-			lbs/kN		lbs/kN	r/min	lb/kg
<b>FYT 1.3/16 RM</b>	FYT 506 U	YAT 206-103	4 390 19,5	2 520 11,2	110 0,475	6 300	1,95 0,88
<b>FYT 1.3/16 TF</b>	FYT 506 U	YAR 206-103-2F	4 390 19,5	2 520 11,2	110 0,475	6 300	2,05 0,93
<b>FYT 1.1/4 RM</b>	FYT 507 U	YAT 207-104	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,65 1,21
<b>FYTB 1.1/4 TF</b>	FYTB 507 U	YAR 207-104-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	3,10 1,40
<b>FYTJ 1.1/4 TF</b>	FYTJ 507 U	YAR 207-104-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,85 1,30
<b>FYT 1.5/16 TF</b>	FYT 507 U	YAR 207-105-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,85 1,30
<b>FYT 1.3/8 RM</b>	FYT 507 U	YAT 207-106	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,60 1,15
<b>FYT 1.3/8 TF</b>	FYT 507 U	YAR 207-106-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,80 1,27
<b>FYT 1.7/16 RM</b>	FYT 507 U	YAT 207-107	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,50 1,14
<b>FYT 1.7/16 TF</b>	FYT 507 U	YAR 207-107-2F	5 740 25,5	3 440 15,3	150 0,655	5 300	2,75 1,25
<b>FYT 1.1/2 RM</b>	FYT 508 U	YAT 208-108	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,55 1,60
<b>FYT 1.1/2 TF</b>	FYT 508 U	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,60 1,70
<b>FYTB 1.1/2 TF</b>	FYTB 508 M	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,75 1,70
<b>FYTJ 1.1/2 TF</b>	FYTJ 508	YAR 208-108-2F	6 910 30,7	4 280 19	180 0,8	4 800	3,55 1,60
<b>FYT 1.5/8 TF</b>	FYT 509 U	YAR 209-110-2F	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	4,20 1,90
<b>FYT 1.11/16 RM</b>	FYT 509 U	YAT 209-111	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	3,85 1,74
<b>FYT 1.11/16 TF</b>	FYT 509 U	YAR 209-111-2F	7 470 33,2	4 860 21,6	210 0,915	4 300	4,10 1,86

## Anexo 14: Mantenimiento

### Cuando sea necesario

- Cables y botones de control – Reemplazar
- Pintura y estado físico externo del molino

### Diariamente

- Correas de transmisión de potencia – Inspección y Ajuste (Figura 111)
- Inspección alrededor de la maquina
- Limpieza General

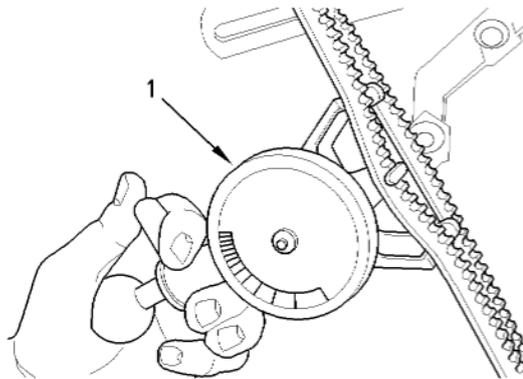
### Correas de Transmisión de potencia

#### Inspección:

Para maximizar el rendimiento del motor eléctrico, inspecciones las correas para identificar si hay desgaste o agrietamiento. Reemplace las correas desgastadas o dañadas.

Para verificar correctamente la tensión de las correas, se debe utilizar un medidor adecuado.

Coloque el medidor (1) en el centro de la longitud libre más larga y compruebe la tensión. Si la tensión de la correa no es la correcta, ajuste la correa a la tensión requerida.



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de motores Perkins.2018

### Cada 100 horas de servicio o cada dos semanas

- Rodamientos – Lubricación

### Cada 200 horas de servicio o cada mes

- Hojas de corte – Afilado y ajuste de tolerancia de corte

### Cada 2400 horas de servicio o cada año

- Tornillería – Apriete y ajuste

### Cada 15.000 horas de servicio o cada 5 años

- Correas de repartición de potencia – Reemplazar
- Rodamientos – Reemplazar