

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR DE LATAS  
DE ALUMINIO PARA USO DIDÁCTICO**

PRESENTADO POR:

**KEVIN ALEXANDER CRUZ ÁLVAREZ  
JOSÉ GERARDO GÓCHEZ ROMERO  
JULIO CÉSAR MORENO FÓRTIZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR :

**Ing. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR DE LATAS  
DE ALUMINIO PARA USO DIDÁCTICO**

Presentado por :

**KEVIN ALEXANDER CRUZ ÁLVAREZ  
JOSÉ GERARDO GOCHEZ ROMERO  
JULIO CÉSAR MORENO FÓRTIZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ  
Ing. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

San Salvador, septiembre de 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

**Ing. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

## DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por su bendición, sabiduría, protección y guía que me ha dado durante toda mi vida.

A mi padre Carlos Dagoberto Cruz Paredes, por todo su amor de padre, el esfuerzo que ha realizado para brindarme mi formación profesional, su apoyo incondicional en cualquier circunstancia, por corregir mis fallas, por sus consejos y su sabiduría de padre.

A mamá Marleny Marina Álvarez, por todo el amor de madre, por su apoyo incondicional en cualquier circunstancia, por todos sus consejos y sabiduría transmitida, por todo el esfuerzo que ha realizado en toda mi formación profesional.

A mis hermanos Edwin Dagoberto Cruz Álvarez y Karla Beatriz Cruz Álvarez por todo su amor brindado, por su apoyo cuando yo les he solicitado, brindarme consejos, compartir sus conocimientos y corregirme.

*Kevin Alexander Cruz Álvarez*

## DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso y la Virgen Santísima, por cada bendición, guía y sabiduría proporcionada a lo largo de mis años de vida.

A mi madre, Sonia Angélica Romero Pinzón, por el apoyo, fortaleza y amor incondicional que ha demostrado durante mi desarrollo y preparación como profesional, pero más que nada, por impulsarme a ser mejor ser humano cada día, por su guía y su esfuerzo para siempre salir adelante.

A mi padre, José Mauricio Góchez Monterrosa, por el esfuerzo realizado para mi formación tanto personal como profesional, por su apoyo y amor hacia mí en los buenos y malos momentos, sus consejos y palabras de aliento en todo momento.

A mi hermano, José Mauricio Góchez Romero, por ser un apoyo y ejemplo a seguir durante toda mi vida, por sus consejos y su cariño, por siempre velar por mi bienestar y éxito académico y profesional.

A mi abuelo, Miguel Ángel Romero, que Dios lo tenga en su santa gloria, por haber sido un maestro y guía a lo largo de mi vida, ser un apoyo incondicional en inculcarme los valores, que hoy en día, sigo honrando.

A mis amigos y seres queridos, por siempre demostrar su cariño y apoyo en los buenos y malos momentos de mi vida y formación, por sus palabras de aliento y confianza que me hacían seguir adelante y mejorar cada día.

*José Gerardo Góchez Romero*

## DEDICATORIA

Este trabajo de graduación está dedicado a:

Mis padres:

Ana Mercedes Fórtiz Molina y Julio César Moreno Infante

Mi hermana:

Gabriela María Moreno Fórtiz

A mis abuelas:

Julia Ana Molina y María Emma Infante

Y por sobre todas las cosas a mi Dios que me dio las fuerzas, la sabiduría y la inteligencia para cumplir mis sueños.

*Julio César Moreno Fórtiz*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos sabiduría e inteligencia para culminar con éxito esta etapa de nuestra formación académica.

A nuestras familias por proveernos los elementos necesarios, brindarnos su apoyo incondicional y motivarnos a culminar nuestras metas.

A la Universidad de El Salvador, por ser nuestra alma mater y formarnos como ingenieros.

A nuestros asesores, Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz e Ing. Rigoberto Velásquez Paz por brindarnos su apoyo, conocimientos y ayuda durante el trabajo de graduación, en especial a su esfuerzo y deseo por terminar con éxito aún en el transcurso de una pandemia.

Al Ing. William René Martínez por su apoyo y entrega de su tiempo en la realización de piezas en el Centro de Mecanizado de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Al personal del Taller Metal Mecánica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por instruirnos y colaborarnos en la realización de piezas para nuestro Trabajo de Graduación.

Y de manera muy especial a todos nuestros compañeros y amigos que nos motivaron y ayudaron a cumplir la finalización de este sueño.

*Kevin, Gerardo y Julio.*

# DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR DE LATAS DE ALUMINIO PARA USO DIDÁCTICO

**Estudiantes:** Kevin Alexander Cruz Álvarez<sup>1</sup>, José Gerardo Góchez Romero<sup>2</sup> y Julio César Moreno Fórtiz<sup>3</sup>

**Docentes Asesores:** Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>4</sup>  
Ing. Rigoberto Velásquez Paz<sup>5</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

## RESUMEN

Se ha realizado el diseño de un molino triturador para latas de aluminio con fines didáctico con el cual se estaría facilitando la preparación de las latas de aluminio para el proceso de fundición. Se inició recopilando información de diferentes fuentes bibliográficas para conocer más sobre su funcionamiento y partes que lo componen, así también las propiedades del aluminio. Es así como se identificó que existen diferentes tipos y clasificaciones de molinos trituradores de acuerdo a su aplicación, es de esta manera que se seleccionó el tipo de molino triturador de dos ejes. Luego, se realizó el diseño de los diferentes componentes con todas sus respectivas consideraciones en la adecuada selección del material y dimensiones. Posteriormente se realizó la descripción del proceso constructivo indicando las piezas más críticas que requieren de un maquinado CNC para lograr las dimensiones exactas, luego se describe el proceso de ensamble que se debe seguir para cada uno de los componentes, se detallan los costos de materiales, piezas y herramientas necesarias para realizar su construcción. Por último, se presentan los planos de los elementos, subconjuntos y ensamble del molino triturador, a la vez que se anexan los manuales de operación y mantenimiento correspondientes.

---

1 [kcruz291@gmail.com](mailto:kcruz291@gmail.com)

2 [ggochez95@gmail.com](mailto:ggochez95@gmail.com)

3 [mf14012@ues.edu.sv](mailto:mf14012@ues.edu.sv)

4 [jonathan.berrios@ues.edu.sv](mailto:jonathan.berrios@ues.edu.sv)

5 [velasquezpaz2@yahoo.com](mailto:velasquezpaz2@yahoo.com)

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Marco teórico.....	4
1.1. Contexto histórico .....	4
1.2. Definición del proceso.....	8
1.3. Clasificación de los molinos trituradores .....	13
1.3.1. Molinos a bajas revoluciones (25 rpm) .....	14
1.3.2. Molinos a altas revoluciones (250-350 rpm) .....	20
1.4. Selección de alternativa .....	22
1.4.1. Criterios para la selección del modelo .....	24
1.4.2. Principio de funcionamiento .....	25
1.5. Descripción de los elementos mecánicos principales.....	27
1.5.1. Engranajes .....	27
1.5.2. Eje de transmisión .....	30
1.5.3. Discos de corte .....	31
1.5.4. Cojinetes .....	32
1.5.5. Manivela .....	35
1.6. Parámetros involucrados .....	35
2. Diseño del equipo.....	37
2.1. Determinación de las variables involucradas en el diseño .....	38
2.2. Diseño de elementos mecánicos críticos .....	47
3. Proceso de construcción del equipo .....	69
3.1. Maquinado de cuchillas de corte.....	69
3.2. Maquinado de separadores de cuchilla .....	75
3.3. Maquinado de separadores de pared.....	76
3.4. Maquinado de los ejes de transmisión .....	80

3.5.	Maquinado del soporte de la trituradora .....	82
3.6.	Fabricación de manivela .....	85
3.7.	Fabricación de estructura metálica.....	87
3.8.	Fabricación de tolva.....	92
3.9.	Ensamble de todos los elementos mecánicos.....	93
3.10.	Pruebas y ajustes de la máquina .....	98
4.	Análisis de costos del proyecto .....	99
4.1.	Costos del proyecto .....	99
5.	Diseño de los manuales de operación y mantenimiento .....	105
5.1.	Diseño del manual de operación.....	105
5.1.1.	Objetivo.....	105
5.1.2.	Responsabilidades .....	106
5.1.3.	Contenido.....	106
5.2.	Diseño del manual de mantenimiento .....	107
5.2.1.	Objetivos .....	108
5.2.2.	Responsabilidades .....	108
5.2.3.	Contenido.....	108
	CONCLUSIONES.....	110
	REFERENCIAS .....	111
	ANEXOS .....	114
	Anexo A: Planos de fabricación .....	114
	Anexo B: Cotizaciones y facturas.....	130
	Anexo C: Manuales de operación y mantenimiento .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Cálculo de diámetros de la cuchilla-engrane .....	40
Tabla 2.2. Parámetros para determinación de material de engranes rectos.	48
Tabla 2.3. Factores de sobrecarga en máquinas impulsada. ....	49
Tabla 2.4. Determinación de factores de tamaño sugeridos . ....	49
Tabla 2.5. Determinación de factor de confiabilidad.....	51
Tabla 2.6. Determinación de coeficiente elástico .....	52
Tabla 2.7. Determinación de la resistencia a la fatiga en superficie. ....	53
Tabla 2.8. Propiedades de materiales .....	66
Tabla 2.9. Selección de cojinetes.....	68
Tabla 4.1. Costos de materiales. ....	100
Tabla 4.2. Costos de mano de obra. ....	103
Tabla 4.3. Costos indirectos.....	104
Tabla 4.4. Costos extras para fabricación de piezas. ....	104
Tabla 4.5. Costos totales de fabricación por tipo de elemento. ....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Principio de trabajo de una trituradora de mandíbula .....	5
Fig. 1.2. Trituradora giratoria de Gates .....	6
Fig. 1.3. Compañía “Ingenieros Traylor” en 1914.....	7
Fig. 1.4. Trituradora de mandíbula.....	9
Fig. 1.5. Trituradora giratoria. ....	10
Fig. 1.6. Trituradora de cono.....	11
Fig. 1.7. Trituradora de impacto.....	12
Fig. 1.8. Molino Triturador.....	13
Fig. 1.9. Clasificación del proceso de reducción de tamaños.....	14
Fig. 1.10. Molino triturador de 4 ejes.....	15
Figs. 1.11. Partes principales de un molino triturador. ....	16
Fig. 1.12. Partes principales de un molino triturador de dos ejes . ....	18
Fig. 1.14. Primera fase de trituración de un molino triturador mono eje . ....	19
Fig. 1.15. Segunda fase de trituración de un molino triturador mono eje. ....	20
Fig. 1.16. Tercera fase de trituración de un molino triturador mono eje. ....	20
Fig. 1.17. Molino triturador de cuchillas. ....	22
Fig. 1.18. Molino triturador de dos ejes.....	23
Fig. 1.19. Geometría de un engrane recto.....	28
Fig. 1.20. Diferentes diseños de discos de corte.....	32
Fig. 2.1. Esquema general del molino triturador de doble eje: a) molino triturador sin tolva, b) molino triturador con tolva .....	37
Fig. 2.2. Esquema de corte.....	38
Fig. 2.3. Diagrama de fuerzas del sistema de corte. ....	41
Fig. 2.4. Diagrama de fuerzas del sistema de corte. ....	42
Fig. 2.5. Diagrama de fuerzas que generan torque.....	45
Fig. 2.6. Gráfico para determinación de factor de ciclos de esfuerzo ( $Z_N$ ).....	50
Fig. 2.7. Gráfico para determinación de factor dinámico ( $K_v$ ). ....	50
Fig. 2.8. Gráfico para determinación de factor de geometría ( $l$ ). ....	51

Fig. 2.9. Gráfico para determinación de factor de relación de dureza ( $C_H$ ).....	52
Fig. 2.10. Diagrama de cuerpo libre de cargas horizontales. Cotas en pulg. ....	55
Fig. 2.11. Diagrama de cuerpo libre con carga puntual. Cotas en pulg .....	55
Fig. 2.12. Diagrama de cortantes y momentos de cargas horizontales. Cotas en pulg. ....	57
Fig. 2.13. Diagrama de cuerpo libre de cargas verticales. Cotas en pulg.....	59
Fig. 2.14. Diagrama de cuerpo libre con carga puntual. Cotas en pulg.....	60
Fig. 2.15. Diagrama de cortantes y momentos de cargas verticales. Cotas en pulg.....	61
Fig. 2.16. Diagrama de momentos resultantes .....	62
Fig. 2.17. Concentrador de esfuerzo.....	62
Fig. 2.18. Gráfico de concentrador de esfuerzo para eje sometido a torsión.....	63
Fig. 2.19. Gráfico de sensibilidad de muesca. ....	63
Fig. 3.1. Cuchilla de corte. ....	70
Fig. 3.2. Contorno de cuchilla de corte. ....	70
Fig. 3.4. Sujeción de la materia prima.....	71
Fig. 3.5. Pruebas del maquinado. ....	72
Fig. 3.6. Corte del material. ....	72
Figs. 3.7. Maquinado de hexágono central y contorno de la cuchilla .....	73
Fig. 3.8. Caja de cementación. ....	74
Fig. 3.9. Separador de cuchillas. ....	75
Fig. 3.10. Separador de pared .....	77
Fig. 3.11. Contorno del separador de pared .....	77
Fig. 3.12. Programa de simulación. ....	78
Fig. 3.13. Sujeción de la pieza.....	78
Fig. 3.14. Pruebas del maquinado. ....	79
Fig. 3.15. Maquinado del separador de pared. ....	79
Fig. 3.16. Colocación de barra hexagonal en plato de mordazas.....	80
Fig. 3.17. Cilindrado de barra hexagonal. ....	81
Fig. 3.18. Ajuste de eje en chumacera.....	81
Fig. 3.19. Eje finalizado .....	82
Fig. 3.20. Soporte de la trituradora. ....	82

Fig. 3.21. Paredes del molino triturador. ....	83
Fig. 3.22. Agujeros perforados en pared lateral .....	84
Fig. 3.23. Piezas perforadas. ....	84
Fig. 3.24. Pared delantera / trasera finalizada. ....	85
Fig. 3.25. Manivela. ....	86
Fig. 3.26. Pieza con extremos desbastados. ....	86
Fig. 3.27. Pieza con agujero y chavetero. ....	86
Fig. 3.28. Pieza con extremo soldado. ....	87
Fig. 3.29. Tubo metálico en extremo de manivela. ....	87
Fig. 3.30. Estructura metálica. ....	88
Fig. 3.31. Soportes inferiores. ....	88
Fig. 3.32. Soportes superiores. ....	89
Fig. 3.33. Soportes principales. ....	89
Fig. 3.34. Soporte superior armado. ....	90
Fig. 3.35. Soporte superior y patas de la estructura armadas. ....	90
Fig. 3.36. Soporte inferior armado. ....	91
Fig. 3.37. Tolva del molino triturador. ....	92
Fig. 3.38. Trazos para la realización de la tolva. ....	93
Fig. 3.39. Molino triturador ensamblado: a) molino triturador sin tolva, b) molino triturador con tolva. ....	94
Fig. 3.40. Ejes de transmisión ensamblados. ....	94
Fig. 3.41. Chumaceras colocadas en pared delantera/trasera. ....	95
Fig. 3.42. Ejes colocados en chumaceras. ....	95
Fig. 3.43. Separadores de pared colocados en los ejes. ....	96
Fig. 3.44. Soporte del molino triturador ensamblado. ....	96
Fig. 3.45. Engranajes y manivela ensamblados en molino triturador. ....	97
Fig. 3.46. Escuadras de sujeción. ....	98

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- B: Espesor del engrane
- c: Longitud de la cuerda común de las cuchillas
- C: Carga dinámica
- C<sub>f</sub>: Factor de calidad de la superficie
- C<sub>H</sub>: Factor de relación de dureza
- C<sub>p</sub>: Coeficiente elástico
- d: Diámetro del engrane
- D: Diámetro de discos de corte
- dp: Diámetro de paso
- D<sub>y</sub>: Brazo de palanca de fuerza horizontal
- D<sub>2</sub>: Brazo de palanca de fuerza vertical
- F<sub>av</sub>: Fuerza de avance
- F<sub>c</sub>: Fuerza de corte
- F<sub>n</sub>: Fuerza radial
- F<sub>r</sub>: Fuerza de rozamiento
- F<sub>rc</sub>: Carga radial en el cojinete
- F<sub>x</sub>: Fuerza horizontal que ejerce el eje sobre la cuchilla
- F<sub>y</sub>: Fuerza vertical que ejerce el eje sobre la cuchilla
- g: gravedad
- G: Resistencia al cizallamiento
- I: Factor geométrico a la picadura
- J: Factor de geometría
- K: Factor de vida
- K<sub>a</sub>: Factor de modificación de la condición superficial
- K<sub>b</sub>: Factor de modificación del tamaño
- K<sub>c</sub>: Factor de modificación de la carga
- K<sub>d</sub>: Factor de modificación de la temperatura
- K<sub>e</sub>: Factor de confiabilidad
- K<sub>f</sub>: Factor de modificación de efectos varios
- K<sub>m</sub>: Factor de distribución de carga

$K_o$ : Factor de sobrecarga  
 $K_R$ : Factor de confiabilidad  
 $K_s$ : Factor de tamaño  
 $K_T$ : Factor de temperatura  
 $K_v$ : Factor dinámico  
 $L_d$ : Vida útil  
 $m$ : módulo  
 $M_a$ : Momento respecto al punto A  
 $M_r$ : Momento resultante  
 $N$ : Dientes de los engranes  
 $n$ : Régimen de giro  
 $P_c$ : Potencia cuchilla  
 $P_d$ : Paso diametral  
 $P_{total}$ : Potencia total  
 $R$ : Radio de discos de corte  
 $R_c$ : Reacción punto C  
 $S_{ac}$ : Resistencia a la fatiga  
 $S_F$ : Factor de seguridad  
 $S_n$ : Resistencia a la fatiga por la carga a flexión  
 $S'_n$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica  
 $t$ : Espesor de la lata de aluminio  
 $V$ : Factor de rotación  
 $v$ : Velocidad de corte  
 $W_c$ : Peso cuchilla de corte  
 $W_s$ : Peso separador de cuchilla  
 $Z_n$ : Factor de ciclos de esfuerzo  
 $\alpha$ : Ángulo de corte formado por las cuchillas y la proyección de la cuerda tangente común de los discos  
 $\rho$ : densidad  
 $\sigma_{ea}$ : Esfuerzo equivalente alterno  
 $\sigma_{em}$ : Esfuerzo equivalente medio

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de trituración han sido de gran importancia a lo largo de la historia, tanto en siglos pasados, como en las épocas más recientes, y todo por la necesidad y convicción que ha encontrado el ser humano en optimizar los procedimientos que desarrolla a diario en los diferentes ámbitos laborales en los cuales se desenvuelve. Durante mucho tiempo y como era de esperarse, estos procedimientos fueron burdos y poco precisos, pero con el pasar del tiempo, se fue buscando la manera de mejorar el comportamiento, elementos y eficiencias de los equipos de trituración.

De ahí, nacen los diversos análisis con el objetivo de idear nuevas opciones en cuanto a las formas en que se ejecutan los procesos de trituración, diferentes elementos de corte o sistemas de accionamiento, que permitieran una mejor adaptación a los materiales que usualmente eran sometidos a estos tratamientos, que, en un principio, no eran aprovechadas de la mejor manera, porque los resultados que se obtenían no eran compatibles con la aplicación para la cual serían utilizados.

Como se expone posteriormente en el apartado de contexto histórico, la primera y principal aplicación que tuvo la trituración fue en el área de la minería, ya que las grandes cantidades de rocas de gran tamaño obstaculizaban la realización de un trabajo óptimo durante la primera mitad del siglo XIX, tiempo en el que la primera máquina de trituración fue el hombre, mediante la técnica de la mano aplastante. Hacían uso de mazos y mediante impacto, conseguían romper las grandes rocas y de esa manera, paulatinamente, ir reduciendo su tamaño.

De igual manera, a causa del desgaste provocado por esas arduas tareas, surgió la idea de utilizar las mismas rocas para romperlas a través del impacto entre ellas, haciéndose elevar una sobre la otra con una cuerda, y dejarla caer sobre la que se encontraba en tierra, rompiéndose así, ambas rocas y de esa forma, ahorrar tiempo y energía de la mano de obra.

Con los diversos avances tecnológicos propios de cada época, salieron a relucir variados sistemas de trituración, y como se exponía anteriormente, iban

acorde a las aplicaciones que poseyeran los materiales que se encontraban sometidos a su reducción. Así es como tuvieron su auge máquinas trituradoras como lo son la trituradora de mandíbula y giratoria, que se desarrollan en el apartado de definición del proceso, junto con otros sistemas que surgieron en épocas inmediatas posteriores a las ya citadas, entre las que se tienen las trituradoras de cono, de impacto y los molinos trituradores, que son el centro de estudio del presente trabajo de graduación.

Reconociendo que, dentro de la Universidad de El Salvador, existe una acumulación considerable de latas día tras día, por lo que se tomó a bien idear formas de aprovechar esta afluencia de latas dentro de las instalaciones de la universidad; y como es de conocimiento común, la Escuela de Ingeniería Mecánica posee en su plan de estudios, asignaturas relacionadas con tratamientos de materiales, como lo son las técnicas de fundición que hacen uso de estas latas para desarrollar las prácticas y laboratorios con éxito; el problema radica en la presentación de las latas a la hora de ser utilizadas, ya que al ser depositadas en el crisol, se alberga mucho oxígeno, lo que provoca una pobre cantidad de aluminio fundido.

Es por eso que la adición de una máquina trituradora, en este caso, un molino triturador mejorará en gran medida la cantidad y calidad del aluminio aprovechado para los laboratorios de fundición. Al pasar primero las latas por la máquina, la presentación en partículas más pequeñas que adquirirá, permitirá un mayor volumen de fundición y optimizará el proceso de enseñanza aprendizaje que poseen este tipo de asignaturas dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Un molino triturador consiste en un conjunto de ejes adyacentes, los cuales, por diseño, traen adaptadas un cierto número de cuchillas, que dependen de la longitud del eje y las dimensiones generales de la máquina. Este tipo de trituradora hace cruzar al material entre los ejes que giran en direcciones contrarias entre sí, para provocar el desgarre y trituración de éste, ocasionando su fragmentación y disposición en partes más pequeñas. Existen distintos tipos de molinos trituradores, que van de acuerdo a las revoluciones a las que trabajan

y el número de ejes que poseen, todo esto anclado al volumen de material que se desea triturar en tiempos determinados.

Al existir distintas presentaciones de los molinos trituradores, es de vital importancia definir las características principales que determinarán el tipo de molino triturador a diseñar en el capítulo dos, por lo cual, en el apartado de selección de alternativa se exponen las diferentes razones por las que se selecciona un molino triturador sobre las demás máquinas trituradoras especificadas con anterioridad. Además, se presentan los motivos por los cuales, se selecciona un tipo específico de molino triturador.

En los últimos apartados, se exponen los diferentes elementos principales que posee el modelo seleccionado en base a las necesidades identificadas, además de una descripción que permite comprender las razones de su elección, que serán la base para un exitoso proceso de diseño del tipo de molino triturador de latas de aluminio para este trabajo de graduación.

## **1. MARCO TEÓRICO**

El proceso de trituración de materiales ha sido necesario en distintas áreas de la ingeniería a lo largo de los años desde el siglo XIX, así como también un procedimiento básico en la minería a nivel mundial, por lo que la distinción de las diferentes temáticas que abarca este proceso es de vital importancia. En este marco teórico se abordan ciertos apartados tales como un breve contexto histórico del desarrollo de los diferentes diseños de las máquinas trituradoras, así como también una definición tanto general como específica del proceso de trituración. De manera particular, se definen los molinos trituradores, donde se dan a conocer los distintos arreglos que puede presentar este tipo de máquinas, de igual manera, los elementos varios en cuanto a alimentación, transmisión y ejecución del proceso de trituración de las latas de aluminio, proporcionando una breve descripción de los que son considerados más críticos dentro del funcionamiento de la máquina.

### **1.1. CONTEXTO HISTÓRICO**

El proceso de trituración y rotura de roca, oro y minerales es una de las industrias más antiguas realizadas por el hombre. La primera conocida fue la de los nativos llamado el método de la mano aplastante de mineral (oro, plata y cobre) o sobre los minerales que contienen granate, diamante, jade, cristal, entre otros, lo que podría haber requerido alguna ruptura de aglomerados [1].

El método de la mano aplastante era de cierto modo impracticable, el peso era levantado por hombres o animales con una cuerda y se dejaba caer sobre la roca a ser aplastada. El descubrimiento de los sistemas de riego llevó a la invención de métodos hidráulicos para elevar el peso. La invención de la rueda dentada permitió que la operación que se diera de manera continua [2].

El proceso de trituración es la función esencial en el tratamiento de todas las rocas y minerales, cualquiera que sea su uso final. La primera trituradora de

rocas no es compatible con la ingeniería de alta tecnología del siglo XXI. Sin embargo, hay un largo camino desde el comienzo desde los años 1800 cuando se llevó a cabo la trituración por parte de cientos de hombres y mujeres, equipados con mazos [2].

La primera patente en los Estados Unidos de América de una máquina trituradora se publicó en 1830. Se cubrió un dispositivo, que, de una manera burda, incorpora el principio de martinete posteriormente usada en la fábrica de sellos, cuya historia está íntimamente ligada a la de la época dorada de la minería de América. Eli Whitney Blake inventó el primer éxito de interruptor mecánico de la trituradora de mandíbulas, patentado en 1858, En la Fig. 1.1 se presenta un esquema de esta trituradora. En 1881, Philters W. Gates obtuvo una patente sobre una máquina que incluye en su diseño todas las características esenciales de la trituradora giratoria [2] .

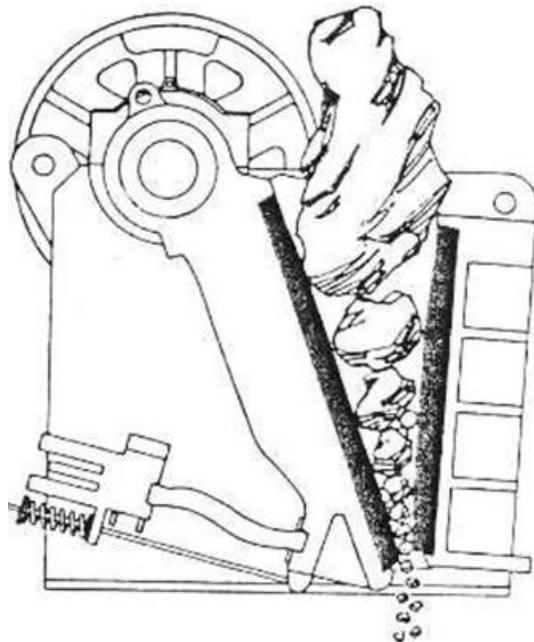


Fig. 1.1. Principio de trabajo de una trituradora de mandíbula [3].

La pala mecánica comenzó a cambiar toda la imagen de la minería a cielo abierto. Alrededor de este tiempo la trituradora de mandíbulas de repente volvió a tener popularidad y dio un paso al frente con un gran aporte a la línea de tamaño

de trituradoras primarias: las 2,133.6 x 1,524 mm (84 x 60 pulg), máquina construida por el la Compañía de Maquinaria de Minería de una cantera en la trampa en el este de Pensilvania [2]. Un esquema de esta primera trituradora giratoria se presenta en la Fig. 1.2.

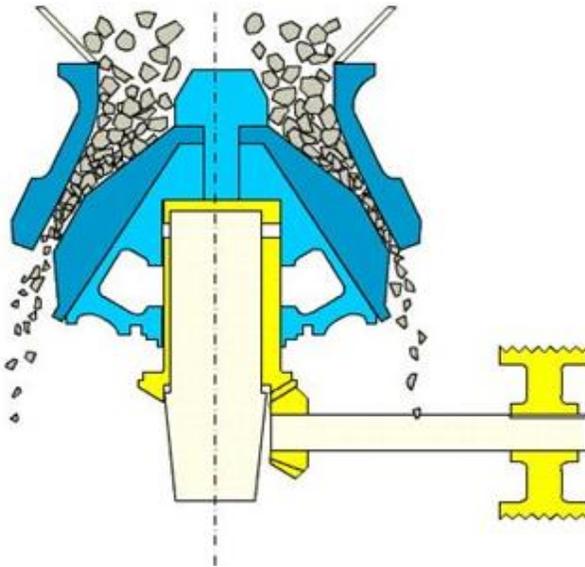


Fig. 1.2. Trituradora giratoria de Gates [4].

Durante los mismos años, la industria estaba preocupada con el desarrollo de más y más grandes aún chancadoras primarias, por lo que otro miembro de la familia nació: la trituradora única. La máquina rápidamente alcanzó un alto grado de popularidad, y aunque su campo de aplicación era relativamente limitado, un buen número de estas máquinas fueron instaladas para el servicio de trituración primaria. Las trituradoras de doble rodillo tuvieron una popularidad limitada en la industria minera. En 1919, "Ingenieros Traylor" fabrica la mayor trituradora giratoria construida hasta ahora, la cual medía alrededor de 1,524 mm (60 pulg) vendida a Chemical Company en Rogers City, Michigan. Este tamaño se mantuvo hasta 1969, cuando "Ingenieros Traylor" construyó la trituradora giratoria de 1,828.8 mm (72 pulg). Esta trituradora fue vendida a Johns Manville de Canadá. Estuvo en servicio hasta el año 2001 cuando la mina pasó a la clandestinidad y el sistema giratorio fue reemplazado por medidores de baja

velocidad [2]. En la Fig. 1.3 se puede observar una foto aérea de la compañía “Ingenieros Traylor” en sus inicios.



Fig. 1.3. Compañía “Ingenieros Traylor” en 1914 [2].

En 1920, el molino de martillos se había desarrollado para producir un buen producto en una máquina de un solo paso. Estas máquinas emplean el principio de las percusiones de romper piedras. El molino de martillos es un simple mecanismo que consta de un bastidor en forma de caja, situado en el centro, el eje horizontal, que es el elemento giratorio en el que están montados los martillos, y un conjunto de rejillas dispuestas circularmente en la parte inferior de la carcasa. El eje gira a alta velocidad, que rompen la piedra por el impacto.

Desde la década de 1920 hasta la década de 1950 las trituradoras de impacto fueron modificadas para incluir los impactadores, con los que se rompió la roca, y así se dio la eliminación de las rejillas en algunas máquinas. En la década de 1980, medidores de baja velocidad se introdujeron. Esto representa uno de los acontecimientos fundamentales para las trituradoras primarias en tres cuartas partes de la década, se definió que las trituradoras convencionales roll son adecuadas para la trituración de materiales blandos a media fuerza y puede proporcionar una reducción exacta [2].

Las trituradoras de rodillo, lisas y dentadas, de arco suelen ser diseñados con altas velocidades periféricas, y el desgaste irregular puede ser un problema importante. La característica principal de la parrilla de baja velocidad, lo que en términos generales se puede considerar una variedad de rollo de dientes, es que explota el hecho de que la relación de resistencia a la compresión de resistencia a la tracción y cortante en la mayoría o de rocas es de aproximadamente 10:1. Además, la posición de los dientes de la rueda permite caer directamente a través de la máquina que resulta en altos rendimientos a velocidades de rotación muy bajas, que lleva al desgaste muy reducido, ahorro de energía, un mejor control del tamaño de la descarga en tres dimensiones [5].

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROCESO**

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla. La trituración convierte la producción de residuos de post-consumo en un material a granel (material molido, partículas) lo más homogéneo posible. El proceso de trituración es necesario antes de que se den lugar los subsiguientes pasos del proceso de obtención de nuevos materiales o composiciones de estos. En numerosas técnicas, la trituración representa el proceso fundamental a partir del cual se realizan los procesos de tratamiento posteriores. En vista de la amplia variedad de materiales que pueden ser triturados, las máquinas acostumbran a ofrecer un alto grado de flexibilidad [6].

A causa de lo expuesto anteriormente se pueden definir distintos tipos de máquinas trituradoras, que van acorde a varios factores como la aplicación de éstas, los componentes que llevan, las dimensiones, entre otros; de manera general, se pueden determinar los tipos siguientes:

- ✓ Trituradora de mandíbula. Una trituradora de mandíbula consiste en un conjunto de mordazas verticales, una mandíbula que se fija y la otra se mueve adelante y atrás con respecto a ella por un mecanismo de leva o biela.

Las mandíbulas están más separadas en la parte superior que en la parte inferior, formando un conducto cónico para que el material que es triturado se haga progresivamente más pequeño a medida que viaja hacia abajo hasta que las dimensiones sean las correctas como para escapar de la abertura inferior. El movimiento de la mandíbula puede ser muy pequeño, ya que el proceso de trituración se realiza en un solo golpe. La inercia necesaria para aplastar el material es proporcionada por un volante con peso que se mueve en un eje, creando un movimiento excéntrico que causa el cierre de la brecha [6]. En la Fig. 1.4 se puede apreciar el funcionamiento de la trituradora de mandíbula.



Fig. 1.4. Trituradora de mandíbula [6].

- ✓ Trituradora giratoria. trituradora giratoria es similar en concepto de base a una trituradora de mandíbulas, que consiste en una superficie cóncava y una cabeza cónica, ambas superficies están normalmente alineadas con las superficies que en la mayoría de los casos son de acero al manganeso. El cono interior tiene un ligero movimiento circular, pero no gira, el movimiento es generado por un excéntrico acuerdo. Al igual que con la trituradora de mandíbulas, el material se desplaza hacia abajo entre las dos superficies que están aplastando progresivamente hasta que es suficientemente pequeño

como para caer por el hueco entre las dos superficies [7]. En la Fig. 1.5. se presenta un esquema transversal de la trituradora giratoria.



Fig. 1.5. Trituradora giratoria [8].

- ✓ Trituradora de cono. Una trituradora de cono es similar en funcionamiento a una trituradora giratoria, con menos pendiente en la cámara de trituración y más de una zona de paralelismo entre las zonas de aplastamiento. Con una trituradora de cono, se rompe la roca apretándola entre un eje excéntrico que se encuentra girando, que está cubierto por una capa resistente al desgaste, y la tolva adjunta, que está cubierta por una capa cóncava de manganeso o un forro de tazón [7].

Otra diferencia importante respecto a las anteriores es que la velocidad de giro del cono excéntrico es mayor, así como la excentricidad del giro también, con lo cual se logra una mejor reducción de las partículas y una trituración más eficaz [9]. Un esquema de este tipo de trituradora de cono se presenta en la Fig. 1.6.

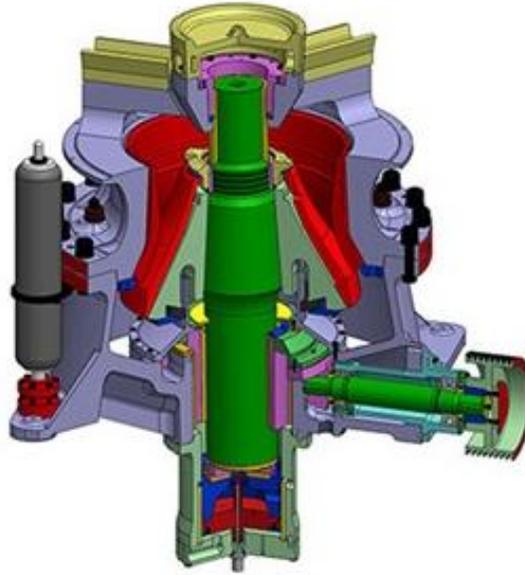


Fig. 1.6. Trituradora de cono [10].

- Trituradora de impacto. Las trituradoras de impacto implican el uso de impacto en lugar de presión para triturar el material. El material está contenido dentro de una jaula, con aberturas en la parte inferior, al final, o al lado del tamaño deseado para permitir que el material pulverizado pueda escapar. Este tipo de trituradora se usa generalmente con y sin material abrasivo suave, como carbón, semillas, piedra caliza, yeso o minerales metálicos. Hay dos tipos de trituradoras de impacto: impactos de eje horizontal e impactos de eje vertical [7].

Constan de un rotor que tiene acoplado una serie de barras de impacto. Con el giro del rotor, las barras proporcionan una energía cinética al material que es lanzado contra una serie de placas de choque situadas en la carcasa. Esta operación se repite hasta que las partículas tienen un tamaño suficiente para salir de la trituradora en el hueco existente entre el rotor y las placas de choque [9]. El funcionamiento de esta trituradora de impacto se puede apreciar en la Fig. 1.7.

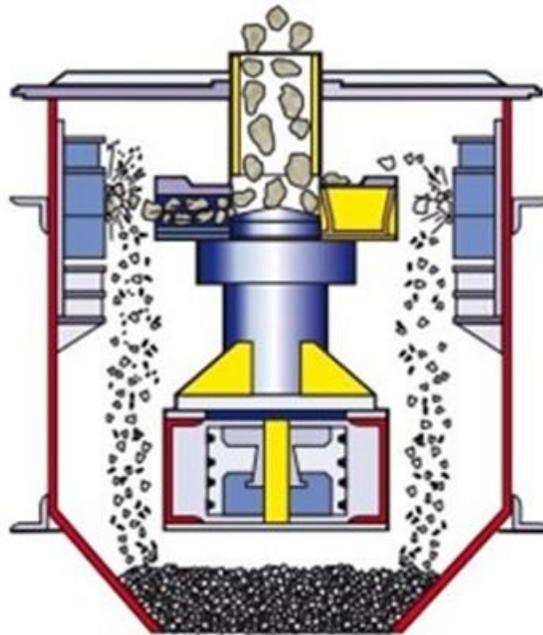


Fig. 1.7. Trituradora de impacto [4].

- ✓ Molino triturador. Un molino triturador consiste en un conjunto de ejes adyacentes, los cuales, por diseño, traen adaptadas un cierto número de cuchillas, que dependen de la longitud del eje y las dimensiones generales de la máquina. Este tipo de trituradora hace pasar el material entre los ejes que giran en direcciones contrarias entre sí para provocar el desgarre y trituración de éste, provocando su fragmentación y disposición en partes más pequeñas. Existen distintos tipos de molinos trituradores, que van de acuerdo a las revoluciones a las que trabajan y el número de ejes que poseen [6]. El sistema de la cuchilla en forma de garra dispersa la presión en la cama y por lo tanto es recomendado para ser utilizado en la trituración de la materia prima dura [11]. En la Fig. 1.8 se presenta una imagen de referencia donde se puede apreciar la diferencia en la estructura de dicha trituradora.

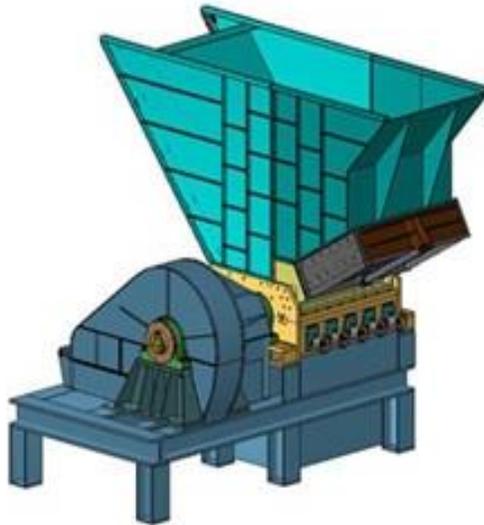


Fig. 1.8. Molino Triturador [12].

### 1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MOLINOS TRITURADORES

La trituración es un proceso de reducción de tamaño, esto con el fin de facilitar el transporte de los materiales, el lavador, la fundición, reacciones químicas o el conformado del mismo [13].

Esta reducción de tamaños se clasifica en dos grupos (ver, Fig. 1.9):

- 1) Desintegración grosera: está constituida por trituración gruesa ( $>15$  cm), trituración mediana (3 a 15 cm) y trituración fina (0.5 a 3 cm).
- 2) Desintegración fina: está constituida por molienda grosera (0.1 a 0.3 mm) y molienda fina ( $< 0.1$  mm).

Eso demuestra la diferencia entre los términos trituración y molienda [14].

Para llevar a cabo los distintos tipos de trituración y molienda, dependiendo lo que se desee procesar, existen varias clases de molinos trituradores los cuales están clasificados en dos grandes ramas dependiendo de su régimen [13].

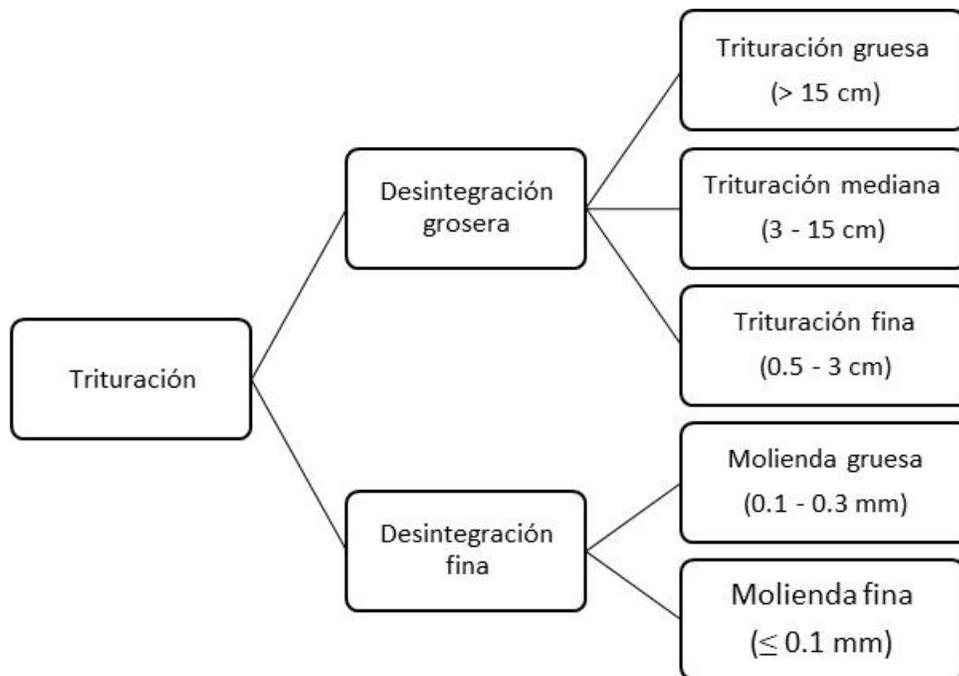


Fig. 1.9. Clasificación del proceso de reducción de tamaños [13].

### 1.3.1. MOLINOS A BAJAS REVOLUCIONES (25 rpm)

En este tipo de molinos no existe cuchillas rotatorias ni fijas, estos molinos incorporan en su rotor una serie de elementos o cuerpos de trituración, los cuales están destinados para agarrar el producto y cortarlo de forma uniforme. Estos molinos emplean una potencia instalada mucho menor, ya que cuentan con un conjunto de motor eléctrico y un reductor, que proporciona un alto par a bajas revoluciones, lo que permite reducir el consumo energético, ruido e intervenciones por mantenimiento puesto que se obtendrá un menor desgaste en los componentes de este [15].

Dentro de la clasificación de los molinos a bajas revoluciones se encuentra los siguientes molinos trituradores:

- ✓ Molino triturador de cuatro ejes. Como su nombre lo indica está constituido de cuatro ejes con una serie de elementos cortantes constituidos por unos discos agudos provistos de garfios (ganchos). La función de los garfios

consiste en agarrar el producto y llevarlo hasta las fresas montadas sobre dos o más ejes motores con giro contrario (ver, Fig. 1.10), que realizan el corte neto del material. Este molino se caracteriza por su fácil mantenimiento, ya que está catalogado como mantenimiento de primer y segundo nivel, es decir que el mantenimiento puede ser realizado por el operario [13].



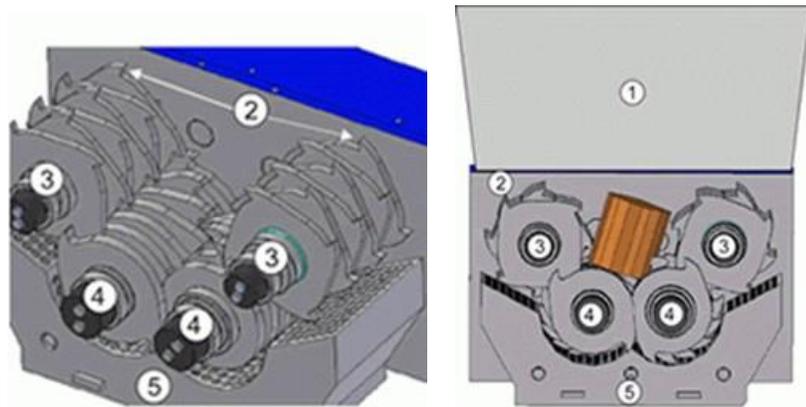
Fig. 1.10. Molino triturador de 4 ejes [16].

Este tipo de molino triturador es adecuado para reducir volúmenes de los desechos de elaboración para su reutilización o para la eliminación, con mínima absorción de potencia y alta confiabilidad. Estos pueden trabar con materias plásticas, cartón, madera, embalajes, recortes de piel y cuero, latas de aluminio, hojas secas, papel, entre otros [16].

Los elementos principales del molino triturador de cuatro ejes se presentan de manera gráfica en el Fig. 1.11:

- 1) Tolva: Es la unidad de carga.
- 2) Garfios o ganchos: Su función es agarrar el producto y llevarlo hasta las fresas.
- 3) Discos: Estos son discos de introducción para materiales ligeros con tendencia a florar sobre el grupo de las fresas, es la unidad de trituración principal provistos de los garfios.

- 4) Fresas: Estas son montadas sobre los ejes motores contra giratorios que realizan un corte neto del material, son incluidas para el tratamiento de materiales especialmente duros o que contengan clavos o pequeñas partes metálicas, particularmente indicadas para residuos muy abrasivos.
- 5) Criba: Unidad de salida del producto permite seleccionar el material con la granulometría deseada, la cual, determina el tamaño del producto triturado.



Figs. 1.11. Partes principales de un molino triturador [16].

Cabe destacar que los trozos de mayor tamaño son recuperados por los garfios y se vuelven a introducir en el ciclo para ser nuevamente triturados; cuanto más pequeño sea el diámetro de la criba, más numerosos serán los pasajes de material a través del grupo de trituración [16].

- ✓ Molino triturador de dos ejes. Este molino triturador está diseñado para una alta capacidad de corte con una baja velocidad de rotación para menor absorción de energía. Comúnmente fabricados con herramientas de acero de alta aleación anti-desgaste y elevado espesor. El producto final es “tiras” del ancho de los cortadores, que normalmente varían entre 25 y 75 mm [13]. La máquina está conformada por dos ejes compuestos de cuchillas o garfios rotatorios que tienen como función principal agarrar el producto, arrastrarlo y cortarlo gracias a la acción de los dos ejes contra giratorios. Los peines distanciadores tiene la función mantener limpio los utensilios facilitando así

la descarga de material ya triturado sobre el tamiz. Del mismo modo gracias a su elevada capacidad de trituración y a las diferentes conformaciones de grupos de fresas es posible triturar cuerpos enteros y de diferentes dimensiones. Recomendada para triturar trozos de madera, trapos, plástico, colambre, neumáticos, papel, cartón, embalajes, cintas de polietileno, latas de aluminio, películas plásticas, entre otros [16].

Los elementos principales del molino triturador de dos ejes se describen a continuación:

- 1) Tolva: Es la unidad de carga.
- 2) Garfios o ganchos: Su función es agarrar el producto, arrastrarlo y cortarlo gracias a la acción de los dos ejes contra giratorios.
- 3) Ejes: Dos ejes con elementos cortantes compuesto por discos de cantos agudos provistos de garfios.
- 4) Peines distanciadores: Su función es mantener limpios los utensilios de corte facilitando la descarga del material.

Son equipos dirigidos para las más variadas aplicaciones, ya que puede triturar una amplia variedad de materiales, el producto final es “tiras” al ancho de los cortadores, que normalmente varían entre 25 mm [16]. Se presenta esquemáticamente las partes principales en la Fig. 1.12.

Algunos modelos comerciales presentan características incluidas como sistema de bloqueo de cuchillas, panel eléctrico de automatización con PLC y control automático de sobrecarga, sistema de restricción contra materiales contaminantes, transmisión principal por reductor planetario y motor eléctrico, transmisión por acoplamiento de embrague, evitando la ruptura del reductor, cuchillas y engranajes por materiales no triturables, cuchillas en acero-carbono tratado térmicamente, ejes hexagonales para alta transmisión de torque y potencia con facilidad de montaje [11].

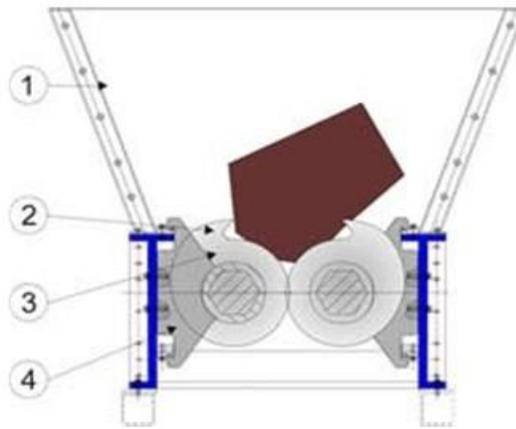


Fig. 1.12. Partes principales de un molino triturador de dos ejes [16].

- ✓ Molino triturador mono-eje. Este molino triturador está diseñado para la trituración de materiales de alto espesor y elevada resistencia al corte, tales como bloques y planchas de plástico, tubos de polímeros extruidos, entre otros. El esquema de funcionamiento del molino triturador es mediante el accionamiento de un cajón hidráulico que empuja el material contra el rodillo dentado que, gracias a su rotación y a la acción de una contra lama, efectúa la pre-rotura y la trituración del material. La salida del producto es cribado mediante una rejilla perforada que determina el tamaño final del triturado [16]. El dispositivo de prensado se activa mediante un brazo hidráulico central que oprime el material a triturar contra un rodillo dentado que a su vez fricciona con una parrilla perforada, la cual, según el diámetro de perforación, permite distintas medidas del residuo restante, comúnmente la transmisión de estos elementos es por correa [13].

Recomendada para triturar trozos de madera, plástico, papel, documentos reservados, chapas piezas de goma, entre otros usos [16].

Los elementos principales del molino triturador mono-eje se describen a continuación y se presentan de manera gráfica en la Fig. 1.13:

- 1) Tolva: Es la unidad de carga.
- 2) Rodillo: Eje dotado de dientes, este elemento gira en sentido horario.
- 3) Dientes: Son los órganos de corte.

- 4) Cilindro hidráulico: Es el que se encarga de hacer el prensado, empuja el material hacia el rodillo dentado.
- 5) Parrilla: Este elemento esta perforado para determinar la dimensión final del triturado.
- 6) Contra lama: efectúa la pre-rotura.

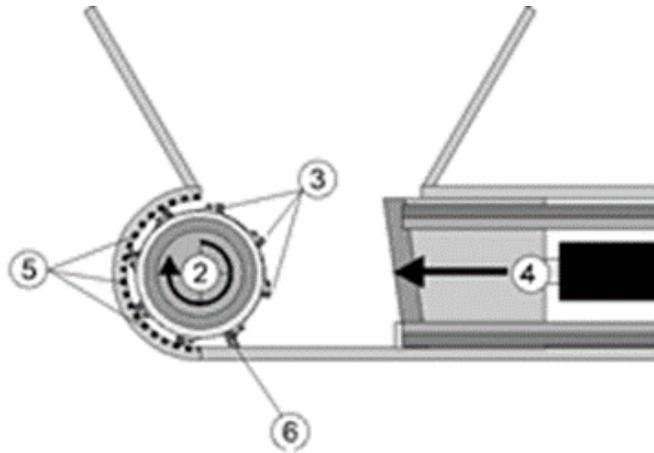


Fig. 1.13. Partes principales de un molino triturador mono eje [16].

Las fases de funcionamiento de este molino triturador se describen a continuación:

- 1) Fase de inicio de trituración donde el material está en su etapa de introducción (ver, Fig. 1.14).

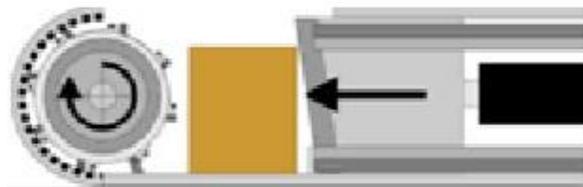


Fig. 1.14. Primera fase de trituración de un molino triturador mono eje [16].

2) Acción del prensador hidráulico contra el rodillo dentado (ver, Fig. 1.15).

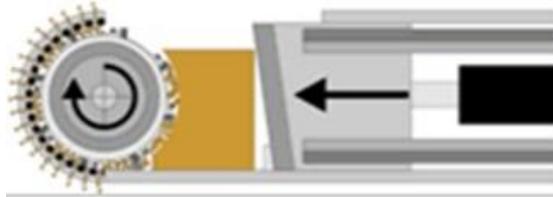


Fig. 1.15. Segunda fase de trituración de un molino triturador mono eje [16].

3) Trituración avanzada de la materia (ver, Fig. 1.16):

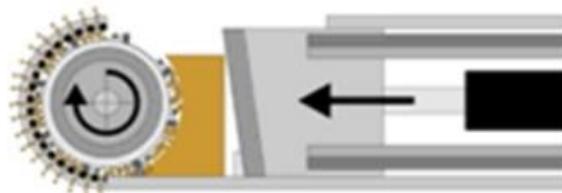


Fig. 1.16. Tercera fase de trituración de un molino triturador mono eje [16].

Una de las aplicaciones de estos molinos trituradores es: neumáticos, Desechos de aluminio de cualquier tipo con presencia de restos ferrosos, radiadores en cobre/aluminio con presencia de partes ferrosas, residuos eléctricos y electrónicos, cables eléctricos cobre/aluminio con presencia de partes ferrosas, filtros de aceite, desechos de materiales plásticos, desechos de papel, cartón y madera [17].

### 1.3.2. MOLINOS A ALTAS REVOLUCIONES (250-350 rpm)

Se tratan de equipos más simples, económico y fácil de utilizar, no obstante, demandan un mayor consumo energético, puesto que en este caso de trituración no se requiere un par alto, sino por el contrario, se requiere de un par bajo para obtener así una mayor velocidad de giro de los elementos de corte, esto con el fin de obtener un producto más fino que el obtenido con los molinos

de bajas revoluciones, (todo esto acorde al proceso posterior que obtendrá el material ya triturado). Los molinos de altas revoluciones están constituidos por 3 o más cuchillas rotatorias que giran solidarias al rotor; y en los extremos cuentan con una o más cuchillas fijas las cuales son graduadas para que con el paso de las cuchillas giratorias se produzcan un efecto de cizalla, lo que permite cortar el material. Por el contrario, es el que más mantenimiento requiere, su limpieza es más difícil, el consumo energético mayor y genera más ruido [15].

Dentro de la clasificación de los molinos a altas revoluciones se encuentran el siguiente molino triturador:

- ✓ Molino de cuchillas. Los molinos de cuchillas se encargan de triturar y moler los desechos de plásticos con la ayuda de sus cuchillas. Este molino posee la capacidad de variar la velocidad de giro de los órganos de corte, esto con el fin de variar la velocidad de molienda, lo cual ofrece la ventaja de aumentar la capacidad de desechos triturados en menos tiempo, acelerar el proceso y dar resultados óptimos [18].

En su cámara de molienda, que es el lugar donde se lleva a cabo todo el proceso, el giro constante de las cuchillas mezcla, trituran y muelen los residuos de plástico. De esta manera se obtienen mezclas homogéneas que facilitan el proceso de reciclaje de plástico. Este molino está constituido por dos cuchillas fijas y tres rotatorias, que le permite realizar un corte oblicuo que proporciona un corte suave y limpio, estas cuchillas son fabricadas en acero y tratada térmicamente que garantiza una alta resistencia al impacto y una máxima durabilidad de los filos de corte, de igual modo tiene un recubrimiento de carburo de tungsteno que le permite triturar productos abrasivos sin arriesgar la integridad y filo de la cuchilla. Del mismo modo hace uso de un plan de mantenimiento similar a los molinos expuesto con anterioridad, puesto que no requiere de un equipo y persona calificada para realizar algún tipo de limpieza, lubricación o cambio de los elementos de corte. La característica principal de este tipo de molino además de su versatilidad está en la conformación del rotor, este se encuentra lleno y dotado de muchas cuchillas, de forma específica muchos tienen cuchillas con medidas de sólo 6 cm.

colocadas de manera irregular. Posibilitando durante la rotación que cada una de estas herramientas procede al raspado del material y luego a la trituración final [13]. En la Fig. 1.17 se presenta un esquema de este tipo de molino triturador.

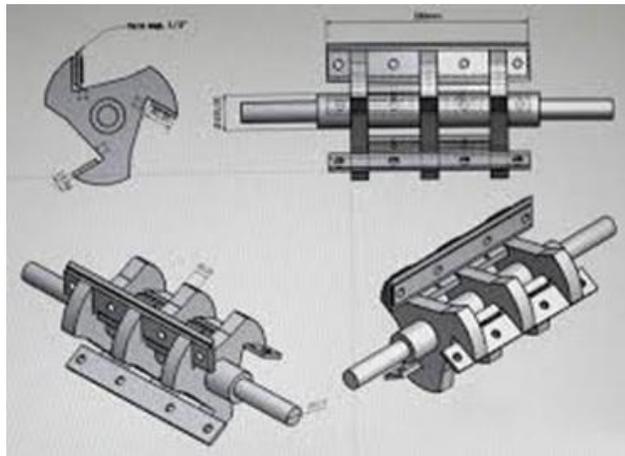


Fig. 1.17. Molino triturador de cuchillas [13].

#### 1.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

El proceso de trituración de rocas, metales, plásticos u otro tipo de materiales puede ser realizado de distintas formas, en vista de los variados arreglos que puede presentar una máquina encargada de ejecutar este procedimiento, como se dio a conocer en el apartado de la definición del proceso. La selección del modelo o arreglo a utilizar y diseñar, en este caso, es el molino triturador de dos ejes, el cual, consiste en un conjunto de ejes adyacentes, los cuales, por diseño, traen adaptadas un cierto número de cuchillas, que depende de la longitud del eje y las dimensiones generales de la máquina.

La determinación en el uso de este tipo de presentación en los molinos trituradores se logró a causa del análisis realizado en cuanto al tipo de material a utilizar para procesar, que, en este caso, son las latas de aluminio que albergan bebidas carbonatadas y otro tipo de refrescos.

En comparación con los demás sistemas de trituración, se reconoce que las trituradoras de mandíbulas, giratorias, de cono y de impacto, no son las más adecuadas para el tipo de trabajo que se desea lograr; dado a la aplicación que éstas poseen, siendo éstas más adecuadas para materiales con mayor dureza y resistencia, tales como las rocas y otros minerales.

Además, el volumen necesario para el proceso de trituración viene a ser demasiado bajo para el uso de otro tipo de trituradoras, e incluso, dentro de la clasificación de molinos trituradores, aquellos que superen los tres ejes, se pueden considerar sobredimensionados. Otro factor a considerar es el tipo de accionamiento que tendrá la máquina, al ser éste de tipo de manual, se considera que cualquier otro tipo de trituradora presentaría problemas en el momento de ejecutar su labor, puesto que posee falta de potencia en el arranque de la máquina; por lo que es más acertada la alternativa escogida, por causa de su requerimiento de baja potencia para alcanzar los valores óptimos de velocidad, y así poder realizar el proceso de trituración sin mayores percances.

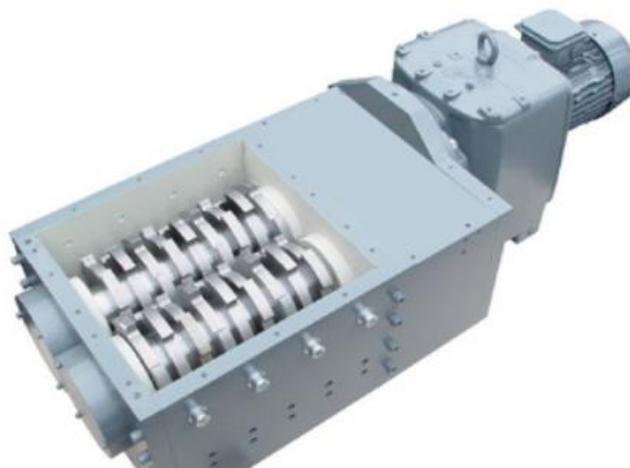


Fig. 1.18. Molino triturador de dos ejes [19].

Este tipo de trituradora hace pasar el material entre los ejes que giran en sentidos contrarios entre sí para provocar el desgarrar y trituración de éste, logrando su fragmentación y disposición en partes más pequeñas. Existen

distintos tipos de molinos trituradores, que van de acuerdo a las revoluciones a las que trabajan y el número de ejes que poseen.

Por lo tanto, la selección más adecuada es la de un molino triturador de dos ejes (ver, Fig. 1.18), los cuales llevan incorporados ocho cuchillas en cada uno, dispuestas de modo que, al efectuarse el giro en los ejes, las cuchillas están dispuestas de tal manera que, al entrar en contacto con las latas de aluminio, el sistema pueda enganchar el material y realizar el proceso de desgarre y posterior trituración.

#### **1.4.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO**

Existen ciertas razones por las cuales se dio la escogencia de este tipo de máquina trituradora en específico, dentro de las que se tienen:

- ✓ La facilidad y practicidad en el desarrollo del funcionamiento del equipo, teniendo en consideración que el sistema solamente percibe el movimiento de rotación contrario de un eje con respecto al otro.
- ✓ En comparación con los demás tipos de sistemas, la trayectoria que sigue el elemento a triturar, en este caso, latas de aluminio, es escueto y simple, donde solamente se hacen introducir por una tolva y se dejan caer directamente sobre las cuchillas en movimiento, las cuales, inmediatamente proceden a ejecutar el proceso de trituración.
- ✓ El número de ejes definido es considerado suficiente para realizar el procedimiento, tomando en consideración que tanto la cantidad de latas a triturar en cada periodo, como las dimensiones de las latas en sí son pequeñas, todo esto por las dimensiones del sistema completo y las exigencias que tendrá el equipo.
- ✓ Los elementos de corte para este tipo de trituradoras, como lo son las cuchillas, son considerados los que proporcionan mejores resultados para el tipo de presentación que se desea obtener de las latas de aluminio, para que

se puedan aprovechar de la mejor manera posible en los subsecuentes procesos de fundición a llevarse a cabo.

- ✓ El número de elementos, ya sea mecánicos o estructurales, que posee el sistema es, en gran medida, menor que en los demás modelos, siendo así, uno de los tipos más prácticos y económicamente accesibles que llevan a cabo el proceso de trituración con éxito.
- ✓ El armado y desarmado de los ensambles y sub ensambles que posee la máquina para propósitos de mantenimiento, es posible realizarlo sin mayores inconvenientes; además, el reemplazo o reparación de elementos desgastados no significa un mayor reto.
- ✓ El tipo de accionamiento seleccionado para el equipo es de tipo manual, por medio de un sistema de manivela, convirtiendo al modelo de trituración escogido, el más óptimo, ya que no requiere de una potencia demasiado grande para lograr el funcionamiento adecuado del molino triturador, que a comparación de las demás, requieren motores eléctricos para su accionamiento.
- ✓ La adecuación de todos los elementos dentro del sistema, y el tipo de accionamiento seleccionado para el mismo, permiten una manipulación sencilla y fácil de comprender para cualquiera que esté en la disposición de hacer uso de la máquina, por lo que los estudiantes cursando asignaturas sobre técnicas de fundición, estará en la capacidad de operar el equipo sin mayores preparaciones previas.

#### **1.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

El principio de funcionamiento del molino triturador de dos ejes es posible describirlo a partir del desglose explicativo de los ensambles principales que actúan en el proceso de trituración de las latas de aluminio; de manera general, se puede decir que la secuencia que se sigue en este tipo de modelos es la que inicia con la entrega de potencia por parte de un sistema de accionamiento de

tipo manual, que, en el papel, no requiere de mucha potencia por ser una máquina de dimensiones pequeñas.

Luego de la entrega de potencia, un sistema de transmisión se encarga de transportar esa potencia y velocidad a los ejes que portan las cuchillas, las cuales son las principales responsables de reducir las latas a partículas de dimensiones menores por medio de un proceso de trituración.

Abordando de manera más específica cada subsistema que posee el equipo, se puede obtener lo siguiente:

- ✓ Sistema de accionamiento manual. Es el elemento encargado de realizar el proceso de accionamiento del sistema completo, a causa de las dimensiones y exigencias que tendrá el equipo, un accionamiento de tipo manual es considerado el más adecuado en términos de practicidad y conveniencia económica. Mediante un equipo de manivela, la simplicidad que representa su manipulación permite que, tanto estudiantes como docentes, puedan operar estos equipos sin necesidad de capacitación alguna.
- ✓ Sistema de transmisión. Es el sistema encargado de transmitir la potencia y velocidad reguladas, hacia los elementos responsables de realizar el proceso principal de la máquina, la trituración. Existen ciertos tipos de sistemas de transmisión, como engranes, bandas o cadenas; en este caso específico, se seleccionan engranes rectos por facilidad de acople con los ejes principales, y mejor resistencia a altas velocidades y aumentos inesperados de calor durante el proceso.
- ✓ Sistema de ejes trituradores. El modelo seleccionado posee dos ejes principales, los cuales, serán los encargados de portar las cuchillas que tendrán la tarea de realizar el proceso de desgarre y trituración de las latas de aluminio, mediante un movimiento rotacional, relativo y contrario de un eje respecto al otro. Debe existir un distanciamiento específico entre cada cuchilla a lo largo del eje, para que el proceso de agarre de las latas sea el óptimo, además de un cierto ángulo de éstas, para que la penetración y desgarre sean correctos, y de esta manera, ejecutar un proceso de trituración exitoso.

## **1.5. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS PRINCIPALES**

En este apartado se realiza una descripción de los diferentes elementos mecánicos que interviene en la construcción del molino triturador, así de la elección de estos depende del tipo de molino triturador seleccionado para su construcción.

### **1.5.1. ENGRANES**

Los engranajes son juegos de ruedas que disponen de unos elementos salientes denominados “dientes”, que encajan entre sí, de manera que unas ruedas (las motrices) arrastran a las otras (las conducidas o arrastradas). Transmiten el movimiento circular a circular [20].

La condición para que las ruedas “engranen”, es decir, que puedan acoplarse y transmitir el movimiento correctamente, es que tengan los mismos parámetros o dimensiones en el diente. Una rueda dentada transmite el movimiento a la contigua que se mueve en sentido opuesto al original [20].

Son sistemas muy robustos que permiten transmitir grandes potencias entre ejes próximos, paralelos, perpendiculares u oblicuos, según su diseño. Por el contrario, son bastante ruidosos. Estos mecanismos presentan numerosas ventajas respecto a las correas y poleas, aunque también inconvenientes [20].

Ventajas:

- ✓ Ocupan espacios muy reducidos,
- ✓ No tiene posibilidad de deslizamiento.
- ✓ Tiene una gran capacidad de transmisión de potencia,
- ✓ Poseen un elevado rendimiento, y
- ✓ Tienen un bajo mantenimiento.

Inconvenientes:

- ✓ Son más costosos,
- ✓ Más difíciles de fabricar, y

- ✓ Producen bastante ruido en el proceso de transmisión.

Geometría de un engrane:

En cuanto a la geometría de un engrane (ver, Fig. 1.19) se tienen diferentes elementos, considerando aspectos importantes para su funcionamiento [20].

- ✓ Altura de los dientes: Medida que va desde el fondo hasta la cresta.
- ✓ Pie del diente: También se le conoce como dedendum y es la parte que esta entre la circunferencia primitiva y la interior.
- ✓ Cabeza del diente: También se le conoce como addendum y va desde el diámetro de la circunferencia exterior y la primitiva.
- ✓ Largo del diente: Longitud total del diente.
- ✓ Diámetro exterior: Diámetro medido hasta la cresta de los dientes.
- ✓ Circunferencia primitiva: Circunferencia en la cual los dientes hacen contacto.
- ✓ Diámetro interior: Circunferencia entre el fondo de los dientes.
- ✓ Paso circular: Distancia que existe desde una parte del diente a la misma parte de otro.

En la Fig. 1.19 se puede apreciar todos los elementos que conforman la geometría de un engrane recto.

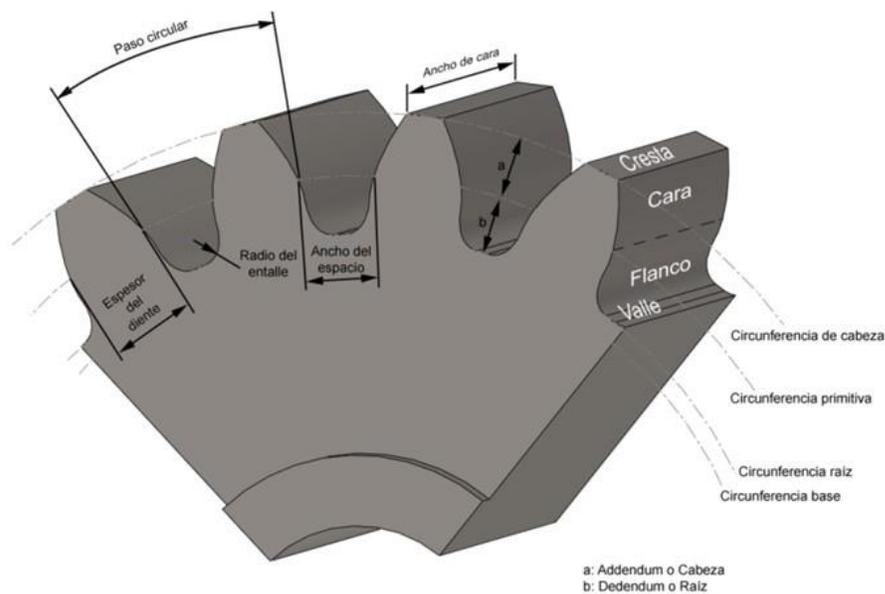


Fig. 1.19. Geometría de un engrane recto [21].

## Tipos de engranes:

A pesar de que es un componente muy esencial dentro de toda maquinaria se observan pocos tipos. Estos se pueden clasificar principalmente en cilíndricos y cónicos, aunque cada uno tiene sus diferentes tipos [22]:

- ✓ Cilíndricos Rectos: Son los más comunes, se utilizan cuando los ejes son paralelos y cuando se necesitan grandes reducciones, velocidades medias y/o pequeñas.
- ✓ Cilíndricos Helicoidales: Este tipo de engrane se define por tener sus dientes inclinados y se utilizan principalmente cuando se necesitan altas velocidades y una potencia alta. Una de sus principales características es que su marcha es más suave y silenciosa comparados con los engranes rectos.
- ✓ Cilíndrico en V: También se les conocen como espina de pescado o doble helicoidal ya que incorporan dos engranes helicoidales colocados opuestamente, algunos pueden llevar una pequeña ranura entre las dos hélices. Estos se utilizan prácticamente para lo mismo que los helicoidales simples con la única diferencia que este tipo de engranaje elimina el empuje axial que se genera en los simples.
- ✓ Cónicos rectos: Este tipo de engranes permiten transmitir el movimiento entre ejes colocados en ángulos principalmente a 90 grados y se le llama así dado que la construcción es en forma de cono de uno de los engranes.
- ✓ Cónicos Helicoidales: Estos tipos tienen diferente construcción con respecto a los rectos, ya que sus dientes se fabrican inclinados. Estos engranes se utilizan de la misma forma que los helicoidales cilíndricos, para velocidades altas y una potencia mayor y también su marcha es más silenciosa y suave.
- ✓ Sin fin: Este tipo se caracteriza por trabajar con un tornillo sin fin y una corona en conjunto. Se utilizan principalmente por que trabajan sin vibraciones y tienen una velocidad constante en su salida. Uno de los datos curiosos de este engranaje es que por cada vuelta que da el tornillo solo avanza un diente por vez.
- ✓ Planetarios: También se le conoce como engrane epicicloidal y se caracteriza por tener un sistema de engranes que giran alrededor de uno central de ahí

es que se toma el nombre de planetario ya que el engrane central se le conoce como sol y los que giran al rededor como planetas. Se utiliza principalmente para hacer cambios de velocidad en los sistemas que lo necesiten.

- ✓ Cremallera: El funcionamiento de este tipo de engranaje es bastante sencillo de comprender ya que se encarga de transformar de un movimiento angular a uno en línea recta (rectilíneo) o viceversa.

### **1.5.2. EJE DE TRANSMISIÓN**

Se define por eje de transmisión a un elemento cilíndrico de sección circular que transmite un movimiento de giro y que puede llevar montado distintos elementos mecánicos de transmisión de potencia (engranajes, poleas, volantes, entre otros). Estos elementos deben situarse, siempre que sea posible, cerca de los cojinetes de soporte [23]

El eje de transmisión también recibe la denominación de árbol de transmisión y es uno de los elementos mecánicos más comunes en todas las máquinas. Los ejes están sometidos a cargas de flexión, tracción, compresión o torsión que actúan de forma combinada o individualmente [23].

Existen diferentes tipos de ejes de transmisión, estos se clasifican de la siguiente manera [23]:

- ✓ Lisos. Exteriormente tienen una forma perfectamente cilíndrica, pudiendo variar la posición de apoyos, cojinetes, entre otros. Este tipo de árboles se utilizan cuando ocurren una torsión media.
- ✓ Escalonado. A lo largo de su longitud presenta varios diámetros en base a que soporta diferentes momentos torsores y al igual que el anterior, se utiliza para la situación en que ocurran unas tensiones de torsión media, resultando ser los más utilizados.

- ✓ Ranurado o con talladuras especiales: Presenta exteriormente ranuras siendo también de pequeña longitud dicho árbol. Se emplean estos árboles para transmitir momentos torsores elevados.
- ✓ Hueco. Se emplea por su menor inercia y por permitir el paso a su través de otro árbol macizo. El interés radica en que las tensiones debidas al momento torsor son decrecientes al acercarnos al centro del árbol.
- ✓ Acodado. Se emplean siempre que se quiera transformar en una máquina el movimiento alternativo en movimiento giratorio y viceversa. Se pueden presentar momentos torsores importantes en algunos tramos. Se diferencia del resto de los árboles por su forma ya que no sigue una línea recta sino de forma cigüeñal.

### **1.5.3. DISCOS DE CORTE**

Los discos de corte se pueden considerar los elementos más importantes del molino triturador, ya que son los encargados de realizar el desgarramiento (corte) de las latas de aluminio y así obtener partículas de menor tamaño para su posterior procesamiento. Se deben diseñar de un material que sea resistente a posibles impactos repentinos que pueden suceder durante su funcionamiento y sean capaz de conservar el filo de corte durante prolongadas horas de trabajo.

Existen diferentes diseños de los discos de corte, cada uno dependiendo de la aplicación que tendría el molino triturador, estas pueden variar desde poseer un filo de corte hasta más de diez filos de corte, es así como el diseñador elige el diseño de disco que mejor cumpla con sus requerimientos. Algunos ejemplos de diseño de discos de corte se detallan en la Fig. 1.20.



Fig. 1.20. Diferentes diseños de discos de corte [24].

#### 1.5.4. COJINETES

Los cojinetes son componentes tribológicos que transportan una carga mientras están en contacto mutuo con otro cuerpo y presentan un movimiento relativo entre sí. El movimiento puede ser deslizante o rotativo [24].

Hay básicamente dos tipos diferentes de cojinetes: cojinetes de deslizamiento y rodamientos de elementos rodantes. Otros tipos incluyen cojinetes hidrodinámicos, que soportan sus cargas sobre una fina capa de líquido o gas; cojinetes magnéticos, que utilizan campos magnéticos para transportar sus cargas; cojinetes de flexión, en los que la carga está soportada por un elemento plegado; y cojinetes de alta precisión, utilizados en relojería [24].

A continuación, se describen a detalle cada uno de los tipos de cojinetes mencionados anteriormente:

- **Cojinetes de deslizamiento:** Los cojinetes de deslizamiento, también conocidos como bujes, casquillos, cojinetes lisos o cojinetes de fricción, son generalmente de forma cilíndrica y no contienen partes móviles. Las configuraciones estándar incluyen casquillos cilíndricos, cojinetes de brida para cargas radiales y cargas axiales ligeras, arandelas de presión y

casquillos cilíndricos para cargas radiales, arandelas de presión con valona para cargas axiales pesadas y placas de deslizamiento de diversas formas. Los cojinetes lisos se utilizan para movimientos de deslizamiento, rotativos, oscilantes o alternativos. Los cojinetes de deslizamiento pueden fabricarse en una pieza maciza o, para facilitar la instalación, con una junta plana (casquillos de lámina enrollada). Es importante que el rodamiento sea seleccionado de acuerdo a su aplicación. Las cargas elevadas requieren rodamientos con mayor área de contacto y alta capacidad de carga.

Están constituidos por un soporte perfectamente acoplado sobre un casquillo de metal duro, que es el cojinete propiamente dicho, dado que siempre se produce rozamiento es necesario recurrir al uso de los cojinetes deben cumplir las siguientes condiciones:

- ✓ Una superficie exterior suficientemente lisa para que el lubricante sea arrastrado por el árbol al girar.
  - ✓ Un elevado coeficiente de transmisión de calor, para disparar el incremento de temperatura producido por el rozamiento.
  - ✓ Un coeficiente de rozamiento lo menor posible en el deslizamiento en seco con el fin de reducir la resistencia en el momento de arranque.
  - ✓ Una buena unión entre el casquillo y su soporte.
  - ✓ Este tipo de cojinete queda limitado por la carga admisible a soportar para poder formar la película lubricante, pero cuando este inconveniente no se presenta, se pueden emplear en órganos giratorios a grandes velocidades y con poco ruido.
- Rodamientos: Los rodamientos de elementos rodantes utilizan bolas (rodamientos de bolas) o rodillos cilíndricos (rodamientos de rodillos o agujas). Estos elementos están contenidos en anillos o "jaulas", que permiten movimientos de muy baja resistencia al deslizamiento. Los rodamientos de bolas constituyen el tipo más común de rodamiento y pueden absorber cargas radiales y axiales.

Sin embargo, los rodamientos de elementos rodantes son propensos a síntomas de falla como el rallado, el rallado falso y el desgaste. El rallado es

cuando la pista de carrera de un rodamiento se deforma provocado por una carga de impacto. El rallado falso es causado por cargas continuas bajo condiciones estáticas y movimientos oscilantes de los elementos rodantes. Por otro lado, el desgaste se genera por una lubricación insuficiente con movimientos oscilatorios. Aquí las bolas se deforman en caso de sobrecarga y derivan en averías del rodamiento. Los rodamientos de rodillos cilíndricos, diseñados para cargas más pesadas, tienen una mayor superficie de contacto con la pista de rodadura, de modo que la carga se distribuye sobre un área mayor. Sin embargo, no son adecuados para aplicaciones con cargas axiales.

Los rodamientos poseen determinadas ventajas frente a los cojinetes de fricción:

- ✓ El coeficiente de rozamiento no depende de la carga que deben soportar, ni de la velocidad de giro, ni del tiempo de utilización.
- ✓ Su longitud es menor, lo que le hace idóneo en diseños más reducidos.
- ✓ Menor necesidad de lubricación.
- ✓ A causa del bajo rozamiento, su calentamiento es más reducido, por lo que la temperatura de trabajo es menor.
- ✓ Son muy versátiles, pueden ser empleados casi para todas las necesidades.

También presentan inconvenientes:

- ✓ En su montaje se tiene que ser muy preciso en los ajustes, si no su rotura es inmediata.
- ✓ Son más sensibles a los choques o cargas bruscas.
- ✓ La suciedad acorta su vida.
- ✓ Son más ruidosos.

Según la posición del rodamiento respecto a la carga, se diferencian tres tipos:

- ✓ Axiales, admiten cargas en sentido de su eje.
- ✓ Radiales, admiten cargas en sentido perpendicular a su eje y ninguno en sentido longitudinal.

- ✓ De Empuje, admiten cargas tanto en sentido axial como radial.

### **1.5.5. MANIVELA**

La manivela es un elemento de un mecanismo de transmisión del movimiento que consiste en una barra fijada por un extremo y accionada por la otra con un movimiento de rotación.

Es una pieza normalmente de hierro, compuesta de dos ramas, una de las cuales se fija por un extremo al eje de una máquina, de una rueda, etc. y la otra se utiliza a modo de mango que sirve para hacer girar el eje, la máquina o la rueda. Puede servir también para efectuar la transformación inversa del movimiento circular en movimiento rectilíneo. Cuando se incorporan varias manivelas a un eje, éste se denomina cigüeñal.

El mecanismo de biela y manivela es extensamente empleado en diversas máquinas, fundamentalmente para transformar el movimiento alternativo de los pistones de un motor de combustión interna en movimiento rotatorio de otros componentes.

### **1.6. PARÁMETROS INVOLUCRADOS**

Los principales parámetros involucrados para el diseño del molino triturador para latas de aluminio son los siguientes:

- ✓ Dimensiones de las latas de aluminio a triturar. Las latas de aluminio tienen una variedad muy amplia, sin embargo, el tipo de lata de aluminio que se ha considerado para el diseño del molino triturador es la más común en el comercio, de capacidad de 350 ml teniendo las dimensiones de 13.5 cm de altura, 7 cm de diámetro y espesor de 0.25 mm.
- ✓ Dimensiones y material de los discos de corte. Los discos de corte como se ha explicado anteriormente se consideran los más importantes, ya que su tamaño, ancho, número de filos y la cantidad de discos necesarios de

acuerdo a el diseño previo, son quienes determinan las dimensiones que debe tener el molino triturador, estos se deben diseñar con un material que posea una resistencia mayor a la resistencia de cizalla que interpongan los objetos que van a ser desgarrados para no sufrir algún tipo de falla en los discos de corte al momento de estar operando.

- ✓ Fuerza y torque de corte. La fuerza y torque necesarios para realizar el proceso de desgarre están en función de la resistencia de cizalla que posea el material con el que estén elaborados los objetos que se van a introducir al molino triturador, a mayor resistencia mayor debe ser la fuerza y torque necesario.
- ✓ Potencia y régimen de carga de los ejes trituradores. La velocidad de giro de los ejes se define de acuerdo a la clasificación de molino triturador (bajas rpm o altas rpm) descrita anteriormente, la cual queda a elección del diseñador. La potencia requerida está en función del torque necesario para realizar el corte, el cual depende del material que se va a introducir en el molino triturador.

## 2. DISEÑO DEL EQUIPO

El molino triturador de doble eje es el que presenta mayores ventajas por su alta capacidad de corte con una baja velocidad de rotación, su diseño es capaz de desarrollar de forma exitosa la trituración de latas de aluminio. Por lo tanto, en este capítulo se presenta el diseño que sustente las expectativas.

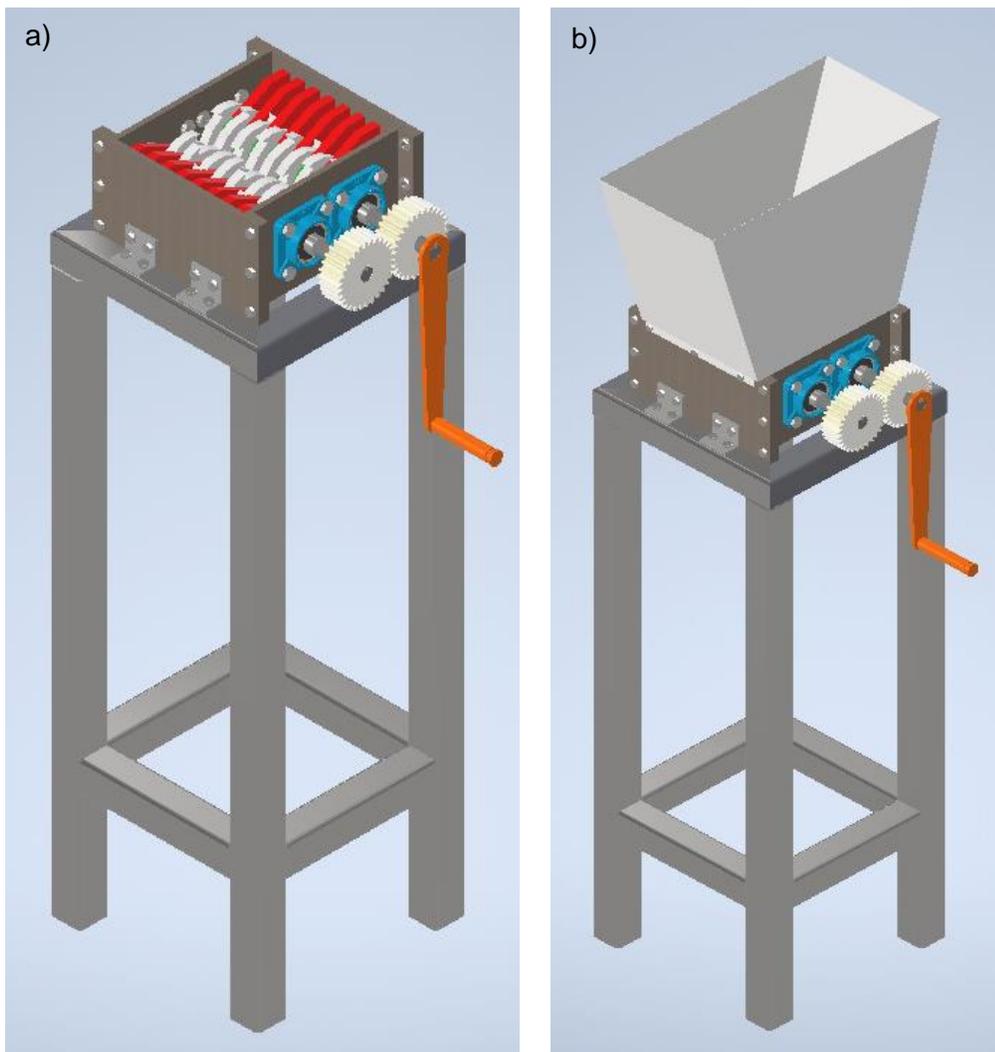


Fig. 2.1. Esquema general del molino triturador de doble eje: a) molino triturador sin tolva, b) molino triturador con tolva

## 2.1. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO

Las variables involucradas en el diseño del molino triturador de latas de aluminio consideradas son:

- Dimensiones de la cuchilla de corte
- Fuerza y torque de corte
- Potencia de corte y régimen de carga de los ejes trituradores

Una vez definidos estos parámetros de funcionamiento es posible diseñar los elementos críticos del molino triturador:

- Dimensionamiento de la cuchilla de corte: el procedimiento utilizado es mediante un análisis geométrico, en la Fig. 2.2 se presenta un esquema idealizado donde está esquematizado el corte con cuchillas circulares.

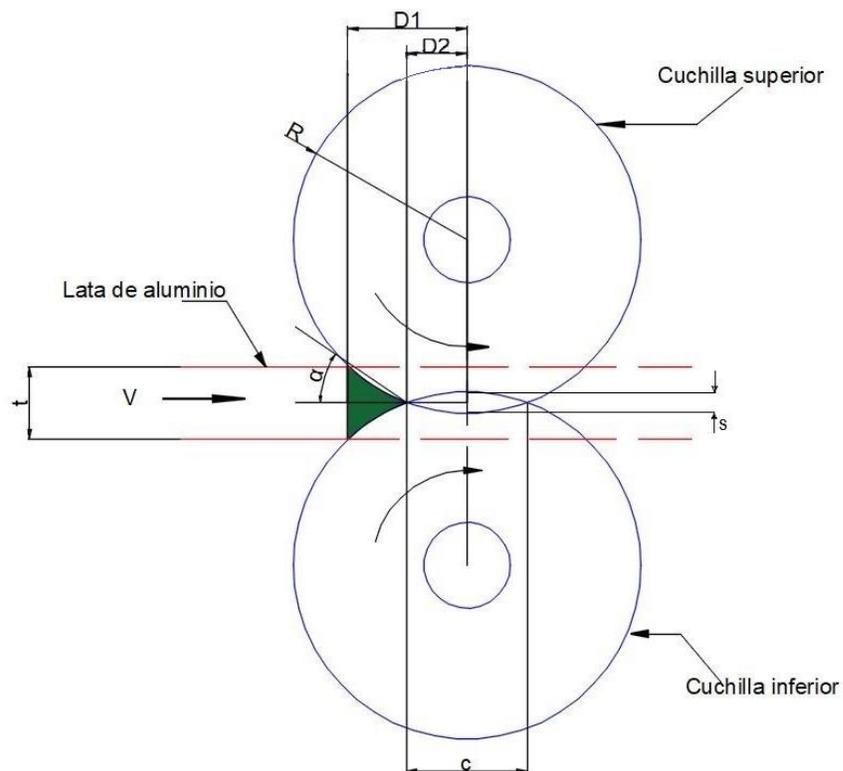


Fig. 2.2. Esquema de corte.

De la Fig. 2.2 se tiene la siguiente nomenclatura:

t es el espesor de la lata de aluminio;

$\alpha$  es el ángulo de corte formado por las cuchillas y la proyección de la cuerda tangente común de los discos;

R es el radio de las cuchillas de corte; y

c es la longitud de la cuerda común de las cuchillas

El espacio entre las cuchillas debe estar ajustado correctamente, para que el corte del material coincida exactamente con los bordes de corte de las cuchillas, por lo tanto, el claro vertical para un espesor de lámina de 0.5 mm es de 0.45 mm y la cuerda de un valor de 18 a 20 veces más la longitud del claro vertical [25].

De la Fig. 2.2 se deducen las siguientes ecuaciones.

$$D_3 = D_1 - D_2 \quad (2.1)$$

$$\tan \alpha = \frac{0.5 t}{D_3} \quad (2.2)$$

$$D = 2R = \frac{4D_2^2 + s^2}{2s} \quad (2.3)$$

$$c = 2D_2 \quad (2.4)$$

Las variables de diseño son:

- Espesor 0.5 mm, que corresponde al doble espesor de una lata de aluminio convencional.
- Claro vertical es 0.45 mm, en la Fig. 2.2 se define como s.
- Cuerda se asume de 8 mm considerando el criterio mencionado anteriormente.

Sustituyendo los datos en la Ec. 2.4 se obtiene un valor de  $d_2$ :

$$D_2 = 4 \text{ mm}$$

Sustituyendo los datos en la Ec. 2.3 y se obtiene un valor preliminar del diámetro de las cuchillas de corte.

$$D = \frac{4(4)^2 + (0.45)^2}{2(0.45)} = 71.3 \text{ mm}$$

El diámetro calculado se utiliza como punto de partida para realizar las iteraciones que permita determinar el diámetro final de la cuchilla de corte. Este diámetro debe estar en concordancia con el diámetro de paso (dp), el módulo (m) y los dientes de los engranes (N) [25].

Se han realizado iteraciones que se presentan en la Tabla 2.1 donde se puede apreciar cómo se va variando los dientes del engrane con un valor estandarizado del módulo igual a 3, las iteraciones dan inicio con el valor del diámetro preliminar antes calculado, determinándose así diámetros mayores.

Tabla 2.1. Cálculo de diámetros de la cuchilla-engrane con módulo estandarizado 3.

Dientes, ua	dp engrane
	mm
27.00	81
27.33	82
27.67	83
28.00	84
28.33	85
28.67	86
29.00	87
29.33	88
29.67	89
30.00	90

Por lo tanto, para el engrane recto se adopta un diámetro de paso de 90 mm con 30 dientes, y se selecciona un diámetro de cuchilla de 95 mm.

Aplicando el teorema de Pitágoras y las Ecs. 2.1 - 2.3 se obtienen los valores corregidos de las dimensiones geométricas de la cuchilla.

$$R = 47.5 \text{ mm}$$

$$D_1 = 6.70 \text{ mm}$$

$$D_2 = 4.61 \text{ mm}$$

$$D_3 = 2.09 \text{ mm}$$

$$\alpha = 6.8^\circ$$

- Fuerza de corte: El procedimiento para determinar la fuerza de corte está ligado a las fuerzas requeridas para realizar el avance y el trabajo de corte de la lata de aluminio. El esquema de las fuerzas que se encuentran actuando se presentan en la Fig. 2.3.

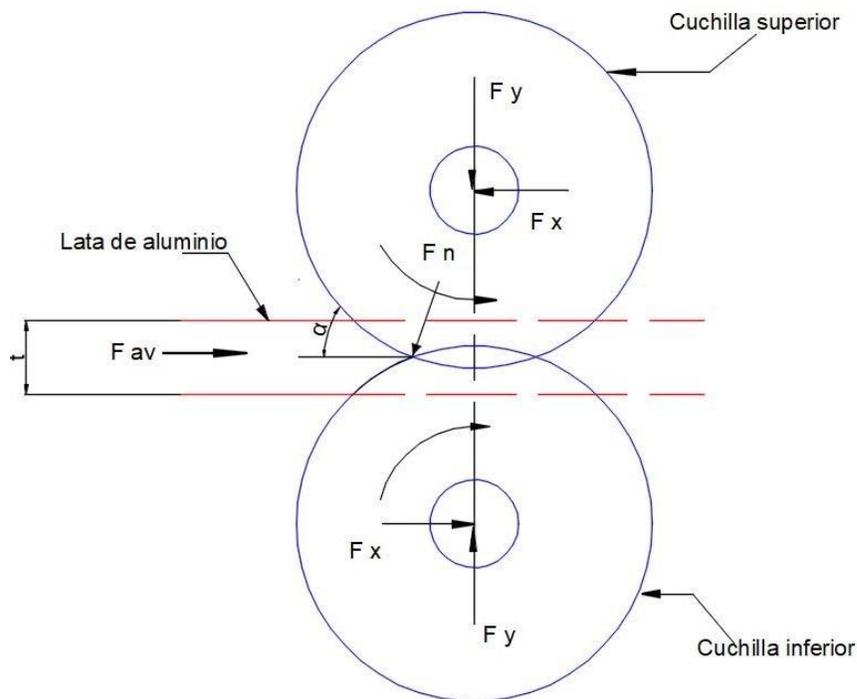


Fig. 2.3. Diagrama de fuerzas del sistema de corte.

De la Fig. 2.3 se tiene la siguiente nomenclatura:

$F_r$  es la fuerza de rozamiento;

$F_n$  es la fuerza radial o normal;

$F_{av}$  es la fuerza de avance;

$F_x$  es la fuerza horizontal que ejerce el eje sobre la cuchilla;  
 $F_y$  es la fuerza vertical que ejerce el eje sobre la cuchilla.

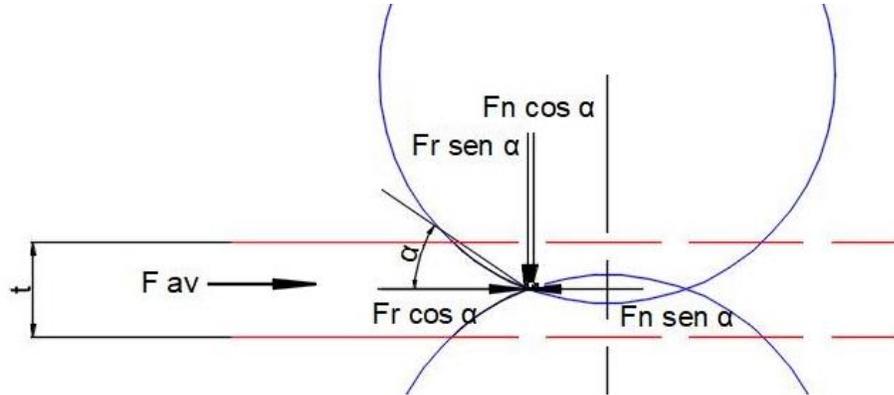


Fig. 2.4. Diagrama de fuerzas del sistema de corte.

De la Fig. 2.4 se observa que las fuerzas que realizarán el corte son las componentes verticales de las fuerzas que se generan durante el contacto entre la lata de aluminio y las cuchillas. Entonces la fuerza de corte a aplicarse es la equivalente a la sumatoria de las fuerzas perpendiculares que ejerce cada cuchilla sobre la superficie de la lata de aluminio. Por tanto, a partir del diagrama de cuerpo libre presentado, se obtiene:

$$F_c = F_n \cos \alpha + F_r \sin \alpha \quad (2.5)$$

La fuerza de corte por cizallamiento se calcula mediante una expresión simple del análisis geométrico la cual es [25]:

$$F_c = \frac{t^2}{2 \tan \alpha} * G \quad (2.6)$$

donde:

$t$  es el espesor del material a cortar, mm;

$\alpha$  es el ángulo entre las cuchillas;

$G$  es la resistencia al cizallamiento del material, N/ mm<sup>2</sup>.

Las variables de diseño son:

- Espesor es 0.5 mm
- Resistencia al cizallamiento (G) para la aleación de aluminio 6061 es 150 N/mm<sup>2</sup>
- Ángulo entre las cuchillas es de 6.8°

Por lo tanto, al sustituir los datos en la Ec. 2.6 se obtiene la fuerza de corte.

$$F_c = \frac{0.25}{2 \tan(6.8^\circ)} * 150 \cong 157 \text{ N}$$

Para garantizar el corte de la lata de aluminio se asume un factor de seguridad de 4, por lo tanto, la fuerza de corte tiene un valor de 628 N.

Determinada la fuerza de corte, se puede encontrar las magnitudes de la fuerza de avance de la lata de aluminio y la fuerza de rozamiento. Estas fuerzas se calculan en base al diagrama de cuerpo libre de la Fig. 2.4.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{av} + F_r \cos \alpha - F_n \sin \alpha = 0$$

$$F_{av} = -F_n (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.7)$$

Combinando la Ec. 2.5 y la Ec. 2.7 se obtiene:

$$F_{av} = -F_c * \frac{(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)} \quad (2.8)$$

Al sustituir los datos se obtiene un valor para la fuerza de avance:

$$F_{av} \cong 62.2 \text{ N}$$

La fuerza normal se despeja de la Ec. 2.5 y se obtiene:

$$F_n = \frac{F_c}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$$

$$F_n \cong 631 \text{ N}$$

Se obtiene la fuerza de fricción con la Ec. 2.9:

$$\begin{aligned}Fr &= \mu( F_n ) && (2.9) \\Fr &= (0.02) (631) \\Fr &= 12.62 \text{ N}\end{aligned}$$

En base al diagrama de cuerpo libre de la Fig. 2.4, donde se indican las fuerzas que actúan sobre la cuchilla, se determinan las fuerzas que transmite el disco de corte al eje; realizando sumatoria de fuerzas respecto al eje x y al eje y y se obtiene:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\Fr \cos \alpha - F_n \sin \alpha - F_x &= 0 \\F_x &= F_n ( \mu \cos \alpha - \sin \alpha ) && (2.10)\end{aligned}$$

Al sustituir los datos en la Ec. 2.10 se obtiene:

$$\begin{aligned}F_x &\cong - 62.1 \text{ N} \\ \Sigma F_y &= 0 \\ -F_n \cos \alpha - Fr \sin \alpha - F_y &= 0 \\ F_y &= -F_n( \cos \alpha + \mu \sin \alpha ) && (2.11)\end{aligned}$$

Al sustituir los datos en la Ec. 2.11 se obtiene:

$$F_y \cong -627 \text{ N}$$

- Torque de corte: El torque necesario para realizar el corte de las latas de aluminio corresponde a la suma de los torques que se generan por acción de la fuerza de corte, siendo estas las componentes horizontales de la fuerza normal y de rozamiento, y la fuerza de avance de la lata de aluminio. Estas se presentan en la Fig. 2.5.

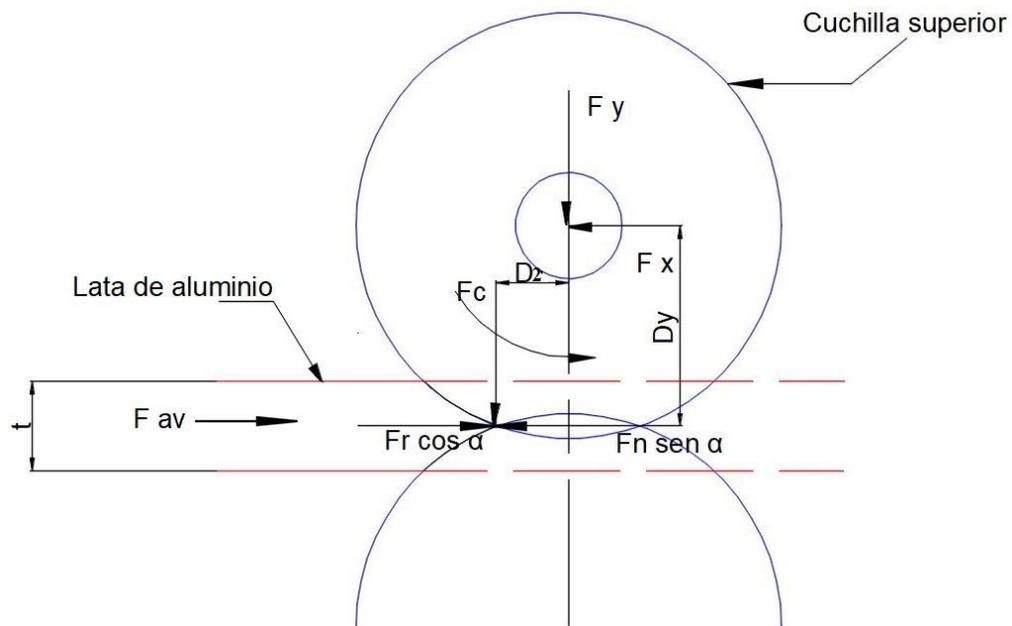


Fig. 2.5. Diagrama de fuerzas que generan torque.

De la Fig. 2.5 se calculan las distancias  $D_2$  y  $D_y$ .

$$D_2 = \frac{D}{2} \operatorname{sen} \alpha = \frac{95}{2} \operatorname{sen} (6.8) = 5.62 \text{ mm}$$

$$D_y = \frac{D}{2} \cos \alpha = \frac{95}{2} \cos (6.8) = 47.16 \text{ mm}$$

Mediante sumatoria de momentos se calcula el torque de corte.

$$\Sigma M_a = T \text{ máx}$$

$$F_c \cdot dx + (F_{av} + F_r \cos \alpha) \cdot dy - F_n \sin \alpha \cdot dy = T_c$$

$$T_c \cong 3530 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Por lo tanto, el torque de corte es aproximadamente  $3530 \text{ N} \cdot \text{mm}$ , ahora se procede a calcular la potencia de corte.

- Potencia y régimen de los ejes trituradores

La velocidad de corte según el manual de DUBBEL, la velocidad de corte recomendada es [26]:

$$v = (0.1 \text{ a } 0.13) \text{ m/s}$$

Las variables de diseño son:

- Velocidad de corte está en el intervalo de 0.1 - 0.13 m/s;
- Diámetro de las cuchillas de corte es de 95 mm;
- Fuerza de corte es de 628 N.

Se calcula el régimen de giro de los ejes trituradores mediante la Ec. 2.12:

$$n = \frac{v}{D \cdot \pi} \quad (2.12)$$

donde:

n es el régimen de giro en rev/min,

v es la velocidad de corte en m/min, y

D es el diámetro de las cuchillas de corte en m.

Se obtiene para el intervalo de velocidades de corte recomendadas:

$$20.10 \text{ rpm} \leq n \text{ recomendada} \leq 26.13 \text{ rpm}$$

El régimen de giro escogido para el molino triturador es de 24 rpm; de igual manera se calcula la potencia necesaria para realizar el corte de las latas de aluminio con la Ec. 2.13.

$$P = \frac{F_c \cdot Dn \cdot \pi}{60000} \quad (2.13)$$

Al sustituir las variables de diseño se obtiene:

$$P_C = \frac{(628 \text{ N})(95 \text{ mm})(24 \text{ rpm})(\pi)}{60,000} = 74.97 \text{ W}$$

La potencia calculada es la necesaria para realizar el trabajo de una sola cuchilla, por lo tanto, la potencia total requerida para el molino triturador considerando 8 cuchillas por eje será:

$$P_{\text{Total}} = 16 P_C = 1199.52 \text{ W} \sim 1.2 \text{ kW}$$

## 2.2. DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS CRÍTICOS

Se consideran elementos mecánicos críticos a todos aquellos que poseen una función directa en el correcto desempeño de la máquina como conjunto, en este caso, al tratarse del molino triturador, entre los elementos críticos, se encuentran los engranes rectos encargados de la transmisión de potencia, ejes portadores de las cuchillas de corte y cojinetes.

- ENGRANES RECTOS

Los engranes rectos son elementos cilíndricos dentados que transmiten potencia entre ejes paralelos a baja velocidad. Tienen dientes de involuta que son rectos y paralelos a la línea longitudinal del eje que lo soporta, estableciéndose el contacto entre dientes a través de una línea.

Al haberse determinado los parámetros y dimensiones principales que corresponden al diseño de los engranes rectos, lo que resta por establecer es el material con el cual se deben fabricar para que el funcionamiento de esos elementos sea el óptimo. Para esto, es necesario identificar el análisis más propicio, y para los usos que posee la máquina, el más adecuado es el análisis de fatiga, representado por la Ec. 2.14:

$$\sigma = \frac{z_N C_H S_{ac}}{K_T K_R S_F} = C_p \sqrt{\frac{F_T K_o K_s K_v K_m C_f}{d B I}} \quad (2.14)$$

donde:

$z_N$  es el factor de ciclos de esfuerzo,

$C_H$  es el factor de relación de dureza,

$K_T$  es el factor de temperatura,

$K_R$  es el factor de confiabilidad,

$S_F$  es el factor de seguridad,

$C_p$  es el coeficiente elástico,

$F_T$  ( $F_c$ ) es la fuerza de corte,

$K_o$  es el factor de sobrecarga,

$K_s$  es el factor de tamaño,

$K_v$  es el factor dinámico,

$K_m$  es el factor de distribución de carga,

$C_f$  es el factor de calidad de la superficie,

$d$  es el diámetro del engrane,

$B$  es el espesor del engrane, y

$I$  es el factor geométrico a la picadura

Los parámetros y dimensiones ya conocidos para el diseño del engranes se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros y dimensiones para determinación de material de engranes rectos.

Parámetro o dimensión	Valor determinado
Módulo (m), ua	3
Diámetro de paso (dp), mm	90
Número de dientes (N), ua	30
Velocidad (n), rpm	24
Fuerza de corte (Fc), N	628

Observando la Ec. 2.14, se pueden identificar las variables a calcular para poder hacer uso de la ecuación. Así determinar el material óptimo para los engranes rectos. A continuación, se presentan una serie de tablas y figuras de las cuales se obtuvieron diferentes variables y sus valores correspondientes para el diseño del engrane:

El factor de sobrecarga tiene como finalidad tomar en cuenta todas las cargas que se aplican de manera externa en exceso de la carga tangencial nominal. Mott (2006), presenta valores para diferentes fuentes de potencia, en la Tabla 2.3 se presenta los valores para determinar el factor de sobrecarga en máquinas impulsadas:

Tabla 2.3. Factores de sobrecarga ( $K_o$ ) en máquinas impulsada [27].

Fuentes de potencia	Uniforme	Impacto moderado	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.75
Impacto ligero	1.25	1.50	2.00
Impacto medio	1.50	1.75	2.25

El factor de tamaño refleja la falta de uniformidad de las propiedades del material, debida al tamaño. Se presenta la Tabla 2.4 útil para determinar el factor de tamaño:

Tabla 2.4. Determinación de factores de tamaño sugeridos ( $K_s$ ) [28].

Paso diametral (Pd), ua	Módulo métrico (m), ua	Factor de tamaño ( $K_s$ ), ua
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

En la Fig. 2.5 se presenta el gráfico útil para la determinación de factor de ciclos de esfuerzo ( $Z_n$ ) [29]. Estas gráficas para fatiga por esfuerzo de contacto, se basan en la aplicación de  $10^7$  ciclos de carga. El propósito de este factor es modificar la resistencia AGMA para vidas que no sean para  $10^7$  ciclos.

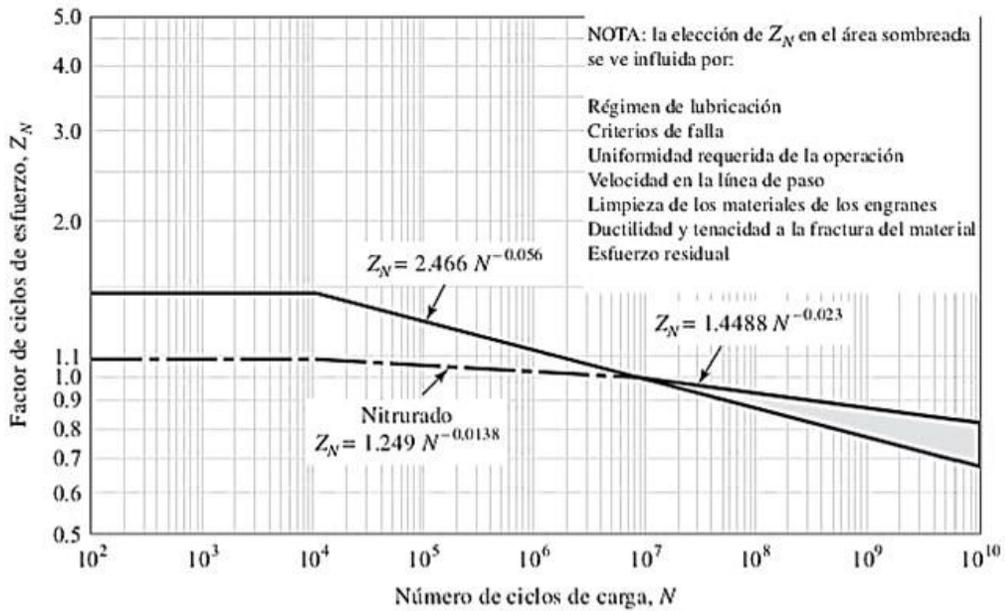


Fig. 2.6. Gráfico para determinación de factor de ciclos de esfuerzo ( $Z_N$ ).

La Fig. 2.7 es una gráfica para determinar el factor dinámico ( $K_v$ ), como una función de la velocidad en la línea de la estimación gráfica de  $K_v$ .

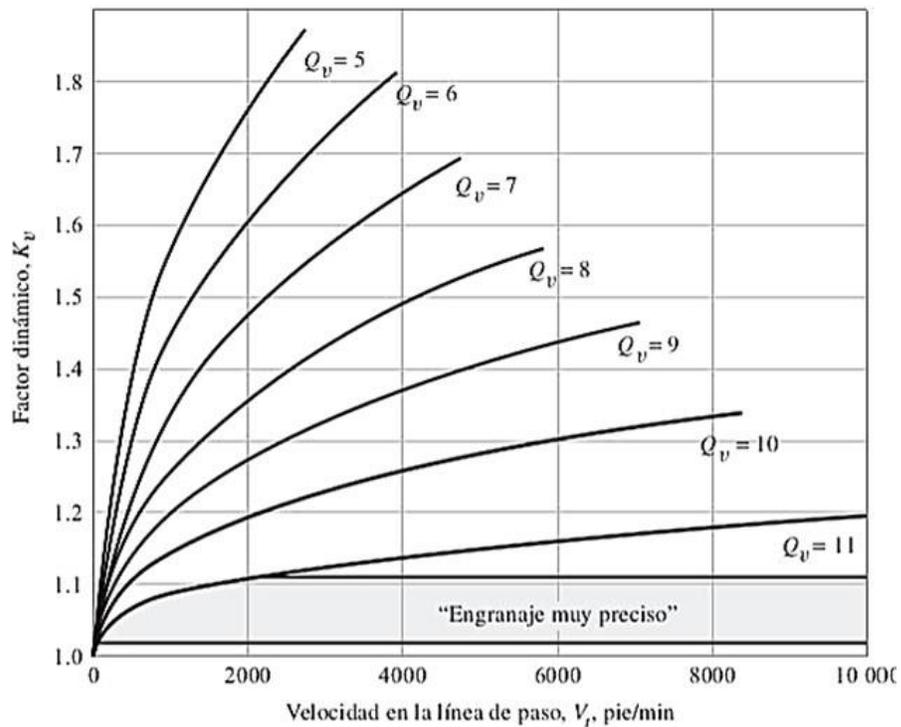


Fig. 2.7. Gráfico para determinación de factor dinámico ( $K_v$ ) [29].

El factor de confiabilidad toma en cuenta el efecto de las distribuciones estadísticas de las fallas por fatiga del material. En la Tabla 2.5 se presentan los valores basados en la norma ANSI/AGMA 2001.D04.

Tabla 2.5. Determinación de factor de confiabilidad ( $K_R$ ) [27].

Confiabilidad	$K_R$ ( $Y_Z$ )
0.9999	1.50
0.999	1.25
0.99	1.00
0.90	0.85
0.50	0.70

Los factores basados en la norma AGMA 908-B89 tienen la meta de introducir el efecto de la forma del diente en la ecuación. de esfuerzo. De manera gráfica se determina este valor por medio de la Fig. 2.8.

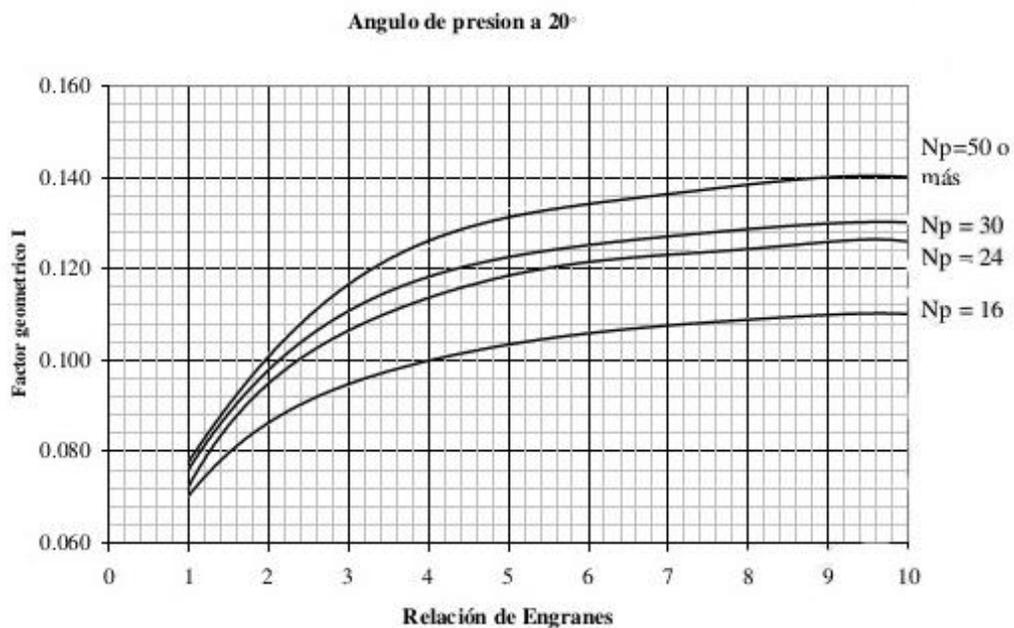


Fig. 2.8. Gráfico para determinación de factor de geometría (I) [27].

El coeficiente elástico es determinado por medio de la Tabla 2.6 que contiene los valores dependiendo del tipo de material del piñón y de la corona, en este caso se presenta los valores considerando material acero tanto por el piñón y la corona.

Tabla 2.6. Determinación de coeficiente elástico ( $C_p$ ) [27].

Material del piñón	Módulo de elasticidad del piñón, MPa	Material y Modulo de elasticidad de la corona, MPa
		Acero
Acero	$2 \times 10^5$	191

Relación de Poisson = 0.30

Por lo general, el piñón tiene un número de dientes menor que la corona y en consecuencia se somete a más ciclos de esfuerzo de contacto. Sin embargo, en el molino triturador que se está diseñando el piñón y la corona tienen la misma cantidad de dientes, en la Fig. 2.9 se presenta el gráfico que determina el factor de relación de dureza siendo este 1.00.

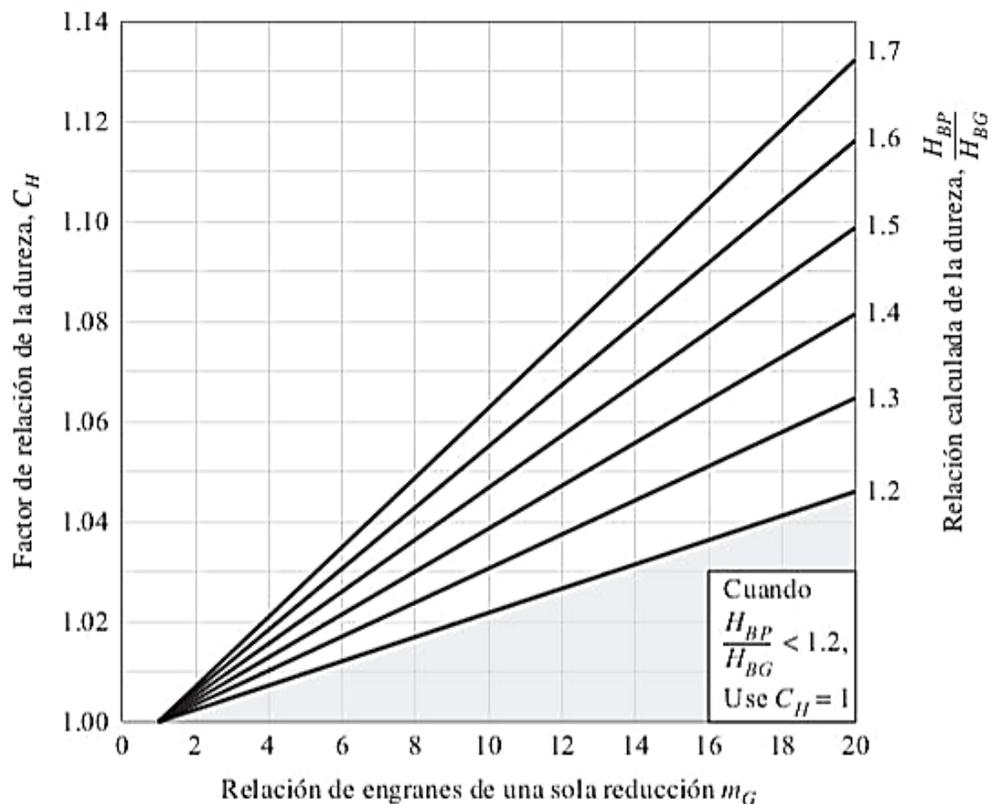


Fig. 2.9. Gráfico para determinación de factor de relación de dureza ( $C_H$ ) [29].

Se presenta el resumen (ver, tabla 2.7) de todos los valores obtenidos para el cálculo del engrane. Retomando la Ec. 2.14 y despejándola para obtener una relación que permita calcular la resistencia a la fatiga en la superficie ( $S_{ac}$ ), queda:

Tabla 2.7. Determinación de valores para cada variable en el cálculo de la resistencia a la fatiga en superficie.

Variable	Significado	Valor calculado
$Z_N$	Factor de ciclos de esfuerzo	1.0
$C_H$	Factor de relación de dureza	1.0
$K_T$	Factor de temperatura	0.87
$K_R$	Factor de confiabilidad	0.85
$S_F$	Factor de seguridad	1.0
$C_p$	Coefficiente elástico	191 MPa
$F_T (F_c)$	Fuerza de corte	628 N
$K_o$	Factor de sobrecarga	1.25
$K_s$	Factor de tamaño	1.0
$K_v$	Factor dinámico	1.02
$K_m$	Factor de distribución de carga	1.6
$C_f$	Factor de calidad de la superficie	1.5
$d$	Diámetro del engrane	90 mm
$B$	Espesor del engrane	34.5 mm
$l$	Factor geométrico a la picadura	0.075

$$S_{ac} = \frac{C_p K_T K_R S_F \sqrt{\frac{F_T K_o K_s K_v K_m C_f}{d B l}}}{Z_N C_H} \quad (2.15)$$

Al sustituir las variables determinadas en la Tabla 2.7, se obtiene:

$$S_{ac} = 346.26 \text{ MPa}$$

Tomando este valor de resistencia a la fatiga en la superficie, se elige que el material más óptimo para la fabricación de los engranes rectos para el molino triturador de dos ejes es el acero AISI 1020.

- EJES

Es importante considerar que existen dos tipos de cargas actuando en los ejes, unas que van en sentido horizontal, y otras que tienen orientación vertical, por lo que se ejecutará el análisis para ambos planos de acción, tomando en cuenta que los cálculos realizados son iguales para ambos ejes, al estar sometidos a las mismas cargas y reacciones. El material base de los ejes es una barra hexagonal de 25.4 mm (1 pulg).

Las cargas que estarán actuando en los ejes son las siguientes:

- Fuerza de corte de cuchillas (considerada como carga distribuida, al ser 8 cuchillas).
- Reacciones en los dos cojinetes colocados en los extremos del eje.
- Torque proporcionado por el engrane en extremo del eje.
- Cargas debido al peso de separadores y cuchillas (considerada como carga distribuida al ser 8 cuchillas).

Nota: Las unidades a utilizar para los cálculos serán en el Sistema Inglés. Así también, el diámetro del eje se ha definido de acuerdo a diámetros estandarizados de cojinetes.

Análisis de cargas horizontales.

La fuerza de corte en el eje X, proviene de la Ec. 2.10, donde se obtuvo un valor 62.1 N, y tomando en consideración que 1 lb = 4.448 N, se tiene:

$$F_x = 62.1 \text{ N} * \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} = 13.96 \text{ lb}$$

Cargas horizontales:

- Fuerza de corte por cuchilla = 62.1 N (13.96 lb)
- Fuerza de corte total (8 cuchillas) = 496.75 N (111.68 lb)
- Carga distribuida en 8 pulg = 62.1 N/m (13.96 lb/pulg)
- Torque de engrane = 3.52 N·m (31.24 lb·pulg)

En la Fig. 2.10 se presenta el diagrama de cuerpo de libre del eje con cargas horizontales.

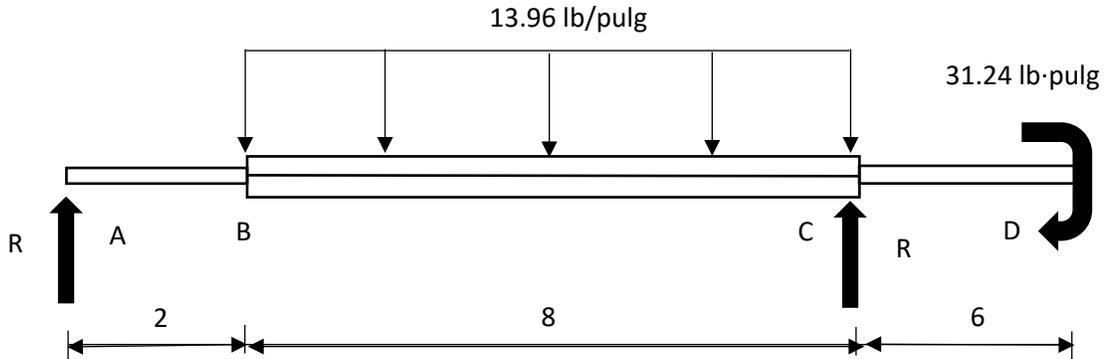


Fig. 2.10. Diagrama de cuerpo libre de cargas horizontales. Cotas en pulg.

Obteniendo la carga puntual derivada de la carga distribuida, se tiene la Ec. 2.16:

$$\text{Carga puntual} = (\text{Carga distribuida}) * (\text{longitud de carga distribuida}) \quad (2.16)$$

$$\text{Carga puntual} = (13.96 \text{ lb/pulg}) * (8 \text{ pulg}) = 111.68 \text{ lb}$$

En la Fig. 2.11 se aprecia el diagrama de cuerpo libre con cargas puntuales.

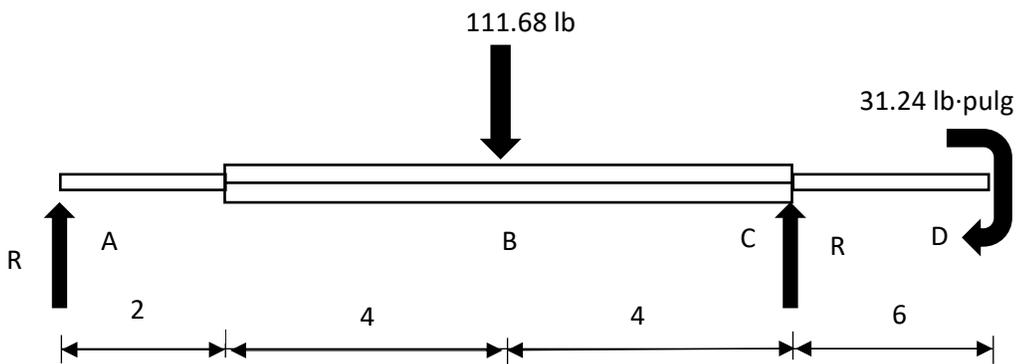


Fig. 2.11. Diagrama de cuerpo libre con carga puntual. Cotas en pulg.

Realizando una sumatoria de momentos en el punto A, se tiene:

$$\curvearrowleft \sum M_A = 0 \quad (2.17)$$

$$-111.68 \text{ lb}(6 \text{ pulg}) + R_C(10 \text{ pulg}) - 31.24 \text{ lb} \cdot \text{pulg} = 0$$

$$R_C = 311.93 \text{ N} (70.13 \text{ lb})$$

Realizando una sumatoria de fuerzas en el eje X, se tiene:

$$\uparrow \sum F_x = 0 \quad (2.18)$$

$$R_A - 111.68 \text{ lb} + 70.13 \text{ lb} = 0$$

$$R_A = 184.31 \text{ N} (41.55 \text{ lb})$$

En la Fig. 2.12 se presenta el diagrama de cortante y momento para las cargas horizontales.

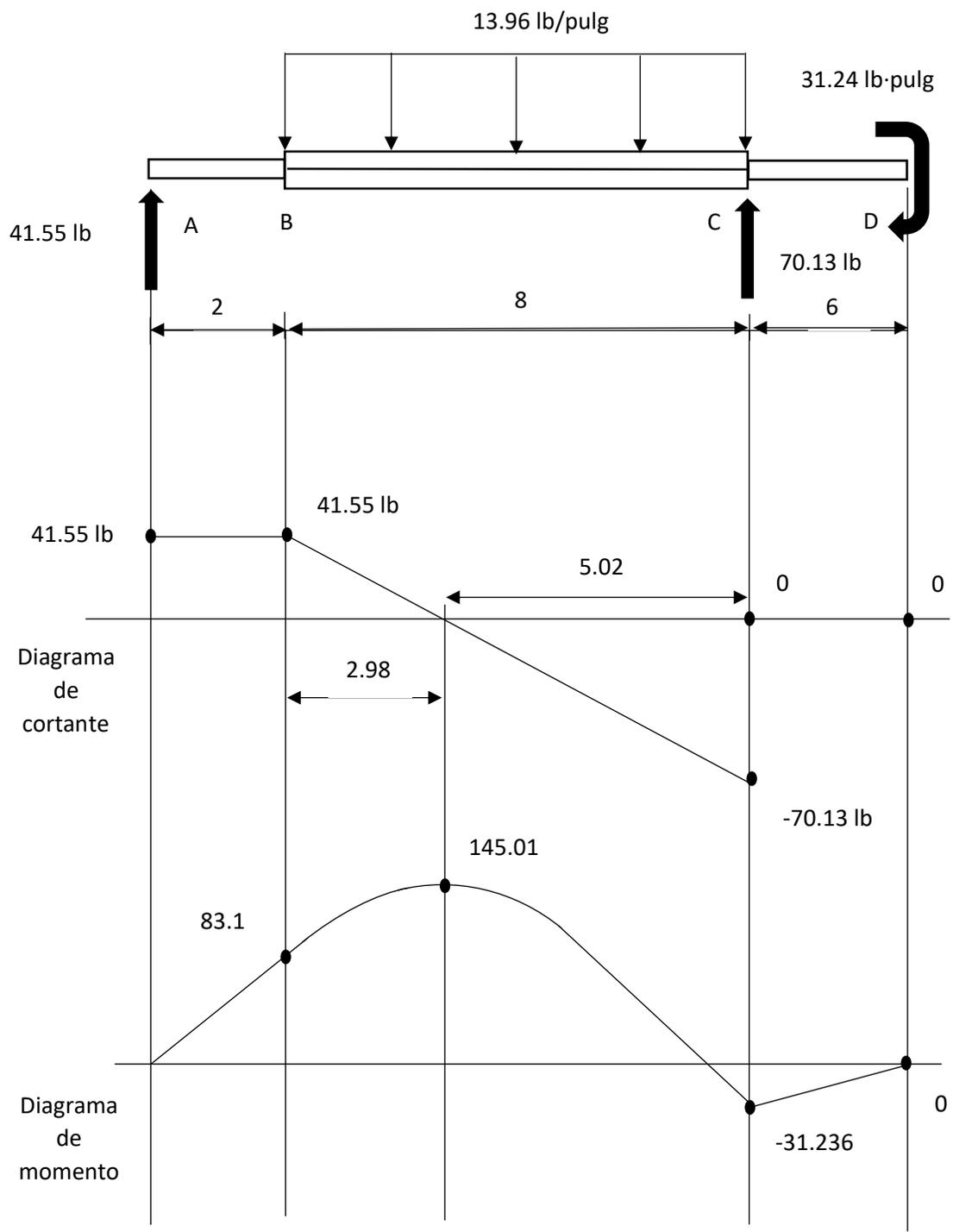


Fig. 2.12. Diagrama de cortantes y momentos de cargas horizontales. Cotas en pulg.

Antes de llevar a cabo el análisis de cargas en el plano vertical, es necesario considerar un factor que no tenía importancia en el eje horizontal, como lo son las cargas debido al peso tanto de separadores, como de cuchillas. Por lo que es de carácter pertinente realizar el cálculo de esas cargas, como se presenta a continuación:

Cálculo total para peso de 8 cuchillas:

Datos:

- Diámetro = 95 mm
- Altura = 12.7 mm
- Densidad ( $\rho$ ) =  $7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  (acero AISI 1020)
- $W_{\text{cuchillas}} = W_c = \text{peso cuchillas}$

$$W_c = \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot g \quad (2.19)$$

$$W_c = (7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(\pi)(0.0475\text{mm})^2(0.0127\text{mm})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(8)$$

$$W_c = 55.53 \text{ N}$$

$$W_{\text{cuchillas}} = 55.53 \text{ N} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} = 12.48 \text{ lb}$$

Cálculo total para peso de 8 separadores:

Datos:

- Diámetro = 50 mm
- Altura = 12.7 mm
- Densidad ( $\rho$ ) =  $7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  (acero AISI 1020)
- $W_{\text{separadores}} = W_s = \text{peso separadores}$

$$W_s = \rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot g \quad (2.20)$$

$$W_s = (7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(\pi)(0.025\text{mm})^2(0.0127\text{mm})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(8)$$

$$W_s = 15.38 \text{ N}$$

$$W_{\text{separadores}} = 15.38 \text{ N} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} = 3.46 \text{ lb}$$

Carga total por peso =  $W_c + W_s = 12.48 \text{ lb} + 3.46 \text{ lb} = 70.90 \text{ N} (15.94 \text{ lb})$

Análisis de cargas verticales.

La fuerza de corte en el eje Y, proviene de la Ec. 2.11, donde se obtuvo un valor 627 N, y tomando en consideración que  $1 \text{ lb} = 4.448 \text{ N}$ , se tiene:

$$F_y = 627 \text{ N} * \frac{1 \text{ lb}}{4.448 \text{ N}} = 140.96 \text{ lb}$$

Cargas verticales:

- Fuerza de corte por cuchilla = 627 N (140.96 lb)
- Fuerza de corte total (8 cuchillas) = 5015.92 N (1127.68 lb)
- Carga por peso de 1 separador y 1 cuchilla ( $W_{sep} + W_{cu}$ ) = 8.9 N (1.99 lb)
- Carga total por peso de separadores y cuchillas = 70.90 N (15.94 lb)
- Carga distribuida en 8 pulg = 24684.64 N/m (140.96 lb/pulg)
- Torque de engrane = 3.52 N·m (31.24 lb·pulg)

En la Fig. 2.13 se presenta el diagrama de cuerpo libre del eje con cargas verticales.

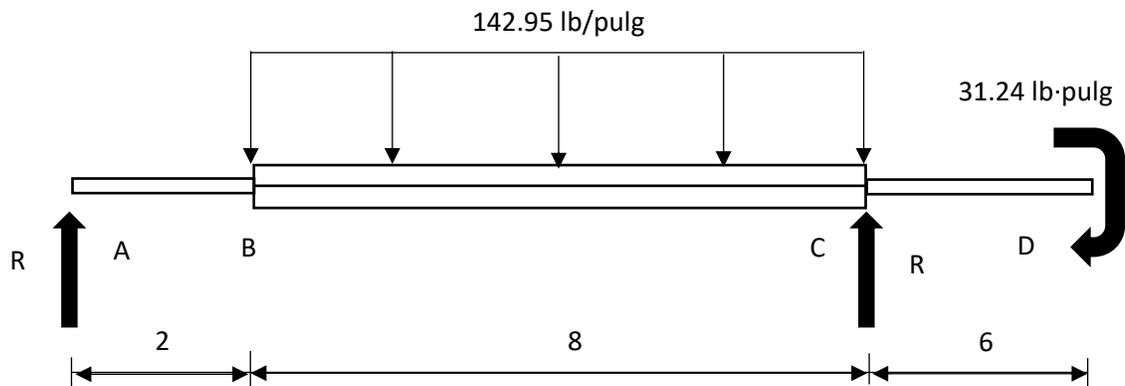


Fig. 2.13. Diagrama de cuerpo libre de cargas verticales. Cotas en pulg.

Obteniendo la carga puntual derivada de la carga distribuida, se tiene el siguiente resultado:

$$\text{Carga puntual} = (\text{Carga distribuida}) * (\text{longitud de carga distribuida})$$

$$\text{Carga puntual} = (142.95 \text{ lb/pulg}) * (8 \text{ pulg}) = 5086.82 \text{ N} (1143.62 \text{ lb})$$

En la Fig. 2.14 se aprecia el diagrama de cuerpo libre con cargas puntuales.

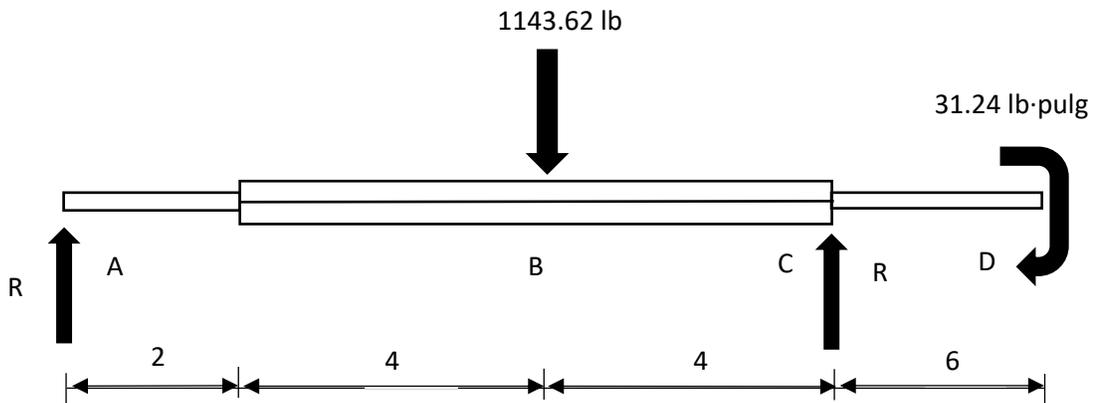


Fig. 2.14. Diagrama de cuerpo libre con carga puntual. Cotas en pulg.

Realizando una sumatoria de momentos en el punto A, se tiene:

$$\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$- 1143.62 \text{ lb}(6 \text{ pulg}) + R_C(10 \text{ pulg}) - 31.24 \text{ lb}\cdot\text{pulg} = 0$$

$$R_C = 3066 \text{ N} (689.30 \text{ lb})$$

Realizando una sumatoria de fuerzas en el eje Y, se tiene:

$$\uparrow \sum F_y = 0 \tag{2.21}$$

$$R_A - 1143.62 \text{ lb} + 689.30 \text{ lb} = 0$$

$$R_A = 2020.81 \text{ N} (454.32 \text{ lb})$$

En la Fig. 2.15 se presenta el diagrama de cortante y momento para las cargas verticales.

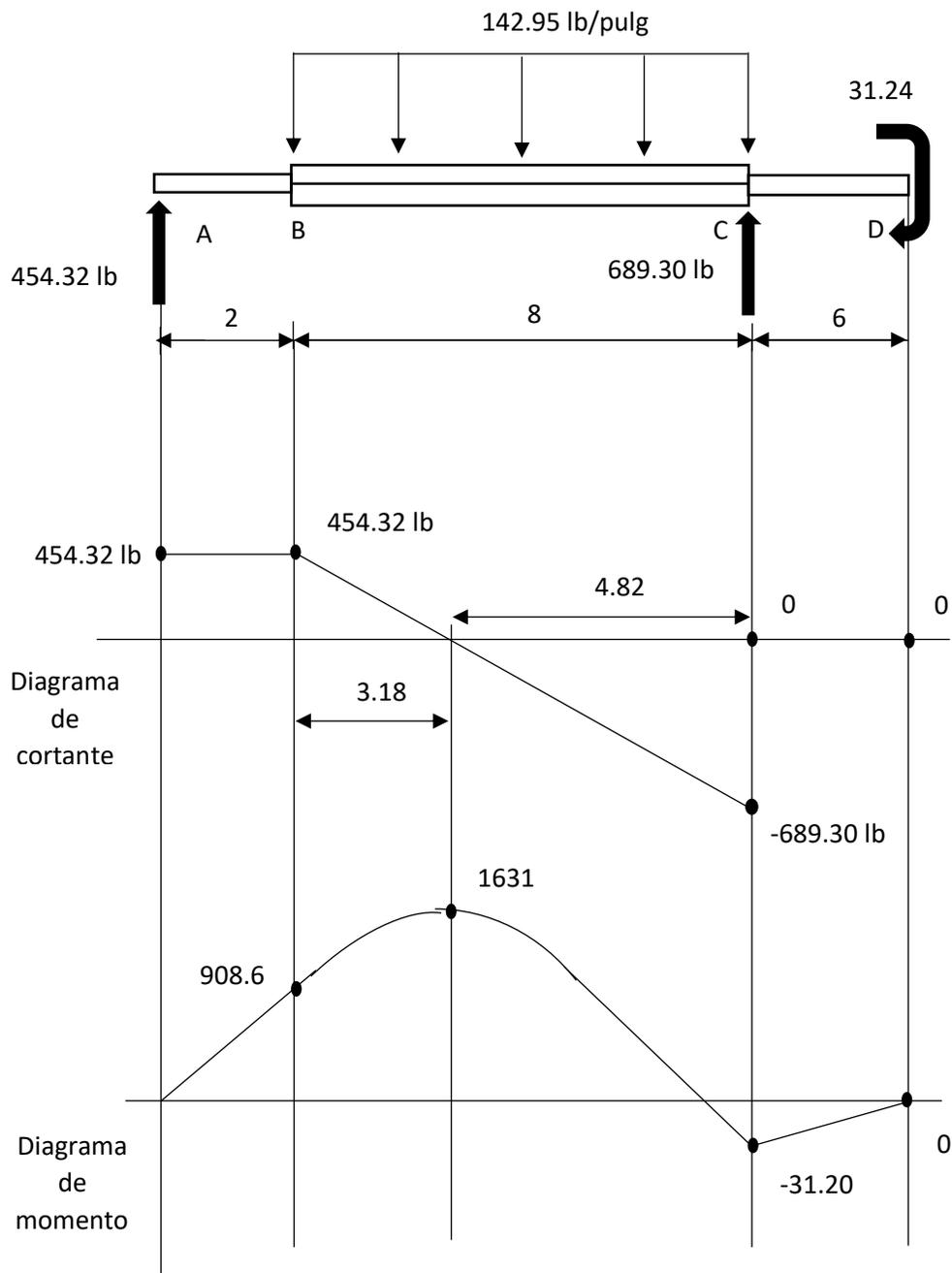


Fig. 2.15. Diagrama de cortantes y momentos de cargas verticales. Cotas en pulg.

A continuación, se procede a calcular los momentos resultantes en cada punto crítico a lo largo del eje, con la Ec. 2.22:

$$M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_Y)^2} \quad (2.22)$$

Realizando los cálculos correspondientes a cada punto crítico, se presenta en la Fig. 2.16 el diagrama de momentos resultantes:

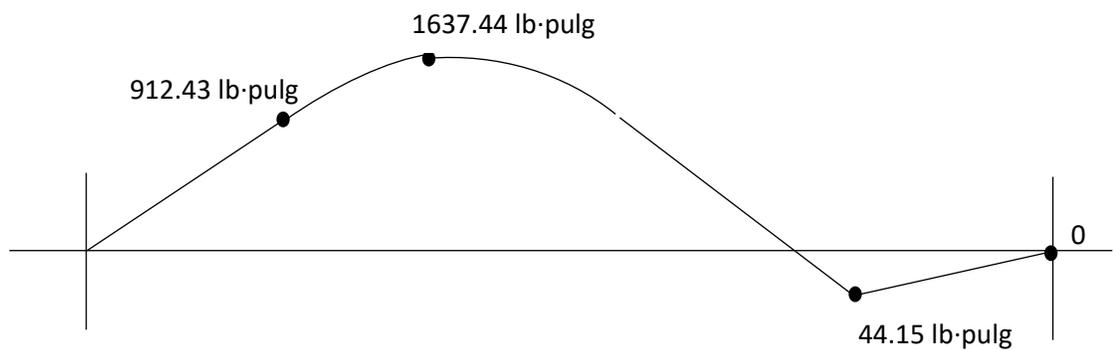


Fig. 2.16. Diagrama de momentos resultantes.

Ya que se trata de un eje escalonado se debe calcular los concentradores de esfuerzos correspondientes, existen 2 concentradores de esfuerzos, uno en cada cambio de sección, como el que se presenta en la Fig. 2.17.

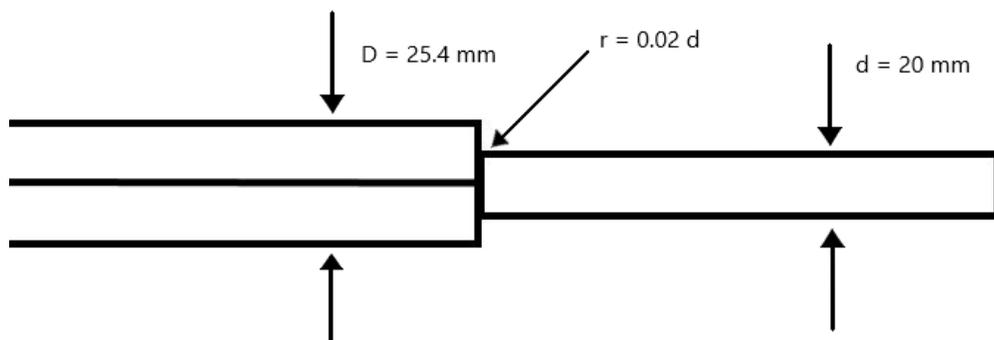


Fig. 2.17. Concentrador de esfuerzo.

Se procede a calcular el valor del concentrador de esfuerzo: Para lo cual se calcula el  $K_{ts}$  que es el concentrador debido a torsión mediante la Fig. 2.18, con los valores respectivos de  $D$ ,  $d$  y  $r$  descritos anteriormente.

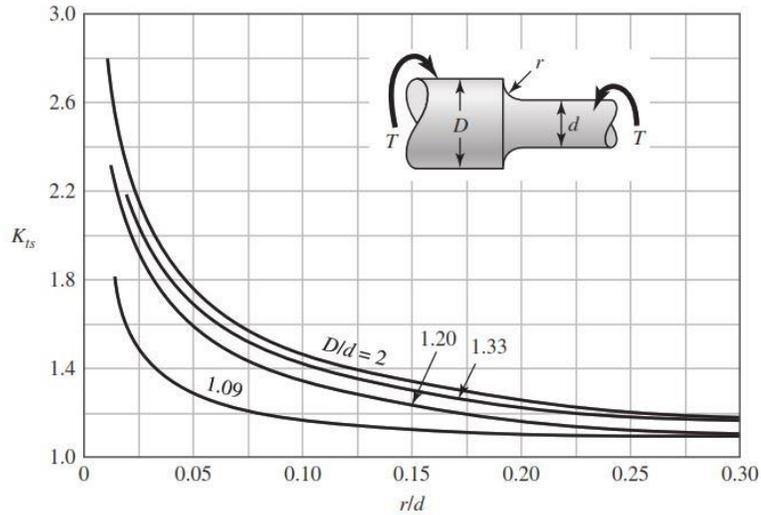


Fig. 2.18. Gráfico de concentrador de esfuerzo para eje sometido a torsión.

Se procede a determinar de la gráfica que se presenta en la Fig. 2.19 el valor de sensibilidad de la muesca ( $q$ ):

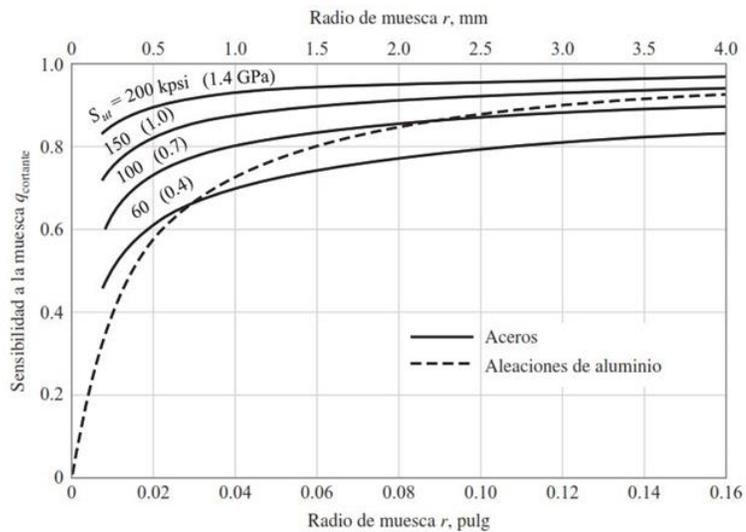


Fig. 2.19. Gráfico de sensibilidad de muesca.

Encontrados los valores se evalúan en la Ec. 2.23 para el cálculo de concentrador de esfuerzo

$$K_F = 1 + q(K_{ts} - 1) \quad (2.23)$$

$$K_F = 1 + 0.62(2.05 - 1)$$

$$K_F = 1.65$$

Ya definidos los momentos máximos y concentradores de esfuerzos actuando en el eje, se procede a calcular los esfuerzos a flexión y a torsión (se elige diámetro de eje de 24.57 mm según medidas de cojinetes):

$$\sigma = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (2.24)$$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 1637.44}{\pi(1)^3} = 1172.63 \text{ kg/cm}^2 \text{ (16,678.83 psi)}$$

Sustituyendo en la Ec. 2.25 se obtienes:

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} \cdot K_F \quad (2.25)$$

$$\tau = \frac{16(31.24)}{\pi(1)^3} \times 1.65 = 18.45 \text{ kg/cm}^2 \text{ (262.52 psi)}$$

Una vez conocidos los esfuerzos, se procede a calcular los esfuerzos equivalentes alterno y esfuerzo equivalente medio: En el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constantes, el esfuerzo flexionante es completamente reversible y la torsión es constante por tanto se deduce que  $\tau_a = 0$ , además el esfuerzo máximo calculado anteriormente será:  $\sigma_a = \sigma_1$ .

Se calcula el esfuerzo equivalente alterno con la Ec. 2.26 obteniendo como resultado:

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad (2.26)$$

$$\sigma_{ea} = 1172.63 \text{ kg/cm}^2 \text{ (16,678.83 psi)}$$

Se calcula el esfuerzo equivalente medio con la Ec. 2.27 obteniendo como resultado:

$$\sigma_{em} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3\tau_m^2} \quad (2.27)$$

$$\sigma_{em} = 31.96 \text{ kg/cm}^2 \text{ (454.69 psi)}$$

Ahora se procede a calcular el límite de resistencia a la fatiga por la carga de flexión con la Ec. 2.28.

$$S_n = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_n \quad (2.28)$$

donde:

$k_a$  es el factor de modificación de la condición superficial

$k_b$  es el factor de modificación del tamaño

$k_c$  es el factor de modificación de la carga

$k_d$  es el factor de modificación de la temperatura

$k_e$  es el factor de confiabilidad

$k_f$  es el factor de modificación de efectos varios

$S_n$  es el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$S'_n$  es el límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Para el factor  $K_a$  ya que no se conoce la resistencia del material se toma el valor

$$k_a = 1$$

Ahora se calculará el factor de modificación del tamaño  $K_b$  utilizando la Ec. 2.29.

$$k_b = 0.879 d^{-0.107} \quad (2.29)$$

$$k_b = 0.879*(1)^{-0.107} = 0.88$$

Todos los demás factores  $K_c$ ,  $K_d$ ,  $K_e$ ,  $K_f$  toman un valor igual a 1.

Además, se sabe que  $S'_n = 0.5 S_u$

Evaluando en la Ec. 2.26 de límite de resistencia a la fatiga, se tiene:

$$S_n = 0.88*0.5 S_u$$

$$S_n = 0.44 S_u$$

Ya que se ha terminado de calcular los factores necesarios para aplicar la fórmula de Teoría de Goodman, se procede a calcular el valor de esfuerzo último para conocer el material del eje, considerando un factor de seguridad igual a 1:

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_u} = \frac{1}{n} \quad (2.30)$$

$$\frac{16678.83}{0.44 S_u} + \frac{454.69}{S_u} = 1$$

$$S_u = 38.36 \text{ ksi (264.68 MPa)}$$

En la Tabla 2.8 (obtenida del libro de Shigley) se presenta el material que cumple para la fabricación de los ejes de transmisión con los requerimientos establecidos, este es el Acero AISI 1020 CD.

Tabla 2.8. Propiedades de materiales [29].

UNS	SAE	Procesamiento	Resistencia a la tensión, ksi	Resistencia a la fluencia, ksi
G10200	1020	CD	68	57

- COJINETES

A partir de los cálculos realizados en el apartado del diseño de ejes de transmisión, se logró obtener las reacciones resultantes en los cojinetes acoplados a los ejes.

Selección de cojinetes. En la selección de cojinetes a causa de la distribución de reacciones que se presentan en el eje, se tiene un cojinete cargado a límite y otro cojinete sobredimensionado, para diseño analizara el cojinete cargado a límite.

Datos:

- Carga radial en el cojinete ( $F_{rc}$ ) = 692.86 lb
- Factor de rotación ( $V$ ) = 1.0
- Factor de vida ( $K$ ) = 3
- Vida útil ( $L_d$ ) = 14400
- Velocidad del eje = 30 rpm

Cálculo de carga equivalente:

$$F_e = V \times F_r \quad (2.29)$$

$$F_e = (1.0)(692.86)$$

$$F_e = 3081.84 \text{ N (692.86 lb)}$$

Cálculo de carga dinámica:

$$C = F_e \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.30)$$

$$C = (692.86) \left( \frac{14400}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 168.56 \text{ lbf} \equiv 0.75 \text{ kN}$$

Con el valor de carga dinámica (C), se prosigue a seleccionar de tablas obtenidas en el catálogo de SKF el número de los cojinetes de tipo rodante, la Tabla 2.9 presenta los valores resumidos de la selección de los cojinetes, eligiendo así cojinetes 6004.

Se escoge un cojinete de tipo rodante pues con relación a los de deslizamiento, el coeficiente de fricción dentro de las cargas a que están sometidos en la práctica, es casi independiente de estas, también de la velocidad y del tiempo. Es por esto que este tipo de cojinete se recomienda para lograr servicios intermitentes y velocidades alternativas, recordando que el molino triturador está sometido a velocidades de giro variables.

Tabla 2.9. Selección de cojinetes del manual de SKF.

Diámetro, mm	Capacidad de carga dinámica (C), kN	Carga límite de fatiga, kN	Velocidad de referencia, rpm	Masa, kg	Designación
20	9.95	0.212	38,000	0.067	6004

### **3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO**

En el capítulo anterior se caracterizó los parámetros fundamentales del funcionamiento de la máquina, terminando con el diseño de todos los elementos de la misma, ahora como punto de inicio se tiene los planos de fabricación, los cuales se presentan en el Anexo A.

El proceso de construcción del molino triturador de latas de aluminio se divide en diferentes etapas para así culminar con el ensamble de todos los componentes, estas etapas son:

- Maquinado de cuchillas de corte.
- Maquinado de separadores de cuchilla.
- Maquinado de separadores de pared.
- Maquinado de los ejes de transmisión.
- Maquinado del soporte de la trituradora.
- Fabricación de estructura metálica.
- Fabricación de manivela.
- Ensamble de todos los elementos.
- Pruebas y ajustes de la máquina.

#### **3.1. MAQUINADO DE CUCHILLAS DE CORTE**

El primer componente a maquinar son las cuchillas de corte, en el capítulo anterior de diseño, se determinó que el molino triturador tendrá 16 cuchillas, repartidas en 2 ejes, cada uno con 8 cuchillas. El material necesario para realizar el maquinado es una pletina de acero AISI 1020 de 4 x ½ pulg y 180 cm de largo, la cual posteriormente se cortará en 16 bloques de 4 x 4 pulg.

Las cuchillas se han maquinado en el centro de maquinado CNC, ubicado en el Taller Metal Mecánica de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. El procedimiento de maquinado a seguir es el siguiente:

- Dibujar la cuchilla de corte. El software CAD utilizado para el diseño de la cuchilla de corte fue Autodesk Inventor (ver, Fig. 3.1).

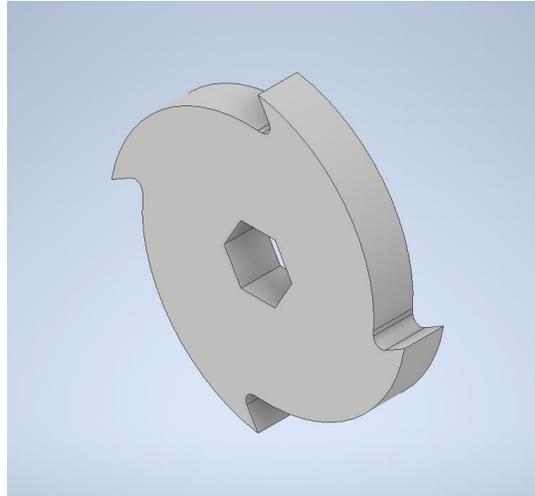


Fig. 3.1. Cuchilla de corte.

- Selección de contorno. Del modelo dibujado anteriormente se selecciona el contorno de la cuchilla de corte, para esto se utiliza el software CAD Autodesk PowerShape, esto servirá para definir el patrón de la trayectoria de maquinado (ver, Fig. 3.2).

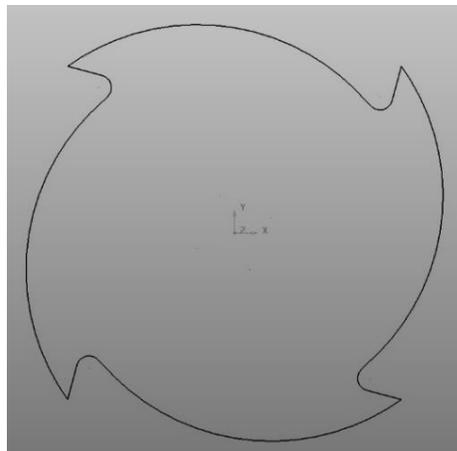


Fig. 3.2. Contorno de cuchilla de corte.

- Creación del programa de simulación de maquinado y código de programación. El software utilizado para generar el código de programación

a utilizar en el centro de maquinado CNC es Autodesk PowerMill, por lo tanto, con el patrón definido anteriormente, se define la trayectoria, la herramienta de corte, el bloque de materia prima, el plano de trabajo, las velocidades de corte y avance de corte (ver, Fig. 3.3).

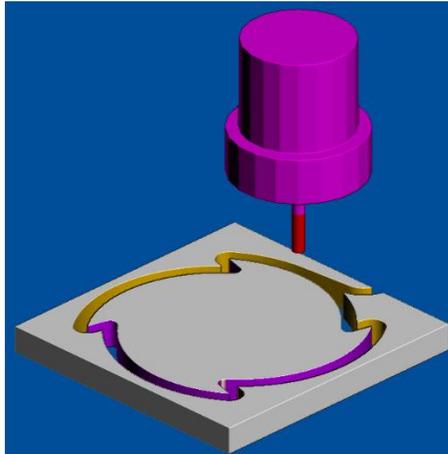


Fig. 3.3. Programa de simulación.

- Estrategia de sujeción. Una vez creado y simulado el código de programación, se seleccionó la estrategia de sujeción de la materia prima, esto con los elementos de sujeción disponible en el centro de maquinado, y con el objetivo de no provocar alguna colisión entre los elementos (ver, Fig. 3.4).



Fig. 3.4. Sujeción de la materia prima.

- Realizar pruebas en el centro de maquinado CNC. Una vez definida la sujeción se realizan las pruebas en madera para verificar las dimensiones de la pieza y eventuales problemas en el desarrollo del maquinado (ver, Fig. 3.5).



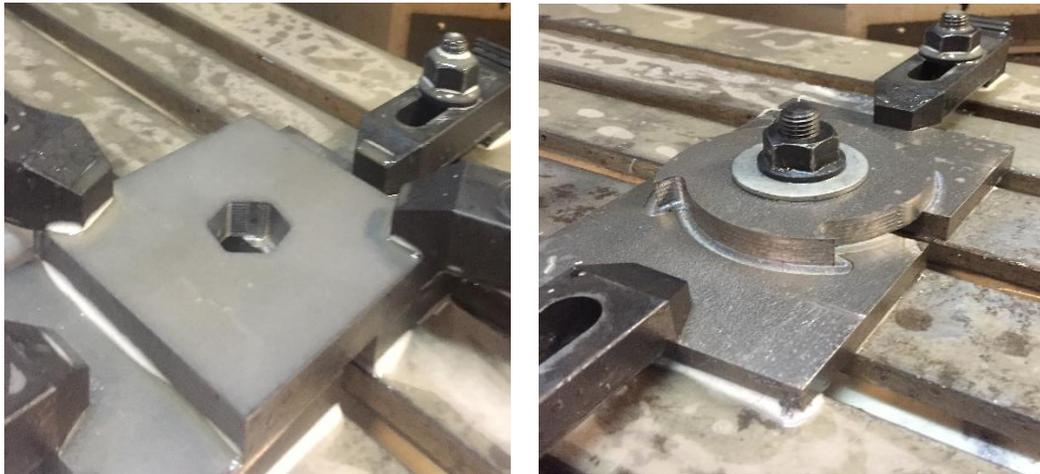
Fig. 3.5. Pruebas del maquinado.

- Materia Prima. El bloque en el cual se realiza el maquinado de la cuchilla de corte tiene las dimensiones de 4 x 4 pulg, y 1/2 pulg de espesor. Por lo tanto, se realiza el corte del material utilizando la sierra alternativa (ver, Fig. 3.6).



Fig. 3.6. Corte del material.

- Maquinado. Se realizan dos maquinados, el primero es el hexágono central con la sujeción mostrada en la Fig. 3.4, luego se desarrolla el contorno de la cuchilla de corte sujetándola desde el centro, siempre es importante verificar que las dimensiones finales sean las correctas. Los 2 maquinados se realizan con una fresa cilíndrica plana de 3.175 mm (3/16 pulg) de diámetro (ver, Fig. 3.7).



Figs. 3.7. Maquinado de hexágono central y contorno de la cuchilla.

#### Cementado de las cuchillas de corte

Se denomina cementación o carburización al tratamiento termoquímico que consiste en el incremento por difusión de la capa superficial del acero con átomos de carbono a una temperatura entre 850 y 1000 °C en un medio carburante. Siendo las temperaturas próximas a 900 °C las más utilizadas.

Las cuchillas de corte son los únicos elementos a los cuales se les va a aplicar cementación, ya que estas deben tener una buena dureza por cualquier impacto repentino en el momento de corte del aluminio y además deben conservar su filo.

Previo al proceso de cementación se deben esmerilar cada cuchilla de corte hasta obtener el filo deseado, ya que posterior al proceso de cementación resultaría más difícil el afilar las cuchillas de corte.

La mezcla que se utiliza para realizar la cementación es una proporción de 70:30 porcentaje en peso, donde cual 70% es carbón vegetal y el 30% es de carbonato de bario.

El diseño de la caja de cementación se realiza en base a la forma en que se van a colocar las cuchillas de corte, ya que estas se van a ubicar de manera consecutiva, una detrás de otra longitudinalmente teniendo un largo por todas las probetas de 203.2 mm (8 pulg), por esa razón la caja se diseña como se presenta en la Fig. 3.8

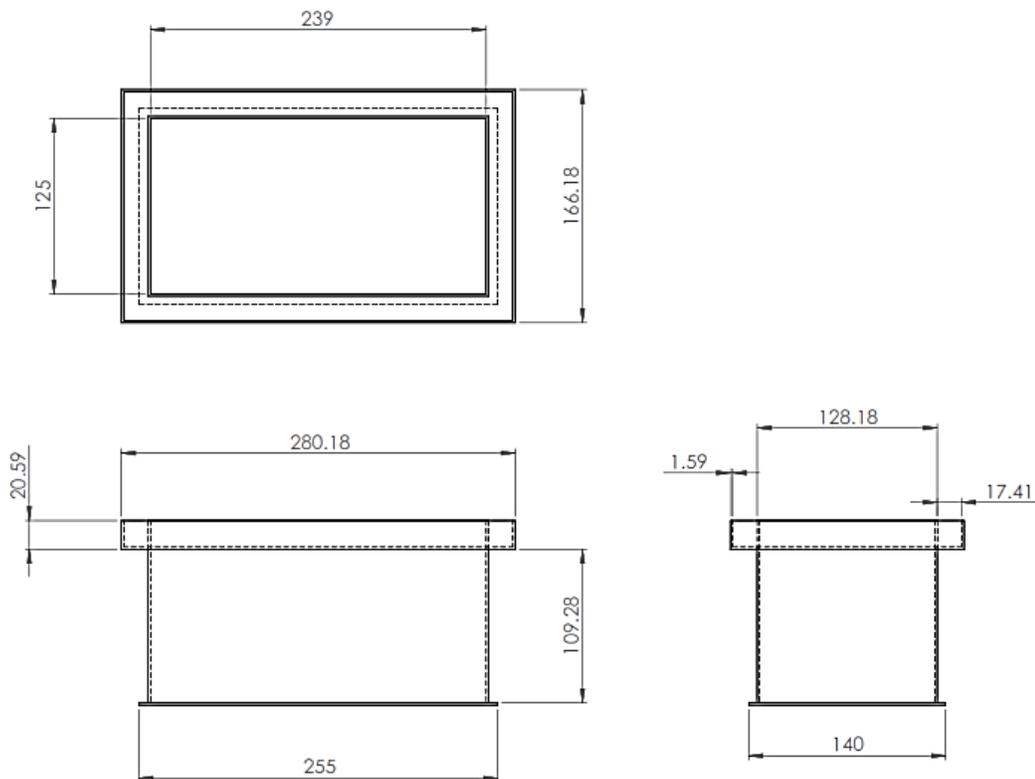


Fig. 3.8. Caja de cementación.

Para realizar la cementación se inicia colocando una capa de la mezcla cementante en el fondo de a caja, después se deben colocar las 16 cuchillas longitudinalmente y terminar de llenar la caja con la mezcla compactada, luego colocar la tapadera y como la caja debe estar herméticamente sellada se debe colocar arcilla en el canal exterior que tiene la caja de cementación.

La caja de cementación se ubica exactamente al centro de la bandeja del horno, a una temperatura de 900 °C. El tiempo de permanencia de la caja dentro del horno es de 10 horas con lo cual se espera obtener como resultado espesores entre 1 mm a 2 mm de capa cementada.

Una vez se cumplen las 10 horas en el horno se extrae la caja y se deja enfriar a temperatura ambiente, una vez enfriadas las cuchillas de corte se extraen de la caja y se le aplica la limpieza para eliminar los residuos debidos a la cementación.

### 3.2. MAQUINADO DE SEPARADORES DE CUCHILLA

El segundo componente a maquinar son los separadores de cuchillas, son 16 piezas, las cuales son las encargadas de separar a cada cuchilla de corte una de otra en cada eje de transmisión y se han de maquinar en el centro de maquinado CNC. El material necesario para realizar el maquinado es una pletina de acero AISI 1020 de 4 x ½ pulg y 130 cm de largo, la cual posteriormente se cortará en 16 bloques de 4 x 3 pulg (ver, Fig. 3.9).

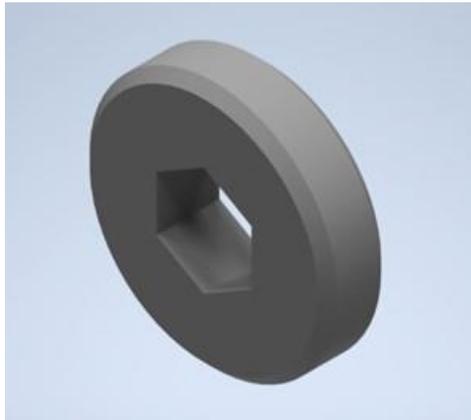


Fig. 3.9. Separador de cuchillas.

El procedimiento de maquinado a seguir es el siguiente:

- Dibujar el modelo del separador de cuchilla en un software CAD.
- Seleccionar los contornos a maquinar, en este caso son 2 contornos la circunferencia y el hexágono, los cuales se han de maquinar individualmente.

- Crear el programa de simulación del maquinado para cada contorno seleccionado anteriormente, definiendo todos los parámetros involucrados por ejemplo trayectoria, dimensiones de bloque, velocidad de giro, avance de corte, entre otras.
- Crear el código de programación del maquinado CNC para cada contorno.
- Seleccionar la mejor estrategia de sujeción del material en la mesa del CNC que permita realizar el maquinado sin ningún inconveniente de choque.
- Preparar el CNC cargando el código de maquinado en el software de control y colocar la fresa con la que se realizará el maquinado.
- Realizar la puesta a cero de la pieza en el CNC.
- Realizar un maquinado de prueba para asegurarse que no hay ningún inconveniente en todo el proceso y corroborar que las dimensiones finales de la pieza son las deseadas.
- Sujetar a la mesa de la fresadora el bloque de acero.
- Maquinar el hexágono en el bloque de acero.
- Maquinar la circunferencia en el bloque de acero.
- Retirar la pieza ya finalizada y verificar dimensiones.
- Eliminar cualquier tipo de rebaba que tenga la pieza.

### **3.3. MAQUINADO DE SEPARADORES DE PARED**

El tercer componente a maquinar son los separadores de pared, son 16 piezas que brindarán rigidez a la máquina y soporte a los ejes. Al igual que las cuchillas y separadores de cuchillas, estos se han maquinado en el centro de maquinado CNC ubicado en la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. El material necesario para realizar el maquinado es una pletina de acero AISI 1020 de 4 x ½ pulg y 2 m de largo, la cual posteriormente se cortará en 16 bloques de 4 x 4.33 pulg.

El procedimiento de maquinado a seguir es el siguiente:

- Dibujar el separador de pared. Se dibuja el modelo en el software Autodesk Inventor, estas piezas son del mismo espesor 12.7 mm ( $\frac{1}{2}$  pulg) que las cuchillas de corte y los separadores de cuchilla (ver, Fig. 3.10).

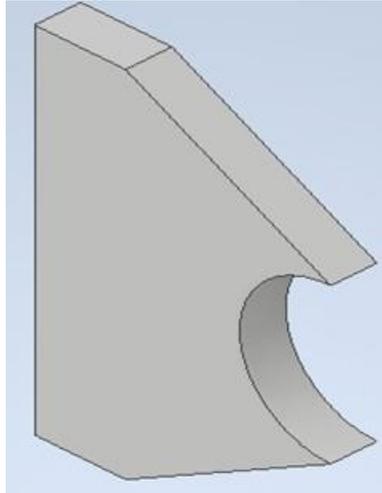


Fig. 3.10. Separador de pared

- Selección de contorno. Del modelo dibujado anteriormente se selecciona el contorno del separador de pared, para esto se utiliza el software CAD Autodesk PowerShape, esto servirá para definir el patrón de la trayectoria de maquinado (ver, Fig. 3.11).

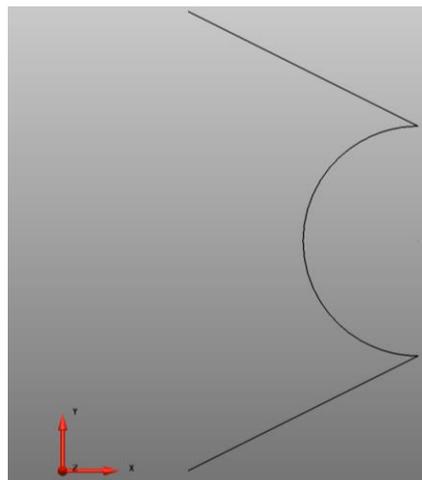


Fig. 3.11. Contorno del separador de pared

- Creación el programa de simulación del maquinado y código de programación, por lo tanto, con el patrón definido anteriormente, se define la trayectoria, la herramienta de corte, el bloque de materia prima, entre otras (ver, Fig. 3.12).

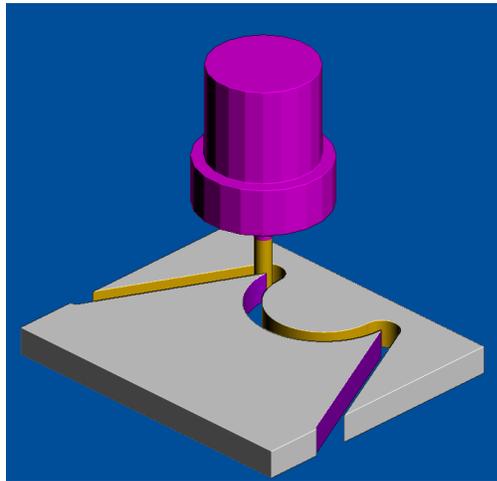


Fig. 3.12. Programa de simulación.

- Estrategia de sujeción. Una vez creado y simulado el código de programación, se selecciona la estrategia de sujeción de la materia prima, la estrategia utilizada simplifica el trabajo de maquinado puesto que permite colocar las piezas de materia prima sin tener que estar colocando la puesta a cero en cada pieza (ver, Fig. 3.13).



Fig. 3.13. Sujeción de la pieza.

- Realizar pruebas en el centro de maquinado CNC. Una vez definida la sujeción se realizan las pruebas en madera para verificar las dimensiones de la pieza y problemas en el desarrollo del maquinado (ver, Fig. 3.14).



Fig. 3.14. Pruebas del maquinado.

- Materia Prima. El bloque en el cual se realiza el maquinado de los separadores de pared tiene las dimensiones de 101.6 mm x 110 mm, y 12.7 mm de espesor, el material es acero AISI 1020. Por lo tanto, se realiza el corte del material utilizando la sierra alternativa
- Maquinado. El maquinado del separador de pared es más sencillo comparado con las 2 piezas anteriores, ya que solo implica un maquinado y una sujeción para realizarse, este se realizó utilizando una fresa plana de 6.35 mm (¼ pulg) de diámetro (ver, Fig. 3.15).



Fig. 3.15. Maquinado del separador de pared.

### 3.4. MAQUINADO DE LOS EJES DE TRANSMISIÓN

El cuarto componente a maquinar son los ejes de transmisión, serán 2 ejes, en la parte central la forma es hexagonal dado que allí se colocarán las 8 cuchillas de corte y los 8 separadores de cuchillas, cuyos extremos son circular para colocarse en las chumaceras. La barra hexagonal es de 25.4 mm (1 pulg) de diámetro inscrito y el largo es de 406.4 mm (16 pulg), son de acero AISI 1020.

Los ejes se han diseñado a manera que en un extremo se deben cilindrar 50.8 mm (2 pulg) y el otro se deben cilindrar (6 pulg), ya que en este último se colocaran los engranes y la manivela. Los ejes se han de maquinar en un torno paralelo.

El procedimiento de maquinado a seguir es el siguiente:

- Colocación de barra hexagonal en plato de mordazas. Se coloca la barra hexagonal en el plato de mordazas (ver, Fig. 3.16), luego se hace un refrentado en un extremo para tener una cara de referencia, a la vez que se hace con la broca de centros el agujero para colocar el contrapunto.



Fig. 3.16. Colocación de barra hexagonal en plato de mordazas.

- Cilindrado de un extremo. Los extremos de las barras se deben cilindrar con desbastes de 1 mm o menos hasta alcanzar los 20 mm de diámetro (ver, Fig. 3.17).



Fig. 3.17. Cilindrado de barra hexagonal.

- Ajuste de eje con chumacera. Al haber cilindrado el eje hasta los 20 mm de diámetro se hace el ajuste para que pueda entrar la chumacera, para esto se usa una lija cuando el eje se encuentra girando y lograr desbastes mínimos hasta lograr que entre libremente la chumacera en el eje (ver, Fig. 3.18).



Fig. 3.18. Ajuste de eje en chumacera

- Cilindrado del extremo restante y finalizado del eje. Para el cilindrado del extremo faltante se sigue el mismo procedimiento anterior hasta lograr los 20 mm de diámetro, luego se realiza el ajuste para que entre la chumacera y por último se hacen los acabados hasta terminar el maquinado (ver, Fig. 3.19).



Fig. 3.19. Eje finalizado

### 3.5. MAQUINADO DEL SOPORTE DE LA TRITURADORA

El quinto elemento a maquinar es el soporte de la trituradora (paredes), en total son 2 paredes guías de cuchillas de corte en las cuales se colocan los separadores de pared (laterales) y 2 paredes guías de ejes de transmisión (frontales) en las cuales se realizan los agujeros donde se colocan las chumaceras (ver, Fig. 3.20). El material necesario para realizar el maquinado de las cuatro paredes es una placa de acero de 35 x 70 cm y 8 mm de espesor

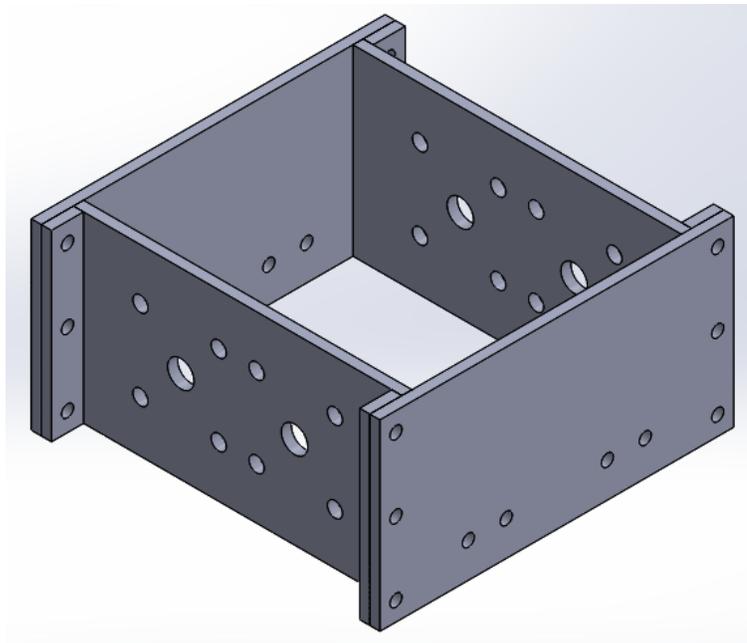


Fig. 3.20. Soporte de la trituradora.

El procedimiento de maquinado a seguir es el siguiente:

- Medir y marcar las dimensiones establecidas de cada pared del molino triturador en la placa de acero.
- Realizar el corte de cada pared del molino triturador mediante oxiacorte (ver, Fig. 3.21)

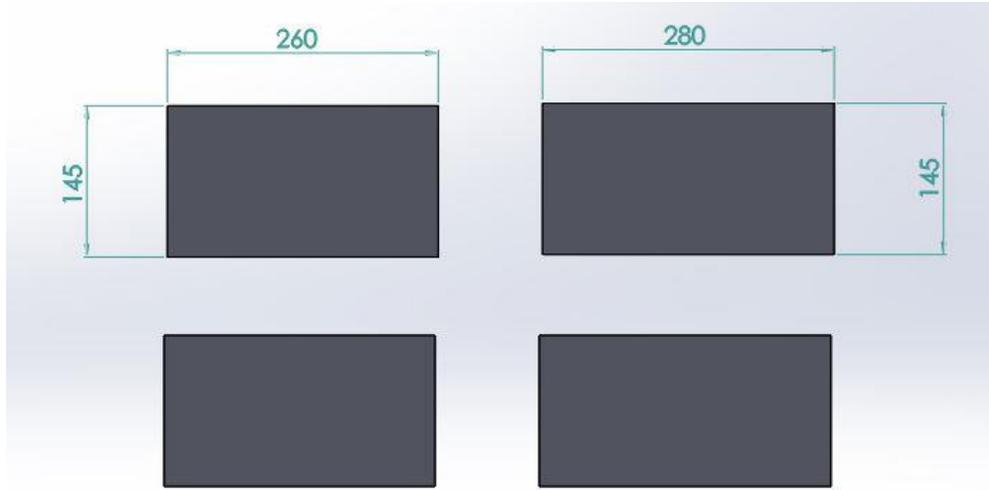


Fig. 3.21. Paredes del molino triturador.

- Fresar los bordes de cada pared del molino triturador para que estos se encuentren a escuadra.
- Comprobar que las medidas de cada pared del molino triturador son las deseadas.
- Perforar 6 agujeros en cada extremo de cada pared lateral y los 4 agujeros para las escuadras de sujeción (ver, Fig. 3.22)

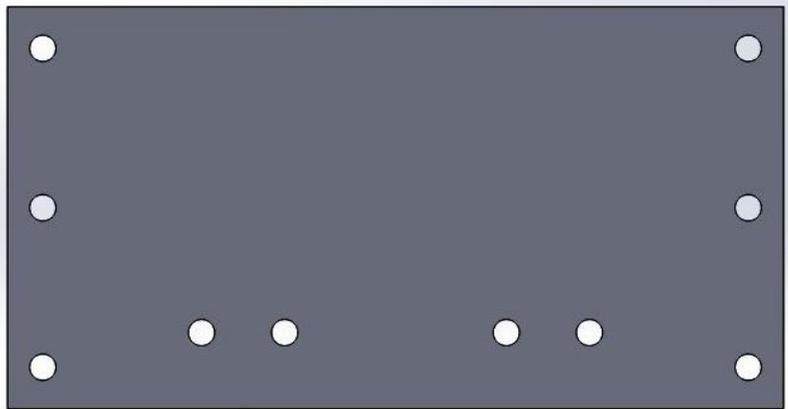


Fig. 3.22. Agujeros perforados en pared lateral

- Cortar 4 piezas de la placa de acero de 25.4 x 145 mm a las cuales se les deben hacer 3 agujeros a cada una (ver, Fig. 3.23).

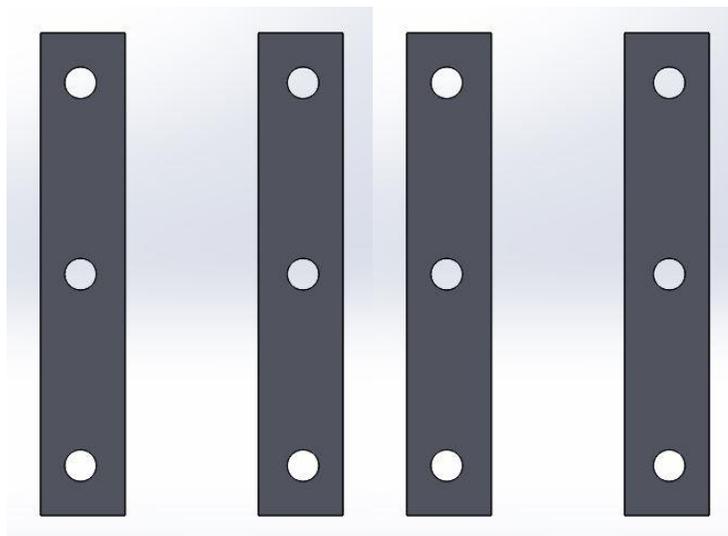


Fig. 3.23. Piezas perforadas.

- Soldar las 2 piezas perforadas en cada extremo de la pared delantera.
- Soldar las 2 piezas perforadas en cada extremo de la pared trasera.
- Perforar 2 agujeros medidos desde el centro de la pared de 20 mm de diámetro con una distancia entre centros de 90 mm tanto en la pared trasera como en la pared delantera (ver, Fig. 3.24)

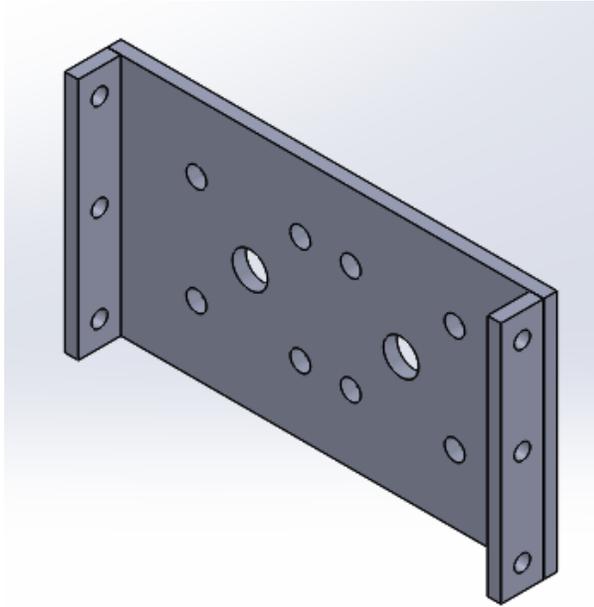


Fig. 3.24. Pared delantera / trasera finalizada.

- Medir a partir de los agujeros de 21 mm de diámetro los agujeros en los cuales se colocará la chumacera.
- Perforar los agujeros en los cuales se colocará la chumacera a los cuales se les debe roscar internamente.
- Repetir el proceso anterior para los demás agujeros donde se colocarán las chumaceras restantes.
- Remover cualquier tipo de rebaba producto de las perforaciones.
- Pintar cada pared con pintura anticorrosiva.
- Realizar el acabado final a cada pared del molino triturador.

### 3.6. FABRICACIÓN DE MANIVELA

El sexto elemento a fabricar es la manivela que es la encargada del movimiento de los ejes y gracias a esto se estaría realizando el corte del aluminio, la manivela se fabricara de una pieza de pletina de 6.35 mm ( $\frac{1}{4}$  pulg) de espesor

y 38.1 mm (1 ½ pulg) de ancho a la cual se le realizara un agujero con su respectivo chavetero para acoplarse en el eje (ver, Fig. 3.25)

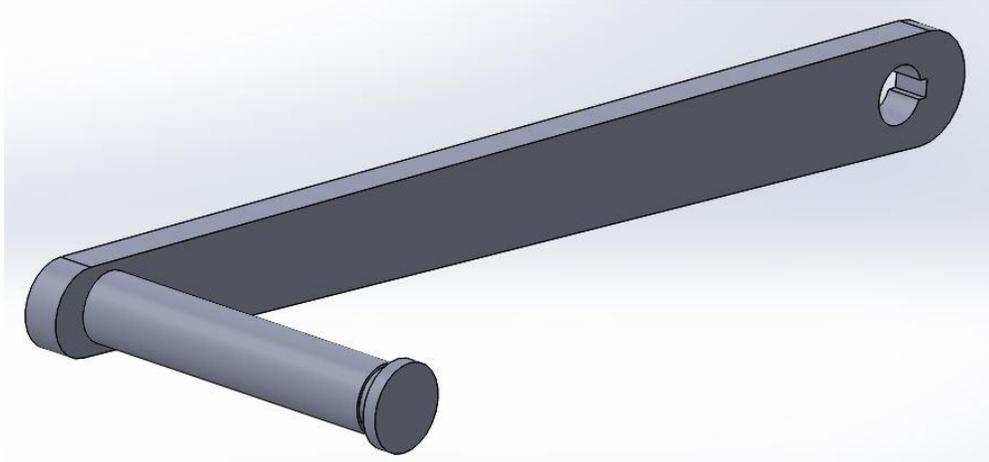


Fig. 3.25. Manivela.

El procedimiento de fabricación a seguir es el siguiente:

- Medir y marcar las dimensiones de la pieza de pletina de hierro dulce.
- Cortar la pletina y desbastar cada uno de los extremos para suavizarlos (ver, Fig. 3.26).



Fig. 3.26. Pieza con extremos desbastados.

- Perforar un agujero de 20 mm de diámetro.
- Realizar chavetero al agujero realizado anteriormente (ver, Fig. 3.27).



Fig. 3.27. Pieza con agujero y chavetero.

- Cortar una pieza de barra cilíndrica de 12 cm de largo.

- Soldar en un extremo de la pieza una barra cilíndrica que servirá como soporte para la girar la manivela. (ver, Fig. 3.28)

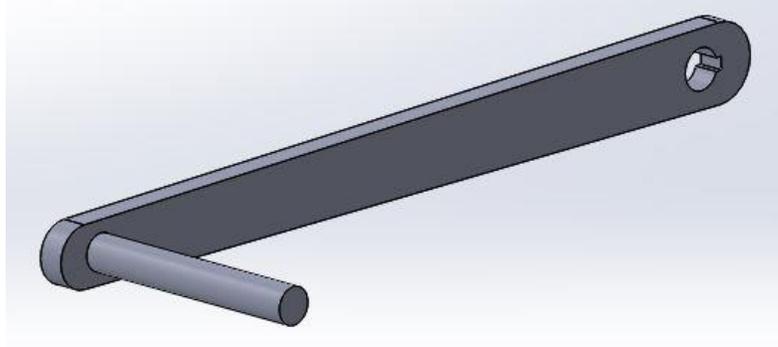


Fig. 3.28. Pieza con extremo soldado.

- Remover la escoria resultante de la soldadura.
- Insertar en la barra cilíndrica un tubo metálico de un diámetro levemente mayor para que permita el giro de la manivela fácilmente y colocar un tope en el extremo libre (ver, Fig. 3.29).

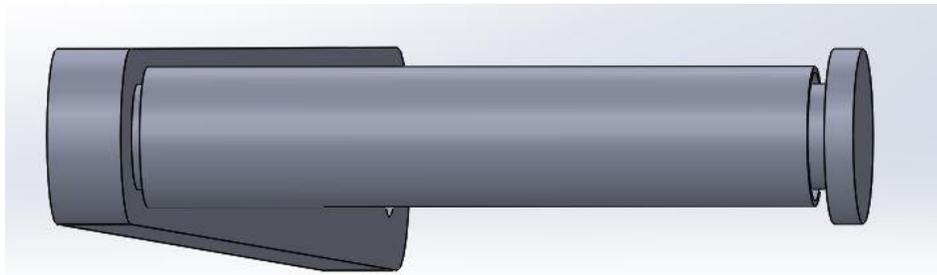


Fig. 3.29. Tubo metálico en extremo de manivela.

- Realizar los acabados finales y pintar la manivela.

### 3.7. FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA

El séptimo elemento a fabricar es la estructura metálica en la cual se colocará el molino triturador, la cual tiene una dimensión de 30 x 30 cm y una altura de 1 metro, la cual se realizará de tubo estructural cuadrado de 38.1 mm

(1 ½ pulg) chapa 14 (ver, Fig. 3.30). El material necesario para la fabricación son 2 piezas de 6 m de largo, las cuales se cortarán en las diferentes partes.

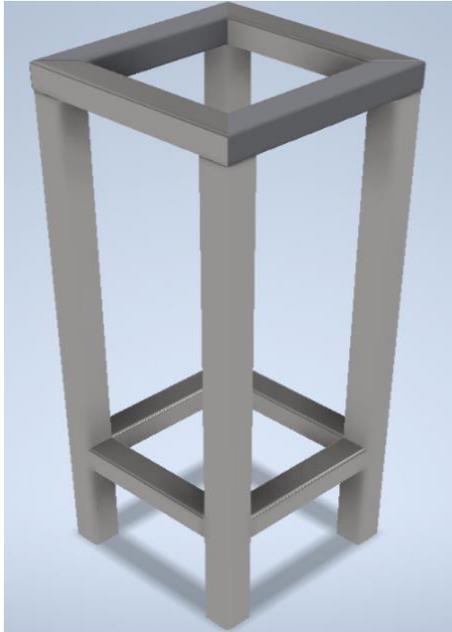


Fig. 3.30. Estructura metálica.

El proceso de fabricación a seguir es el siguiente:

- Medir, marcar y cortar las 4 piezas de soporte inferior de la estructura (ver, Fig. 3.31).

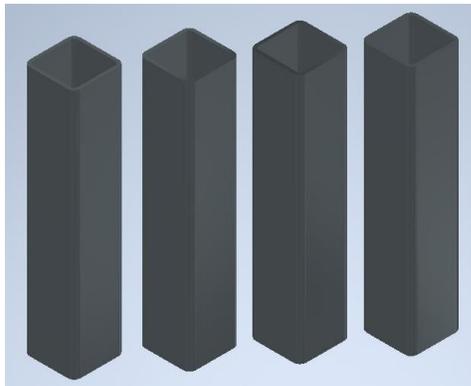


Fig. 3.31. Soportes inferiores.

- Medir, marcar y cortar las 4 piezas de soporte superior de la estructura, a los cuales sus extremos se deben cortar a 45 grados (ver, Fig. 3.32).

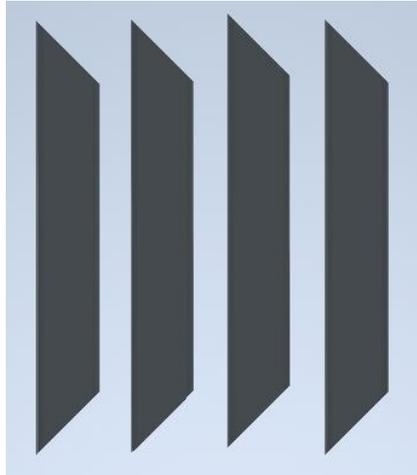


Fig. 3.32. Soportes superiores.

- Medir, marcar y cortar las 4 patas de la estructura (ver, Fig. 3.33).

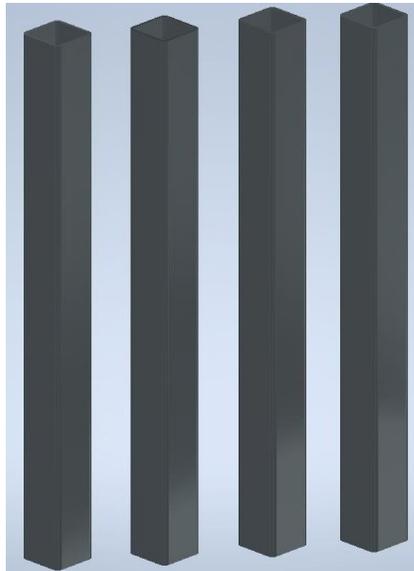


Fig. 3.33. Soportes principales.

- Preparar las zonas de cada pieza donde se aplicará la soldadura.
- Colocar las 4 piezas de soporte superior correctamente a escuadra para formar un cuadro.
- Aplicar los cordones de soldadura correspondientes para formar el soporte superior (ver, Fig. 3.34).

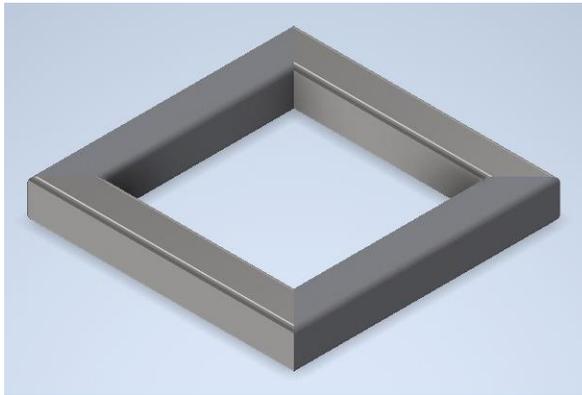


Fig. 3.34. Soporte superior armado.

- Retirar la escoria generada por los cordones de soldadura.
- Colocar cada pata de la estructura sobre el soporte superior armado.
- Aplicar pequeños puntos de soldadura para verificar que cada una de las patas se encuentra a escuadra.
- Una vez verificada la correcta alineación de cada pata y aplicar los respectivos cordones de soldadura (ver, Fig. 3.35).



Fig. 3.35. Soporte superior y patas de la estructura armadas.

- Retirar la escoria generada por los cordones de soldadura.

- Ubicar correctamente cada una de las piezas de soporte inferior a las patas de la estructura para lograr una mayor rigidez de la estructura.
- Aplicar pequeños puntos de soldadura para verificar que las piezas de soporte inferior se encuentran a escuadra.
- Una vez verificada la correcta alineación de las piezas de soporte inferior aplicar los respectivos cordones de soldadura (ver, Fig. 3.36).



Fig. 3.36. Soporte inferior armado.

- Retirar la escoria generada por los cordones de soldadura.
- Realizar el acabado final a los bordes de la estructura.
- Esmerilar los cordones de soldadura si es necesario.
- Aplicar pintura anticorrosiva para proteger la estructura.

### 3.8. FABRICACIÓN DE TOLVA

El último elemento a fabricar es la tolva la cual se colocará sobre el molino triturador para evitar el contacto directo con las cuchillas de corte, la cual tiene una dimensión de 230 x 260 cm y una altura de 30 cm, la cual se realizará en una lámina de hierro de 2 x 1 m y 0.9 mm de espesor (ver, Fig. 3.37).

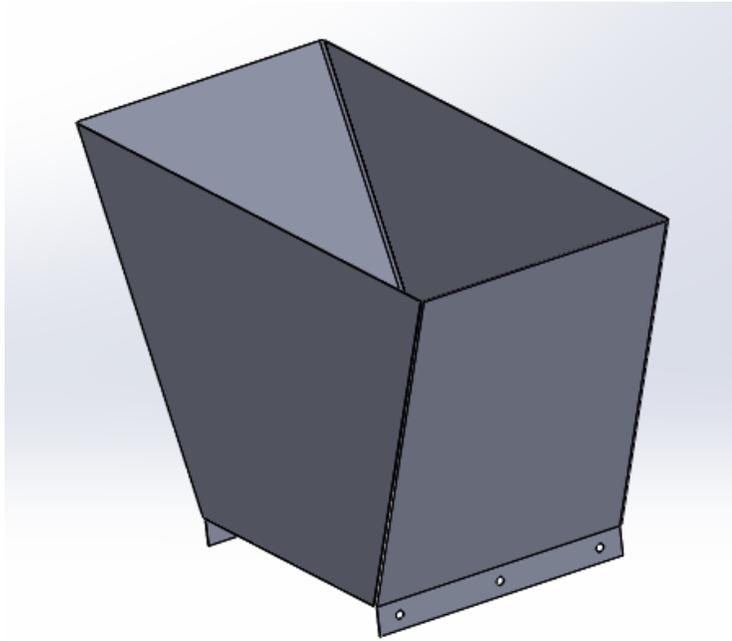


Fig. 3.37. Tolva del molino triturador.

El procedimiento de fabricación a seguir es el siguiente:

- Realizar los trazos de la tolva sobre la lámina de hierro
- Cortar la lámina de acuerdo a los trazos realizados. (ver, Fig. 3.38).

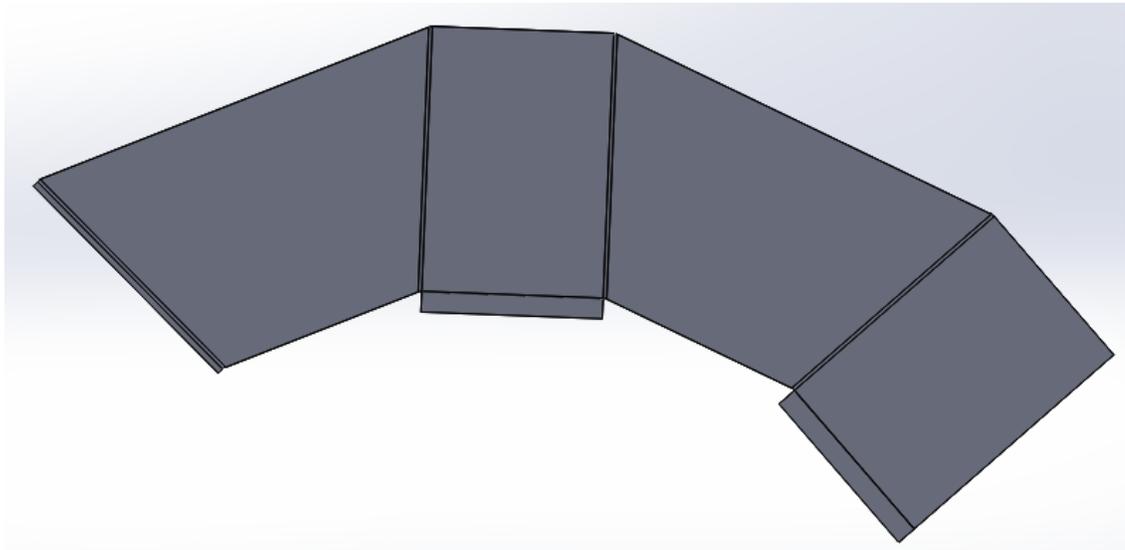


Fig. 3.38. Trazos para la realización de la tolva.

- Perforar 3 agujeros en cada pestaña inferior que servirán para sujetarse al soporte del molino triturador.
- Perforar los agujeros en la pestaña lateral que servirán para cerrar la tolva
- Realizar los dobleces de cada esquina en la maquina dobladora.
- Colocar los remaches para cerrar la forma de la tolva.

### **3.9. ENSAMBLE DE TODOS LOS ELEMENTOS MECÁNICOS**

Al finalizar el maquinado de cada uno de los componentes del molino triturador se tienen un total de 16 cuchillas de corte, 16 separadores de cuchilla, 16 separadores de pared, 2 ejes hexagonales, 4 soportes, estructura metálica, 4 chumaceras, 2 engranes rectos (los cuales se mandaron a fabricar) y una manivela (ver, Fig. 3.39).

Para la realización del ensamble se hace uso de diversas herramientas como lo es destornilladores, cubos métricos, soldador de arco eléctrico, llave inglesa, escuadras, regla, martillo, entre otras.

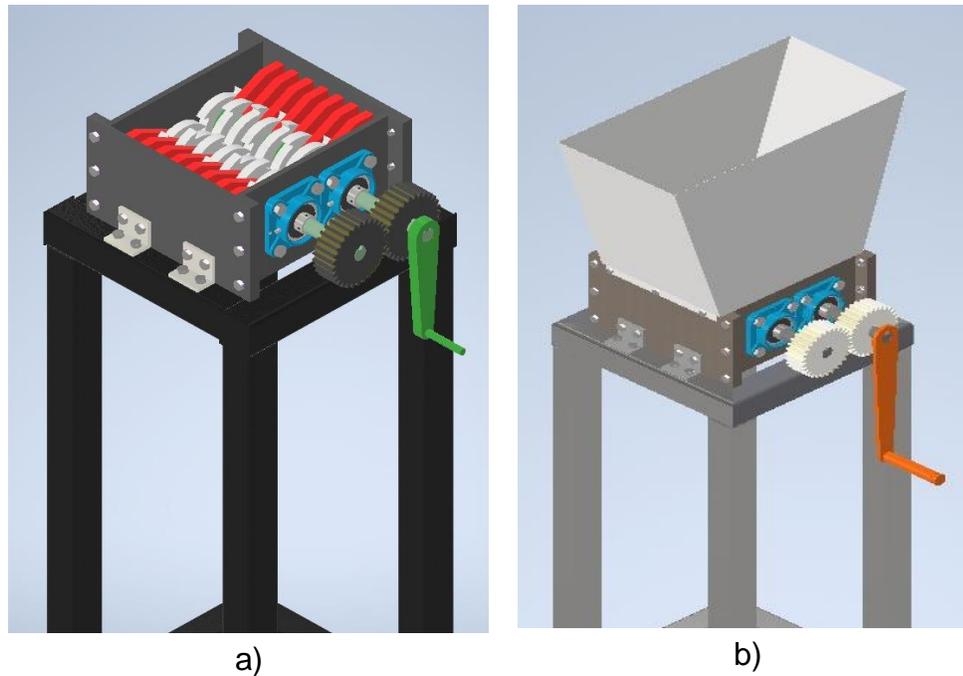


Fig. 3.39. Molino triturador ensamblado: a) molino triturador sin tolva, b) molino triturador con tolva.

El proceso de ensamble es el siguiente:

- Ensamblar el primer eje iniciando con la colocación de una cuchilla de corte y después un separador, después se repite el mismo proceso hasta colocar en el eje 8 cuchillas y 8 separadores (ver, Fig. 3.40).
- Ensamblar el segundo eje iniciando con la colocación de un separador y después una cuchilla de corte, después se repite el mismo proceso hasta colocar en el eje 8 cuchillas y 8 separadores (ver, Fig. 3.40).

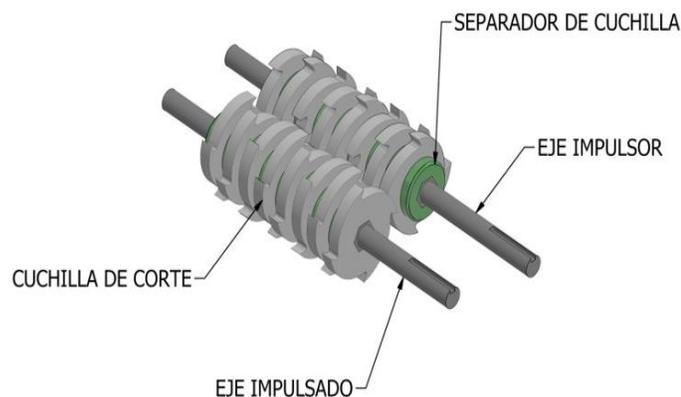


Fig. 3.40. Ejes de transmisión ensamblados.

- Colocar las 2 chumaceras en la pared trasera, ubicando cada una concéntrica con cada agujero que tiene la pared (ver, Fig. 3.41).
- Colocar las 2 chumaceras en la pared delantera, ubicando cada una concéntrica con cada agujero que tiene la pared (ver, Fig. 3.41).

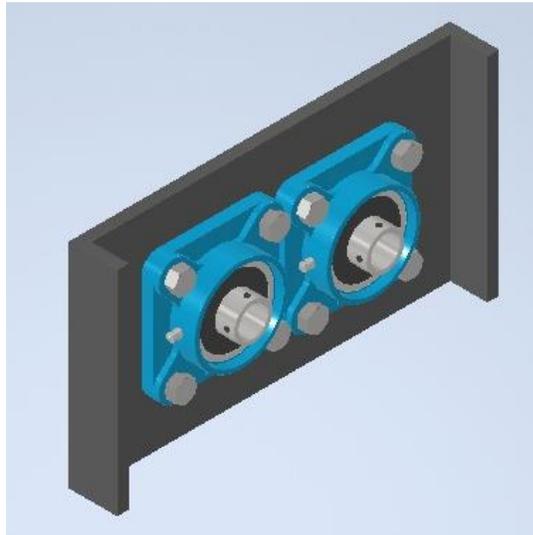


Fig. 3.41. Chumaceras colocadas en pared delantera/trasera.

- Introducir cada eje ensamblado en las chumaceras de la pared trasera y pared delantera (ver, Fig. 3.42).

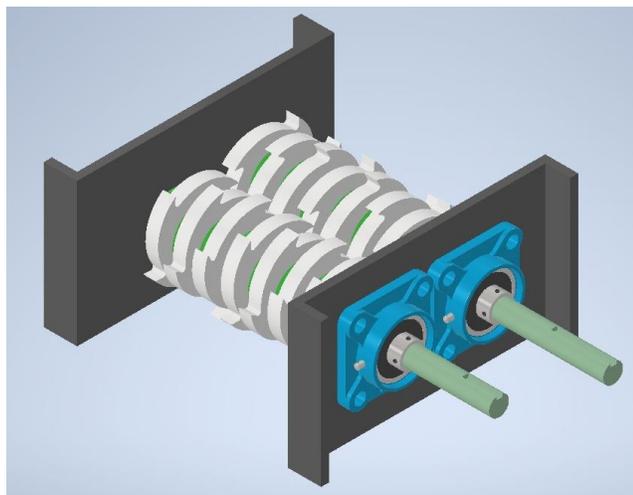


Fig. 3.42. Ejes colocados en chumaceras.

- Ya colocados y alineados los ejes se deben introducir los separadores de pared entre cada cuchilla de corte (ver, Fig. 3.43).

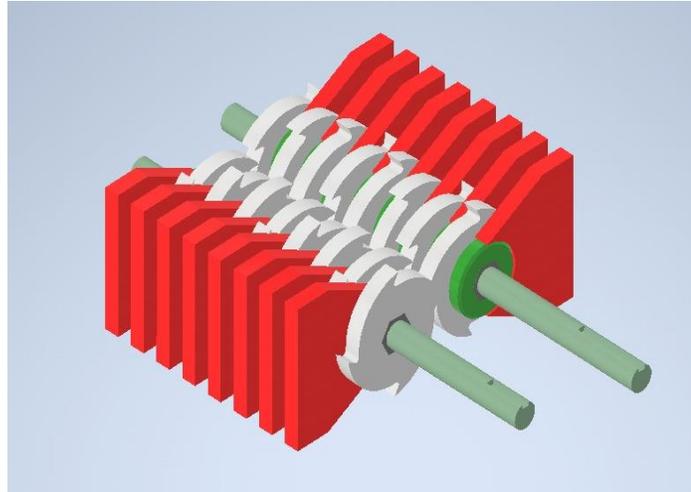


Fig. 3.43. Separadores de pared colocados en los ejes.

- Después de colocar los 16 separadores de pared (8 en cada pared lateral) se unen mediante pernos las 2 paredes laterales con las paredes traseras y delanteras (ver, Fig. 3.44).

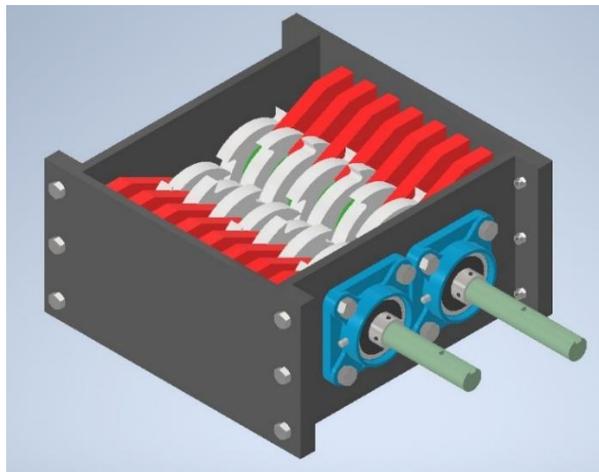


Fig. 3.44. Soporte del molino triturador ensamblado.

- Colocar cada engrane en los extremos correspondientes de cada eje.
- Introducir el cuñero en la ranura de cada eje.

- Colocar y asegurar la manivela en el extremo del eje (ver, Fig. 3.45).

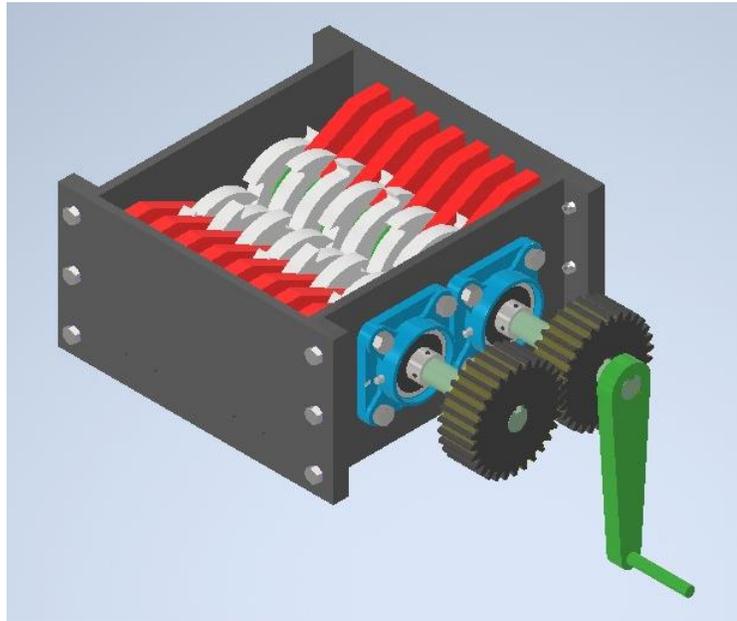


Fig. 3.45. Engranes y manivela ensamblados en molino triturador.

- Colocar todo el molino triturador sobre la estructura metálica.
- Colocar la tolva en el molino triturador y asegurarla con los pernos.
- Asegurar el molino triturador mediante la colocación de escuadras en sus paredes laterales, estas escuadras de sujeción se colocan en esa manera por la disposición de espacio, pues no tienen que interferir con el montaje y desmontaje del soporte del sistema triturador (ver, Fig. 3.46).

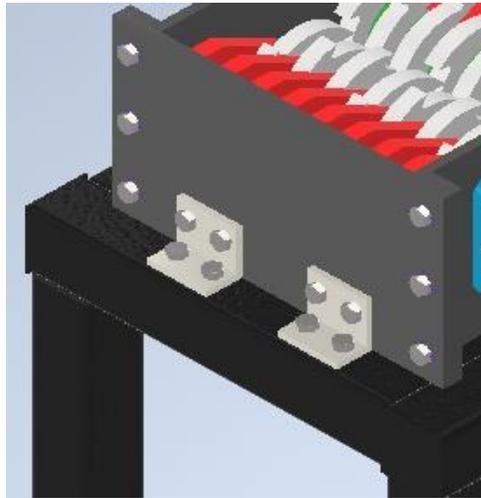


Fig. 3.46. Escuadras de sujeción.

### 3.10. PRUEBAS Y AJUSTES DE LA MÁQUINA

Terminado el ensamble de todos los componentes del molino triturador se deben realizar pruebas y ajustes para lograr el correcto funcionamiento de las piezas y corregir alguna posible falla.

Antes de poner a girar el molino triturador se debe introducir el aceite de rodamiento en la boquilla para aceite que tiene cada chumacera para evitar daños prematuros.

Algunas de las pruebas y ajustes que se pueden realizar son:

- Verificar que todas las piezas se encuentran sujetas adecuadamente.
- Verificar que el movimiento de cada eje sea el adecuado.
- Verificar que la separación entre cada cuchilla al encajar una con otra sea la adecuada para que puedan cortar.
- Verificar que la secuencia de corte en cada eje sea el mismo.
- Verificar que el filo en cada cuchilla sea el adecuado para el corte.

## **4. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO**

En este capítulo se realiza un análisis de los costos de todos los recursos empleados para construir un molino triturador de doble eje para latas de aluminio. Para realizar el análisis es preciso cotizar los precios de todos los componentes que se utilizarán en la construcción de la máquina. Las cotizaciones se obtuvieron de la forma más precisa posible.

### **4.1. COSTOS DEL PROYECTO**

A continuación, se presenta el conglomerado de tablas, el cual, especifica las piezas a conformar el molino triturador de doble eje para latas de aluminio, con su correspondiente valor monetario de su fabricación.

Es imperante que se consideren todas y cada una de las partes que componen la máquina, ya que así se puede establecer un valor total más exacto del costo que pueda tener la construcción completa del equipo, desde sus elementos de transmisión, pasando por aquellos puramente mecánicas, hasta llegar a lo más básico, es decir, soportes, estructuras, entre otros elementos.

Se dividirán en tablas los costos de materiales de fabricación y los costos de mano de obra, estas clasificadas de acuerdo a elementos y dependiendo a su naturaleza de acción, para esta máquina, se tendrán los elementos mecánicos y de corte, de transmisión y estructurales.

Los costos de materiales para la fabricación de los elementos de la maquina se presenta en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Costos de materiales para la fabricación de elementos mecánicos, de corte, elementos de transmisión, elementos estructurales y de soporte.

Elemento		Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Sistema triturador	Material para fabricación de cuchillas de corte (pletina de acero AISI 1020 de 4 pulg x 1/2 pulg x 180 cm de largo)	65.26	1	65.26
	Fresas cilíndricas de tungsteno, 4 filos, 3/16 pulg.	26.33	6	157.98
	Lija de agua #80	1.20/pulg	5	6.00
	Lija de agua #150	1.15/pulg	5	5.75
	Lija de agua #220	1.00/pulg	5	5.00
	Lija de agua #360	1.00/pulg	5	5.00
	Lija de agua #400	1.00/pulg	5	5.00
	Material para fabricación de caja cementante (lámina de hierro 1/16 pulg x 1x1 m)	20	1	20.00
	Material para tratamiento térmico de cementación (500 gr de carbón vegetal pulverizado)	1.10/lb	2	2.20
	Material para tratamiento térmico de cementación (200 gr de carbonato de bario)	4.5/kg	1	4.50
	Cilindro de Gas licuado de petróleo 35 libras	12.14	1	12.14
	Material para fabricación de separadores de cuchilla (platina de acero AISI 1020 de 4 pulg x 1/2 pulg x 1.30 m de largo)	47.46	1	47.46
	Eje hexagonal (AISI 1020, 1 pulg de diámetro por 16 pulg de largo)	33.50	2	67.00
	Cuñero ¼ pulg	3.5	2	7.00
Juego de engranes rectos (AISI 1020, 90 mm de diámetro, 34.5 mm de espesor y 30 dientes, incluye cuñero y prisionero)	119.99	1	119.99	
Mesa del molino triturador	Tubo estructural cuadrado 1.1/2 pulg chapa 14 x 6 metros de largo	13.96	2	27.92
	Electrodo para hierro dulce 3/32 pulg marca Lincoln E6013	2.35/lb	3	7.05
	Pintura anticorrosiva color gris marca protecto	7.65/gal	1	17.65

Continúa.

Continuación.- Tabla 4.1. Costos de materiales para la fabricación de elementos mecánicos, de corte, elementos de transmisión, elementos estructurales y de soporte.

Elemento		Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Soporte del sistema triturador	Cojinetes: Chumaceras de pared de 4 agujeros marca NBR UCFL204	8.65	4	34.60
	Pernos para unión de cojinetes: Pernos cabeza hexagonal 12x25 mm paso 125	0.60	16	9.60
	Tuercas para unión de cojinetes: Tuerca hexagonal rosca ordinaria milimétrica 12 mm	0.15	16	2.40
	Material para la fabricación de paredes guía de ejes de transmisión y paredes guía de cuchillas de corte (Hierro plano 1/2 x 6 pulg x 6 m de largo)	49.50	1	49.50
	Fresa para perfilar bordes para hierro dulce	25.00	1	25.00
	Perforación de agujeros para chumaceras (Broca para hierro 20 mm espiga 1/2 pulg HSS star)	13.50	1	13.50
	Pernos para unión de paredes (Pernos cabeza hexagonal 3/8 x 1.1/2 pulg )	0.30	12	3.60
	Perno para unión a estructura general (Perno hexagonal 3/8 x 1 pulg inoxidable rosca ordinaria)	0.50	16	8.00
	Tuercas para unión de paredes: Tuerca hexagonal rosca ordinaria 3/8 pulg	0.15	12	1.80
	Arandelas para unión de paredes y cojinetes: Arandela plana	0.20	28	5.60
	Material para fabricación de separadores de pared (platina de acero AISI 1020 de 4 pulg x 1/2 pulg x 2 m de largo)	72.38	1	72.38
	Electrodo para hierro dulce 3/32 pulg marca Lincoln E6013	2.35/lb	3	7.05
	Fresas cilíndricas de tungsteno, 4 filos, 1/4 pulg.	31.55	2	63.10
	Lámina de hierro, 0.9 mm de espesor por 2 x 1 m	17.70	1	17.70

Continúa.

Continuación.- Tabla 4.1. Costos de materiales para la fabricación de elementos mecánicos, de corte, elementos de transmisión, elementos estructurales y de soporte.

Elemento		Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Manivela de accionamiento del molino triturador	Pernos cabeza hexagonal, 6 x 20 mm	0.10	6	0.60
	Barra circular de hierro dulce de 15 mm de diámetro	1	10	10.00
	Tubo de hierro dulce de 20 mm de diámetro	a	10	10.00
	Material para fabricación de palanca de manivela (platina de hierro dulce de 1.1/2 pulg x 1/4 pulg x 30 cm de largo)	15	1	15.00
	Cuñero de ¼ de pulg	1	3.5	3.50
	Pletina de hierro dulce de 3 mm de espesor	3.5	1	3.50
	Total			932.33

En la Tabla 4.2 se presenta una estimación de los costos de mano de obra para la fabricación de los elementos principales del molino triturador, estos costos unitarios se calculan al obtener el tiempo del ciclo de trabajo para obtener la pieza multiplicado por el salario/hora del operario. Sin embargo también se tiene que recurrir a la experiencia propia pues se considera que el operario no mantiene un ritmo constante de producción, sino que se cansa hacia el final de cada turno, también hay que incluir la tolerancia requerida para que el operador atienda periódicamente sus necesidades naturales, y además deberá tenerse en cuenta la tolerancia para que la máquina se ajuste de vez en cuando, por razón de desgaste de las herramientas, o por el daño al herramental que sea preciso corregir.

Se considera un salario de \$800 mensuales para el operario a cargo de la fabricación de los elementos, considerando que trabaja de lunes a viernes y en una jornada de 8 horas, el salario por hora correspondiente es de \$3.33. Se duplica el costo total de mano de obra porque se consideran dos operarios a cargo de la fabricación de los elementos mecánicos.

Tabla 4.2. Costos de mano de obra.

Elemento		Tiempo de operación, horas	Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Cuchillas de corte	Diseño de Ingeniería (calcular condiciones de corte, documentar instrucciones, generar programas CNC, especificar operaciones y recursos)	8	26.64	1	26.64
	Maquinado y tratamiento térmico	1.5	5	16	80
Separadores de pared	Diseño de Ingeniería	6	19.98	1	19.98
	Maquinado	1	3.33	16	53.28
Separadores de cuchilla	Diseño de Ingeniería	5	16.65	1	16.65
	Maquinado	1	3.33	16	53.28
Ejes de transmisión	Maquinado	2	6.66	4	26.64
Soporte de la trituradora	Maquinado	3	9.99	4	39.96
Manivela	Fabricación	4	13.32	1	13.32
Estructura metálica	Fabricación	8	26.64	1	26.64
Tolva	Fabricación	4	13.32	1	13.32
Ensamble de los elementos	Ensamble, actividades de pintura, pruebas finales y ajustes.	8	26.64	1	26.64
				<b>Total</b>	<b>396.35</b>

En la Tabla 4.3 se presenta los costos indirectos, estos incluyen el costo por el consumo mensual de electricidad (electricidad de las máquinas, de las lámparas, ventilador/extractor del taller, entre otras), también incluye la depreciación de las máquinas, depreciación de las herramientas y otros gastos como papelería, herramientas menores, artículos de limpieza y seguridad.

Existieron otros elementos que se consideran como extra y son parte en su mayoría del mantenimiento de las máquinas herramientas a utilizar para el maquinado de las piezas, estos costos surgen en el camino como parte del proceso de fabricación de piezas tales como las cuchillas de corte, separadores en ejes y de pared y ejes portadores de cuchillas. Entre esos elementos se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.3. Costos indirectos.

Elemento	Costo total, \$
Electricidad	80
Depreciación de las máquinas	120
Depreciación de las herramientas	50
Otros gastos	25
<b>Total</b>	<b>275</b>

Tabla 4.4. Costos extras para fabricación de piezas.

Elemento	Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Mantenimiento de sierra alternativa (Barra para fabricación de tornillo sujetador de prensa acero AISI 01 Amutit red 5/8 pulg x 8 pulg de largo)	5.54	1	5.54
Mantenimiento centro de mecanizado CNC (Aceite soluble)	29.30/gal	2	58.60
Mantenimiento centro de mecanizado CNC (batería marca radio shack para movilidad de ejes)	3.99	4	15.96
Corte de material en sierra alternativa (hoja de sierra marca ultra major 450 x 32 x 1.6 mm)	25	1	25
Aceite para introducir las piezas fabricadas y evitar corrosión de las mismas.	30	1	30
<b>Total</b>			<b>135.10</b>

En la Tabla 4.5 se presenta un resumen con los costos totales de fabricación clasificados en materiales, costos de mano de obra y costos extra.

Tabla 4.5. Costos totales de fabricación por tipo de elemento.

Descripción del texto	Costo total, \$
Costos de materiales	932.33
Costos de mano de obra	792.70
Costos Indirectos	275.00
Costos extras para fabricación de piezas	135.10
<b>Costo total de la máquina</b>	<b>2,135.13</b>

El costo total para la fabricación del molino triturador es de \$ 2,135.13, tomando en consideración tanto material, mano de obra, costos indirectos y gastos imprevistos.

## **5. DISEÑO DE LOS MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

En los capítulos anteriores se realizó el diseño de los elementos esenciales de la máquina, se estableció un proceso de construcción y se determinaron los costos de fabricación. Ahora es momento de proponer el diseño de los manuales de operación y mantenimiento del molino triturador.

Este apartado conlleva un desafío pues busca diseñar un manual de mantenimiento y uno de operaciones de la manera más sencilla, visual y amigable posible para despertar el interés y nutrir el conocimiento de los estudiantes.

### **5.1. DISEÑO DEL MANUAL DE OPERACIÓN**

El objetivo principal es diseñar un molino triturador para uso didáctico, al ser entonces un equipo que estará a la disposición de estudiantes, se pretende diseñar un manual de procedimientos para la operación adecuada del mismo.

El manual de operaciones es una guía de referencia que contiene toda la información sobre el funcionamiento del molino triturador.

#### **5.1.1. OBJETIVO**

Proveer un procedimiento que establezca el conjunto de actividades que permitan a los operadores de la máquina, operarla de una manera sistemática y eficiente.

### **5.1.2. RESPONSABILIDADES**

Las responsabilidades de un manual de operaciones para una máquina que estará a disposición de los estudiantes conllevan el objetivo de establecer el conjunto de actividades que reduzca el riesgo de operarla, a continuación, se presentan las principales responsabilidades que se deben de tomar en cuenta al momento de elaborarlo:

- Identificar los procedimientos de operación. Con base en ellos se deberán separar las actividades que se realizan y se les dará una secuencia.
- Redactar de la forma más sencilla y clara.
- Integrar toda información que directamente está ligada a la operación de la máquina, por ejemplo, equipo de seguridad necesario, entre otra.
- El manual puede ser tan detallado como se quiera. Hay que tener en cuenta que, si es lo más específico posible, no se dará pauta alguna a la duda.
- Actualizar constantemente la información, pues al ser considerado un documento vivo este sujeto a modificaciones.

### **5.1.3. CONTENIDO**

El contenido propuesto del manual de operaciones es el siguiente:

- Introducción: Una breve sección que indica el propósito principal del manual.
- Normas de seguridad: Este apartado incluye el análisis de los peligros que se tiene al operar la máquina, estos pueden ser del tipo mecánico, eléctrico, térmico, radiaciones, vibraciones, higiénico, biológicos o defectos ergonómicos. Posteriormente la valoración del riesgo, y la selección de medidas de seguridad.
- Pictogramas: La función principal de los pictogramas es llamar la atención sobre el daño que el mal uso puede provocar a la salud de los operadores.

- Descripción técnica de los elementos principales: Se sugiere utilizar una tabla y desarrollarla de forma en que se describan los elementos esenciales de la máquina a medida se cumple el ciclo de trabajo de la misma. Se debe de hacer de forma concisa y clara, pues su objetivo es que el operador conozca los elementos principales del proceso.
- Procedimientos y lista de verificación previos a la puesta en servicio: Comprende un protocolo cuya finalidad es que se asegure lo máximo posible el correcto funcionamiento de la máquina.
- Accionamiento de la máquina: Descripción de pasos para iniciar el funcionamiento de la máquina posteriormente de la verificación de su estado.
- Parada de la máquina: Pasos para detener el funcionamiento de la máquina de manera correcta.
- Limpieza e Inspección final: Consta de los pasos que se deben seguir cuando la máquina se encuentra en paro total y lista para terminar su jornada de uso.
- Disposiciones finales: Por lo general este apartado se usa para poner recomendaciones sobre el uso de la máquina que no estén contempladas en las indicaciones anteriores.

## **5.2. DISEÑO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Una manual de mantenimiento es aquel que describe las normas y procedimientos que se utilizan para efectuar la función de mantenimiento. Estos manuales tienen procesos básicos como la planeación, la organización, la ejecución y el control de actividades.

### **5.2.1. OBJETIVOS**

Proporcionar un protocolo que brinde la oportunidad de centrar nuestra atención en la periodicidad de actividades que se deben ejecutar, para garantizar la mantenibilidad del equipo.

### **5.2.2. RESPONSABILIDADES**

Las responsabilidades de un manual de mantenimiento contienen la magnitud de dichas acciones con el objetivo de proveer al encargado de desarrollar las tareas de mantenimiento un protocolo conforme a la máquina, a continuación, se presentan dichas responsabilidades a tomar en cuenta:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre la máquina.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para los operadores.
- Conservar la máquina en condiciones seguras y en óptimo funcionamiento.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de la máquina.
- Llevar a cabo una inspección sistemática, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier desgaste en los elementos de la máquina.

### **5.2.3. CONTENIDO**

El contenido propuesto del manual de mantenimiento es el siguiente:

- Introducción: Una breve sección que indique el propósito principal del manual.
- Beneficio del mantenimiento: Presenta los resultados positivos de realizar un mantenimiento efectivo.

- Rutinas de mantenimiento: Consiste en la inspección periódica y armónicamente coordinada, de los elementos propensos a fallas y a la corrección antes de que esto ocurra.
- Programa de mantenimiento: Es uno de los puntos más importantes pues se reduce a ser el elemento en un modelo de gestión, es el responsable de que se lleve un control de una serie de tareas que de manera planeada y programada se realicen en una frecuencia determinada.
- Estrategias de mantenimiento: Constituyen instructivos y formatos que ayudan a llevar un control administrativo del programa de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

Finalizado el presente trabajo de graduación sobre el diseño de un molino triturador para uso didáctico se puede concluir lo siguiente:

- Que se diseñó un molino triturador de doble eje compuesto cada uno de 8 cuchillas de corte, material acero AISI 1020 con tratamiento térmico de cementación, estos impulsados por una transmisión de potencia por medio de engranes rectos.
- Que el costo total para la fabricación de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico es de \$ 2,135.13 tomando en consideración materiales, mano de obra, costos indirectos, gastos imprevistos, y tiempos de fabricación.
- Que la rentabilidad del equipo no es medible económicamente ya que ha sido desarrollado para usos didácticos sin fines de lucro, más bien se encuentra relacionado con el beneficio académico que se espera lograr al ser implementado dentro de los equipos disponibles del taller mecánico para las prácticas de laboratorio.
- Que se estableció un proceso de maquinado CNC para los elementos más críticos del molino triturador por su geometría y precisión en sus dimensiones como lo son las cuchillas de corte, los separadores de cuchilla y los separadores de pared.
- Que se presentó la metodología para diseñar los manuales de mantenimiento y operación, pues al tratarse de un equipo para uso didáctico estos deben servir como orientación a los estudiantes bajo el funcionamiento de la máquina como también al momento de realizarle su mantenimiento.

## REFERENCIAS

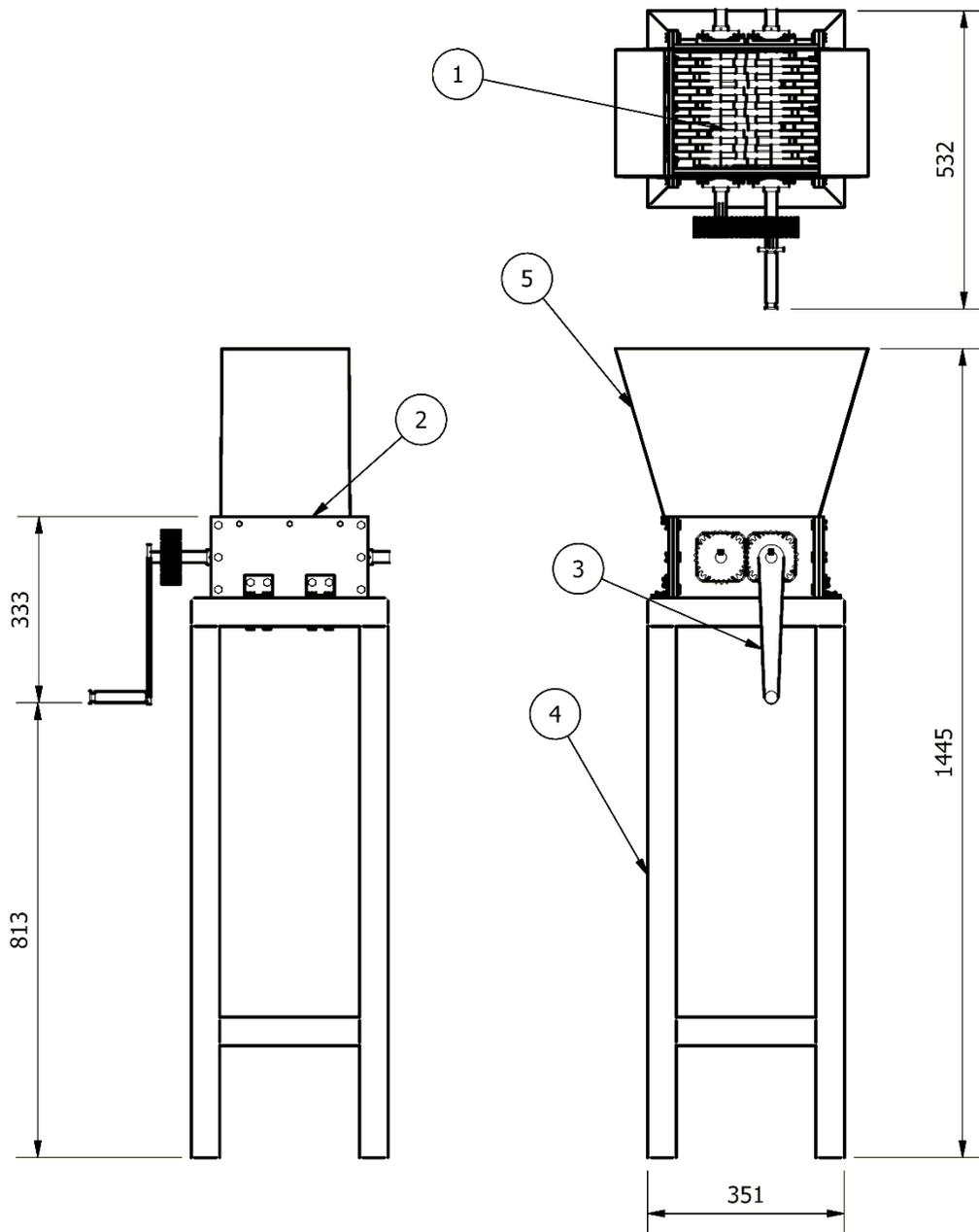
- [1] Enciclopedia Cubana. (2012). *"La trituración"*. Cuba: Instituto de Información Científica y Tecnológica.
- [2] Franco Soriano, J. D., & Márquez Gómez, J. J. (2018). *Antecedentes de las Trituradoras*. Puebla: Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, División de Ingeniería Mecánica.
- [3] Velásquez, A. M. (2014). *Implementación del elemento de prevención de fatalidades de etiquetado y bloqueo en equipos de plantas de producción de agregados*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- [4] Yepes, V. (2014). *El Blog de Víctor Yepes*. Recuperado el 2019, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/08/04/trituradora-de-cono/>.
- [5] Portalanza, L., & Rodríguez, E. (2013). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de restos alimenticios y farmacéuticos*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército.
- [6] Taza Ordóñez, B. (2014). *Procesamiento de minerales*. Huancayo: Departamento de Química, Ingeniería y Tecnología, Universidad Nacional de Perú.
- [7] Liezen, M. (2007). *Técnicas de trituración*. Austria: Maschinenfabrik Liezen und Gießerei Ges.m.b.H.
- [8] Direct Industry. (2019). *Catálogo de productos, machacadora de cono*. Recuperado el 2019, de <http://www.directindustry.es/prod/flsmidth-dorr-oliver-eimco/product-62016-1488731.html>.
- [9] García, A. (2016). *Diseño de máquina trituradora de áridos de impacto*. Cantabria: Escuela Técnica superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- [10] Shibang Machinery. (2019). *HST Trituradora de cono hidráulica de cilindro simple*. Recuperado el 2019, de <https://es.sbmchina.com/products/hst.html>.
- [11] Maquinaria Industrial Cabrera S.A. DE C.V. (2017). Catálogo de reciclaje INCYCLE. *Maquinaria Industrial*, 5-6.
- [12] Interempresas. (2010). *Canales Sectoriales Interempresas*. Recuperado el 2019, de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/42819-Trituracion-y-reciclaje-de-plasticos.html>.
- [13] Gaitán Hernández, D. F. (2018). *Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplasr S.A.S.*

- Bogotá, Colombia: Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad Libre, Facultad de Ingeniería.
- [14] Freire Cárdenas, L. M., & González Mosquera, C. J. (2013). *Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET*. Riobamba, Ecuador: Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [15] Durán Martín, A. (2004). *Informe general sobre trituración en la industria de inyección de plásticos*. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos>.
- [16] ISVE Recycling. (2010). *Máquinas para trituración*. Obtenido de <https://www.isverecycling.com/es/>.
- [17] Comercial Maquinaria y Bienes de Equipo SL. (2019). *Maquinaria industrial*. Obtenido de <http://www.cmbe.es/>.
- [18] QuimiNet. (14 de Octubre de 2011). *"El uso de molinos de cuchillas en el reciclaje"*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-molinos-de-cuchillas-en-el-reciclaje-de-plastico-2588566.html>.
- [19] A.V. check (2019). *Productos industriales-trituradora*. Recuperado el Mayo de 2019, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/two-shaft-shredder-m350-2-2-4-0-kw-erdwich-50032940482.html>.
- [20] Universidad de Galicia (2014). *Sistemas de transmisión*. Obtenido de [https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43\\_engranajes.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html).
- [21] Torres, M. (2014). *Mecanismos de engranes*. Obtenido de [https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43\\_engranajes.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html).
- [22] Mecafenix. (2019). *Enciclopedia de la Ingeniería*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/mecanica/tipos-de-engrane/>.
- [23] Vladimir V. (2019). *Trabajo de investigación sobre ejes de transmisión*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/109991974/Trabajo-de-Investigacion-Sobre-Ejes-de-Transmision-Docx1>.
- [24] GGB bearings. (2019). *Cojinetes*. Obtenido de <https://www.ggbearings.com/es/cojinetes>.
- [25] Iza Carrillo, E. V. (2017). *Diseño y construcción de máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa carrocerías "IBIMCO S.A."*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

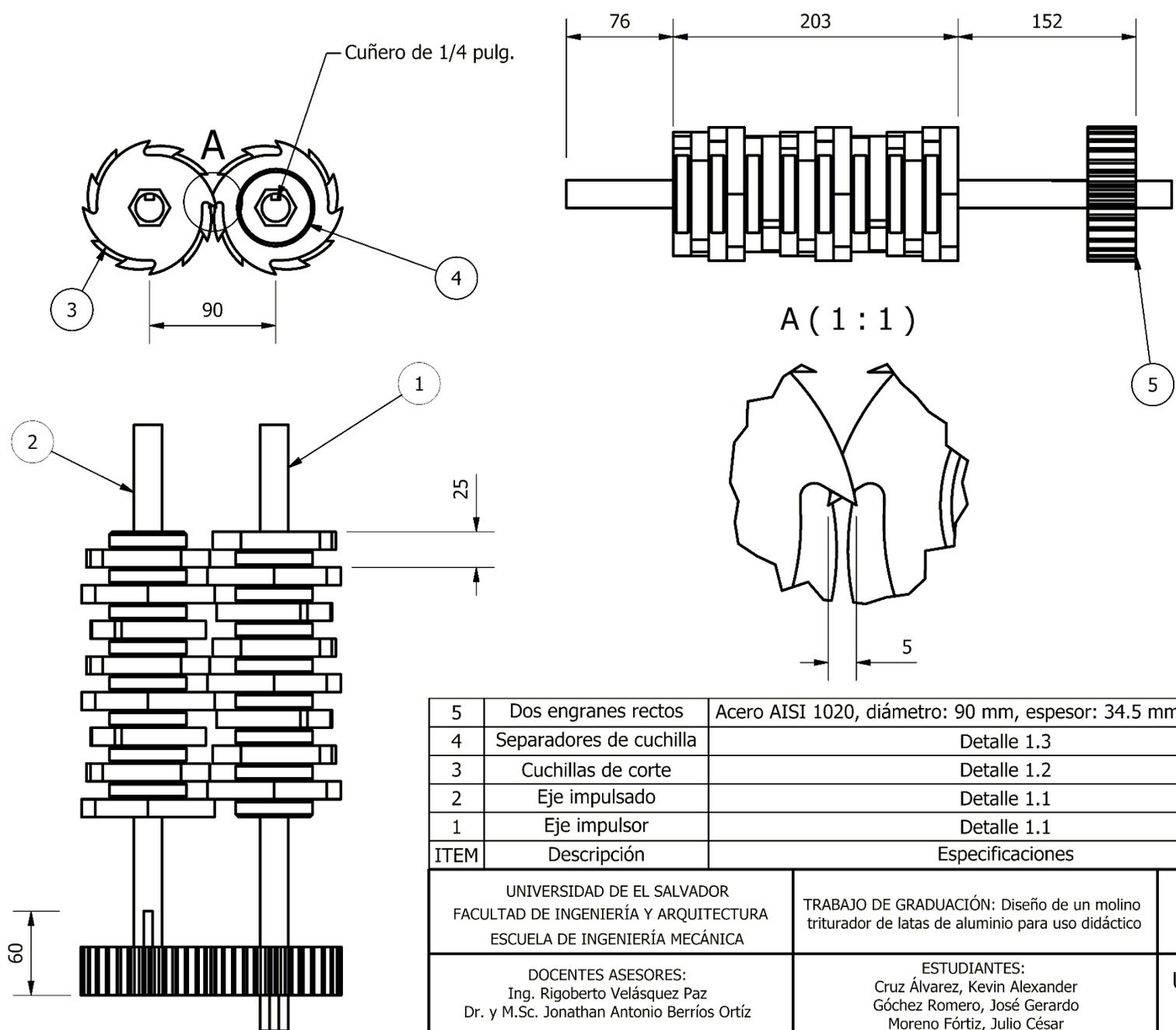
- [26] Sarmiento Sarmiento, E. (1979). *Cálculo y diseño de una cizalla mecánica compacta con capacidad para cortar planchas de acero hasta 3 mm de espesor x 1.25 m de longitud*. Lima: Universidad nacional de ingeniería de Perú.
- [27] Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- [28] Uicker, J.J., & Shigley, J.E. (1988). *Teoría de máquinas y mecanismos*. México: McGraw-Hill/Interamericana de México S.A. de C.V
- [29] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. DE C.V.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A: PLANOS DE FABRICACIÓN**

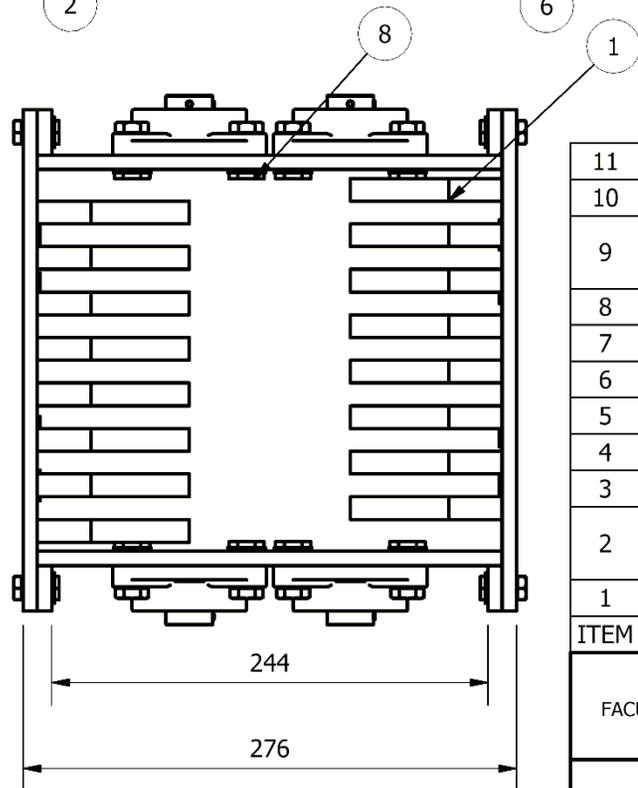
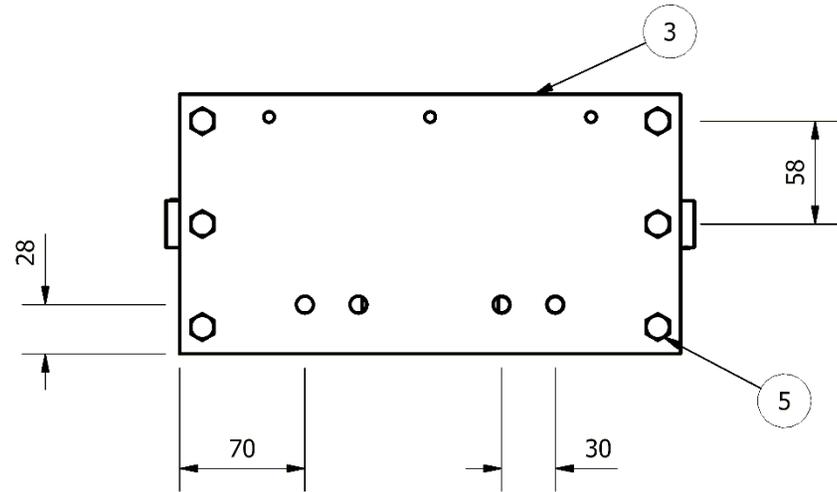
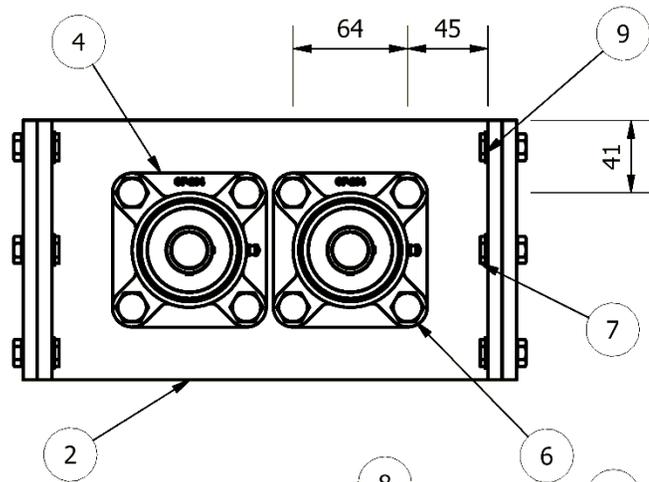


5	Tolva	Detalle 5
4	Mesa del molino triturador	Detalle 4
3	Manivela de accionamiento del molino triturador	Subconjunto 3
2	Soporte del sistema triturador	Subconjunto 2
1	Sistema triturador	Subconjunto 1
ITEM	Descripción	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César
Nº PLANO: Plano A1	FECHA: Agosto de 2020	Conjunto A1: Molino triturador
		ESCALA 1:10.5
		UNIDADES: milímetros



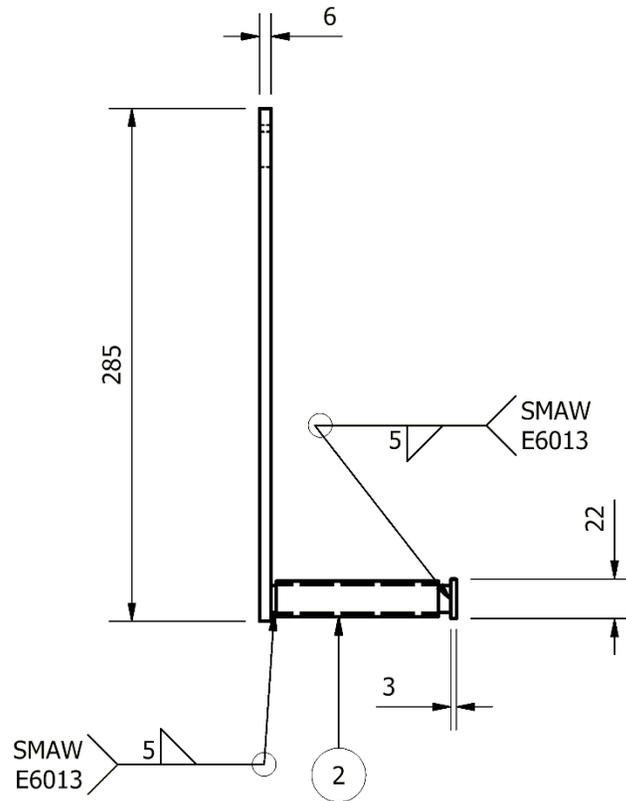
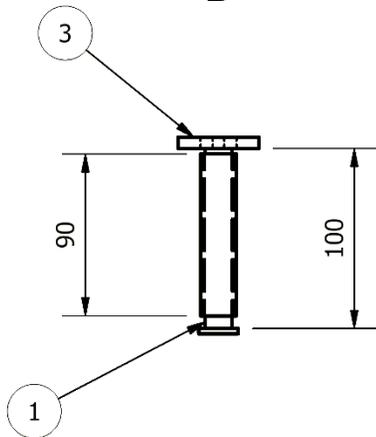
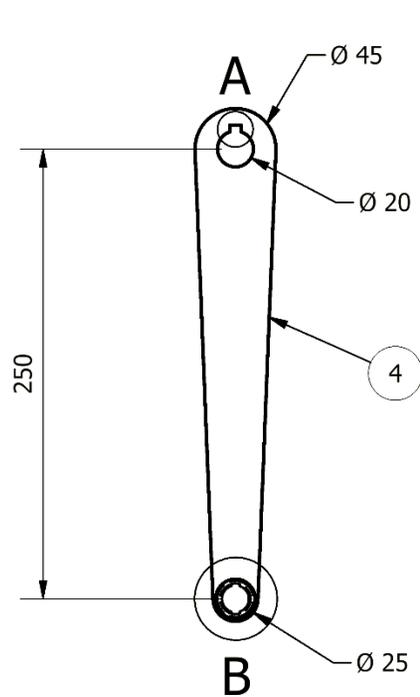
5	Dos engranes rectos	Acero AISI 1020, diámetro: 90 mm, espesor: 34.5 mm y 30 dientes.
4	Separadores de cuchilla	Detalle 1.3
3	Cuchillas de corte	Detalle 1.2
2	Eje impulsado	Detalle 1.1
1	Eje impulsor	Detalle 1.1
ITEM	Descripción	Especificaciones

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:4
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano B1	FECHA: Agosto de 2020	Subconjunto 1: Sistema triturador	

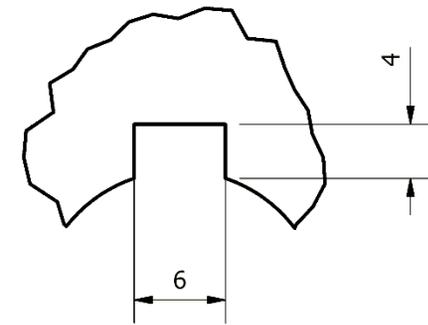


11	6	Tuercas para sujeción de tolva	Tuerca hexagonal, rosca milimétrica 6mm
10	6	Pernos para sujeción de tolva	Perno cabeza hexagonal 6 x 20 mm, paso 1.25
9	34	Arandelas para unión de paredes y cojinetes	Arandelas planas
8	16	Tuercas para unión de cojinetes	Tuerca hexagonal, rosca milimétrica 12 mm
7	12	Tuercas para unión de paredes	Tuerca hexagonal, rosca ordinaria 3/8 pulg
6	16	Pernos para unión de cojinetes	Pernos cabeza hexagonal 12 x 25 mm paso 125
5	12	Pernos para unión de paredes	Pernos cabeza hexagonal 3/8 x 1 1/2 pulg
4	4	Cojinetes	Chumaceras de pared de 4 agujeros UCF 204
3	2	Pared guía de cuchillas de corte	Detalle 2.3
2	2	Pared guía de ejes de transmisión	Detalle 2.2
1	16	Separadores de pared	Detalle 2.1
ITEM	Cantidad	Descripción	Especificaciones

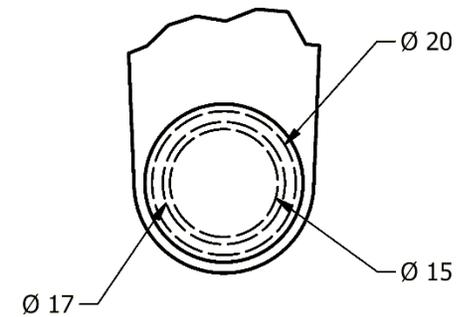
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:4
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano B2	FECHA: Agosto de 2020	Subconjunto 2: Soporte del sistema triturador	



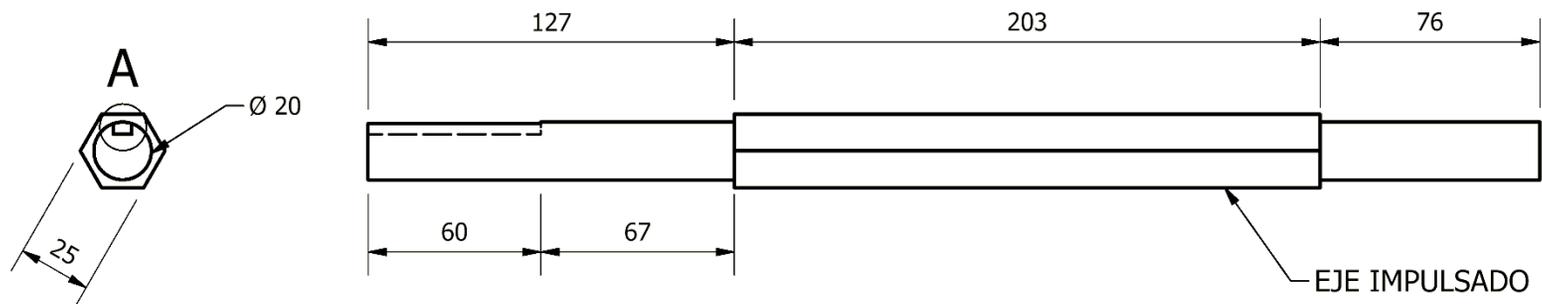
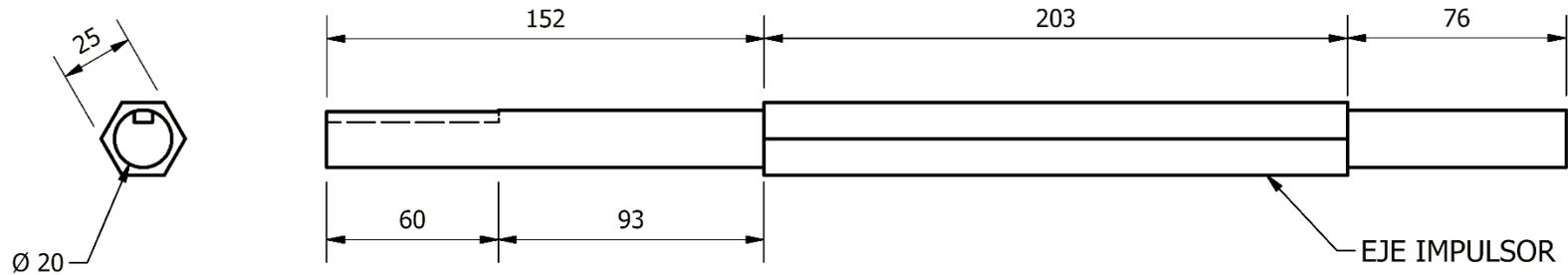
A (2:1)



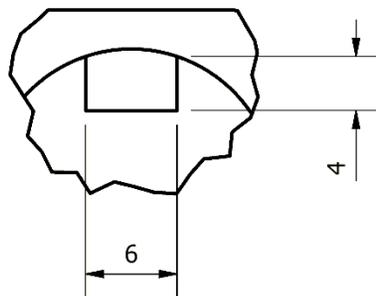
B (1:1)



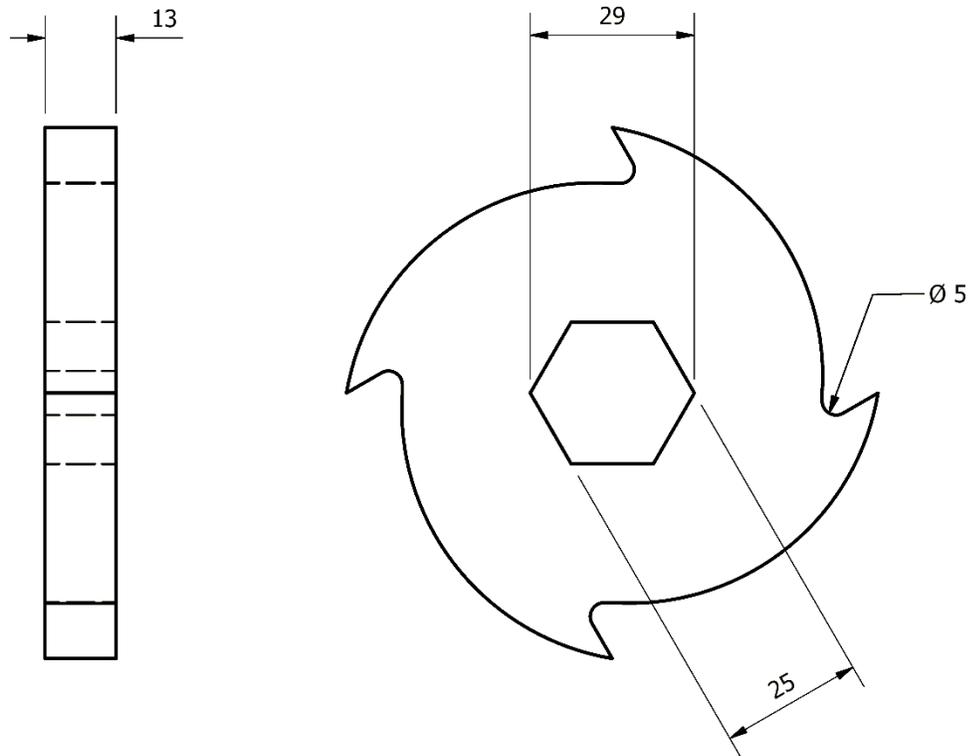
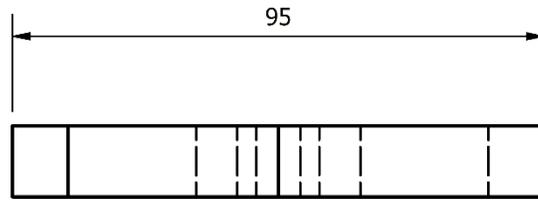
4	Palanca de manivela	Detalle 3.4
3	Tope de barra de agarre	Detalle 3.3
2	Camisa de barra de agarre	Detalle 3.2
1	Barra de agarre	Detalle 3.1
ITEM	Descripción	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César
Nº PLANO: Plano B3	FECHA: Agosto de 2020	Subconjunto B3: Manivela
		ESCALA 1:4
		UNIDADES: milímetros



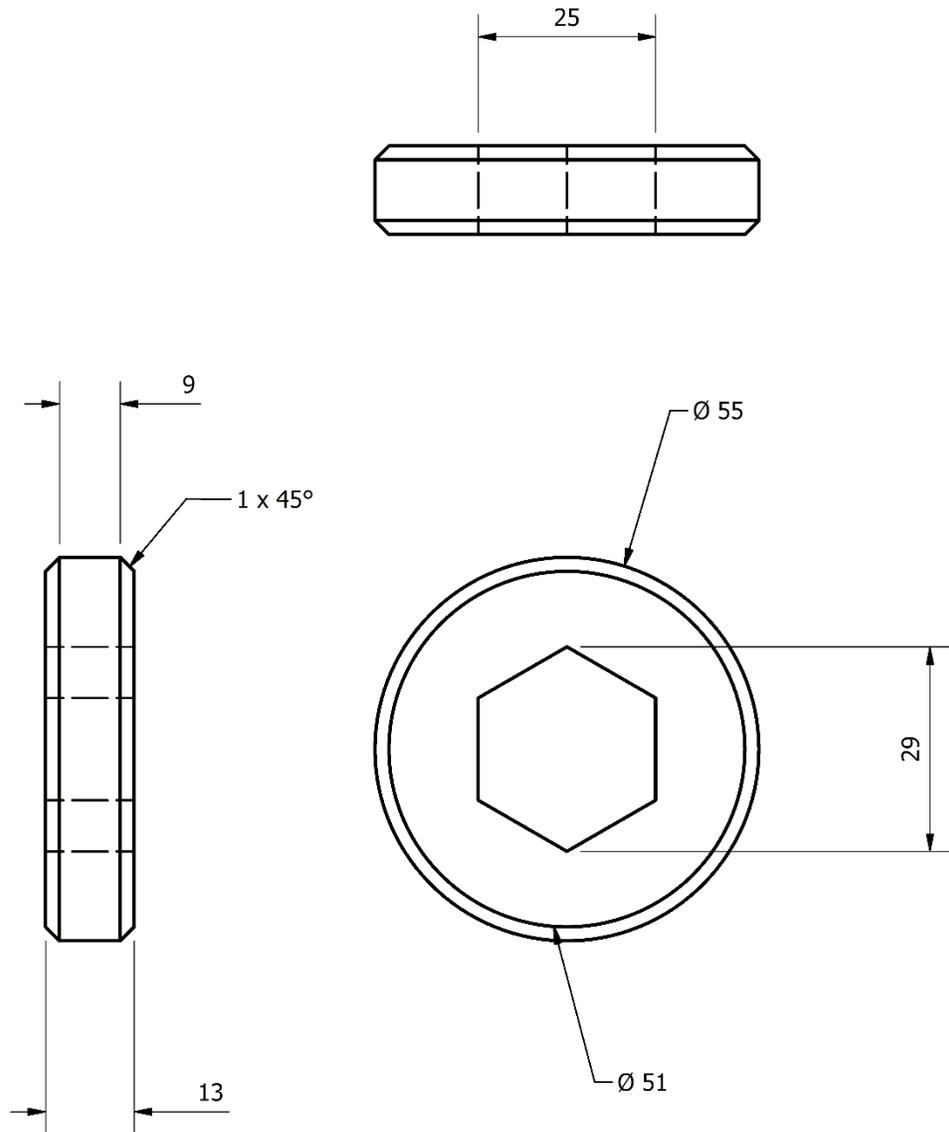
A (2 : 1)



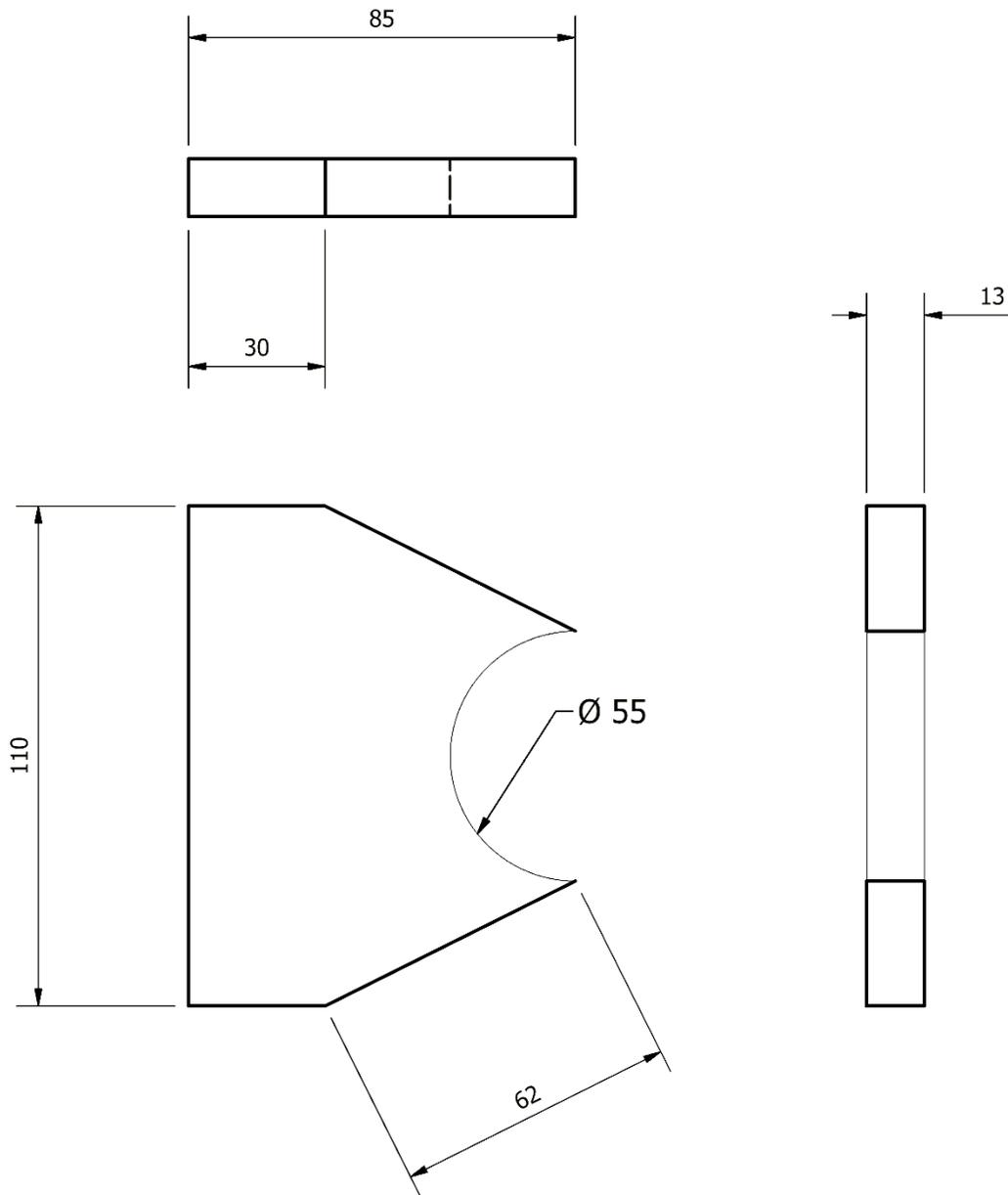
2	AISI 1020	- Material en bruto: Barra hexagonal de 1 pulg de diámetro inscrito y largo de 16 pulg.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:2.5
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C1	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 1.1: Ejes de transmisión	



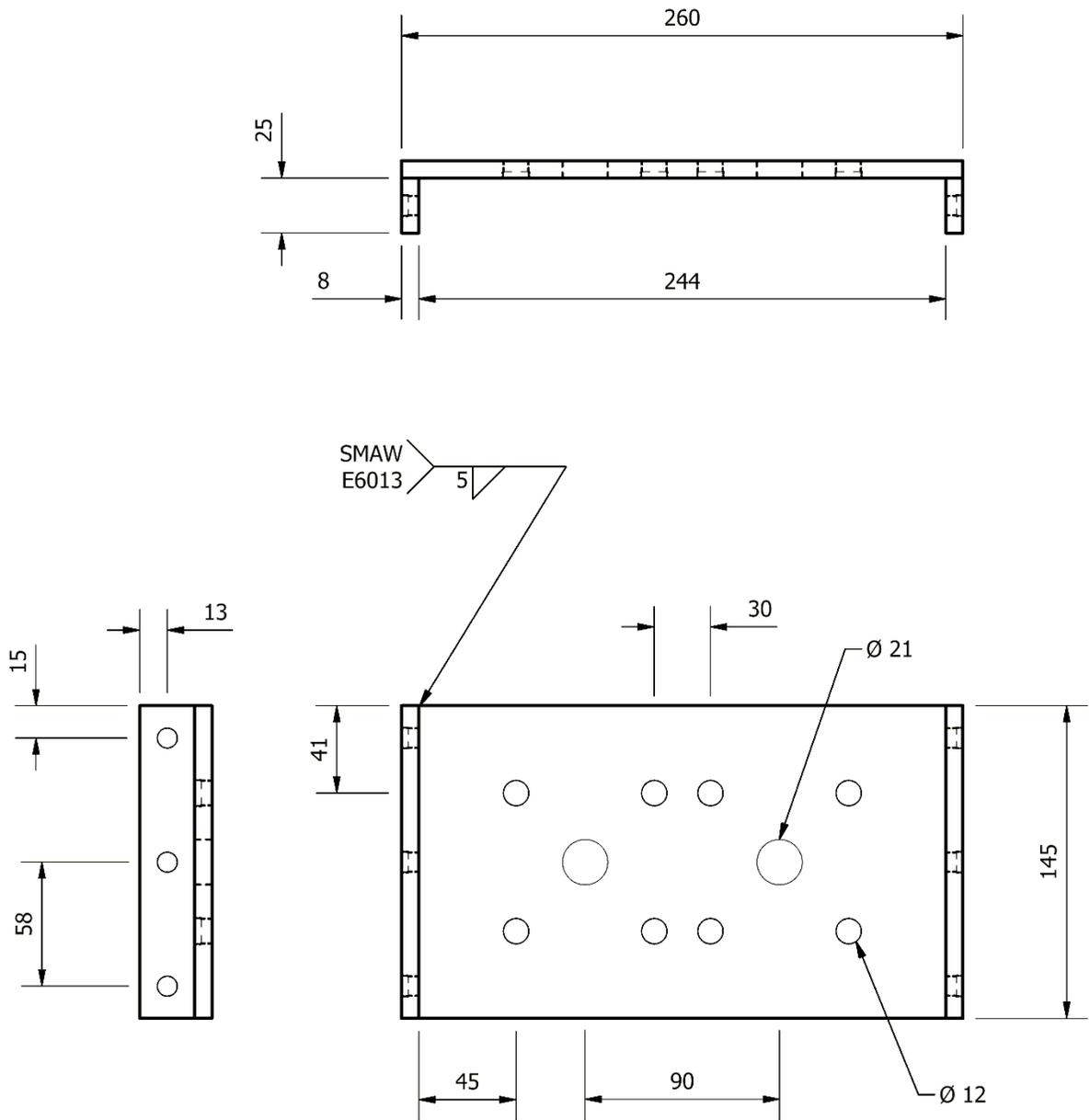
16	AISI 1020	- Material en bruto: Pletina de 4 x 1/2 pulg y 180 cm de largo, la cual se cortará en 16 bloques de 4x4 pulg.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:1.25
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C2	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 1.2: Cuchilla de corte	



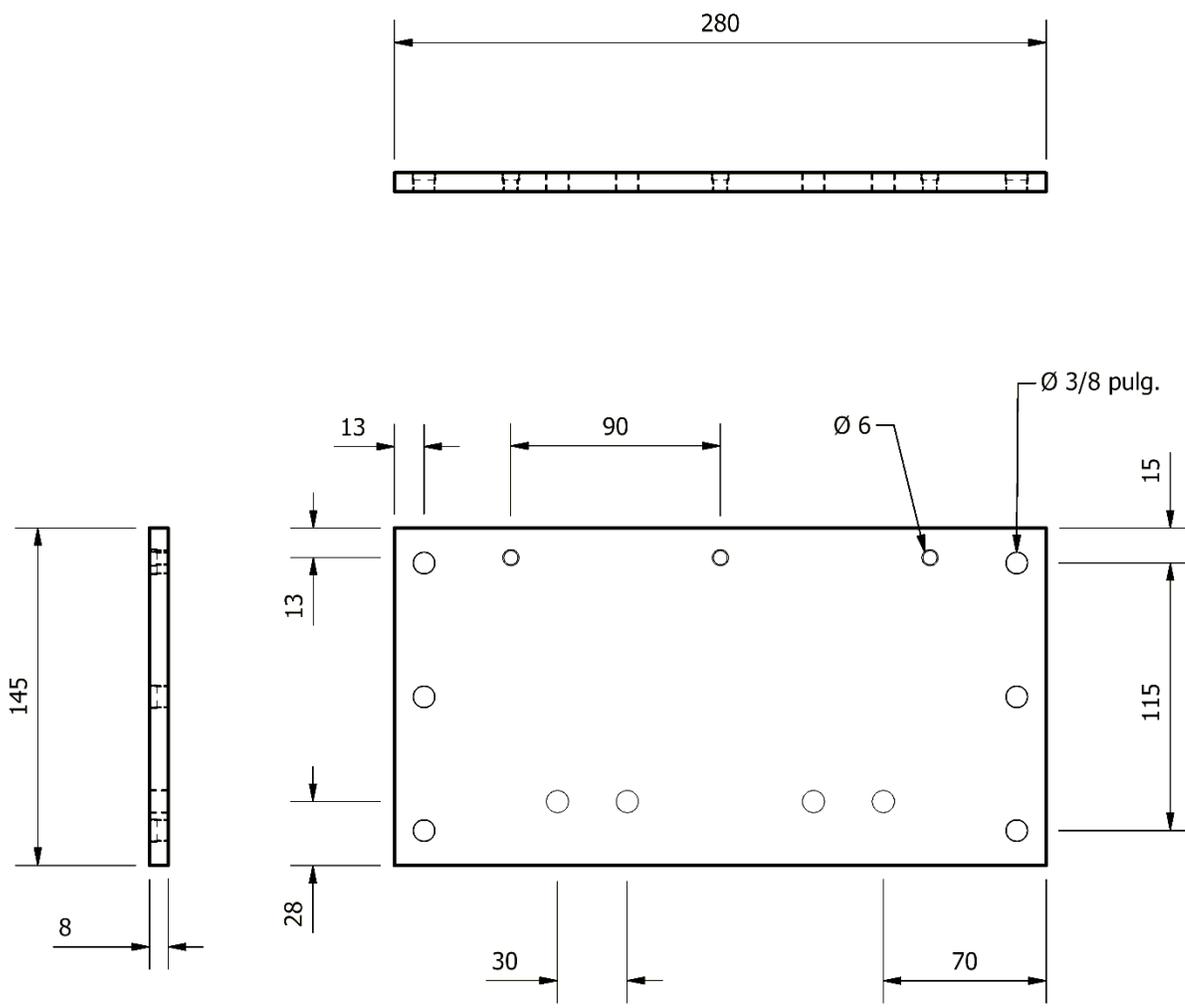
16	AISI 1020	- Material en bruto: Pletina de 4 x 1/2 pulg y 130 cm de largo, la cual se cortará en 16 bloques de 4x3 pulg.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:1
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
N° PLANO: Plano C3	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 1.3: Separador en eje	



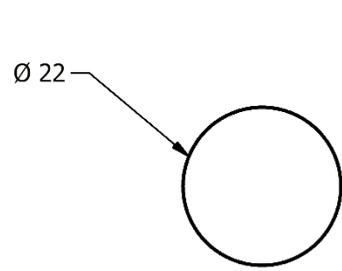
16	AISI 1020	- Material en bruto: Pletina de 4 x 1/2 pulg y 2 m de largo, la cual se cortará en 16 bloques de 4x4.3 pulg.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:1.5
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C4	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 2.1: Separador en pared	



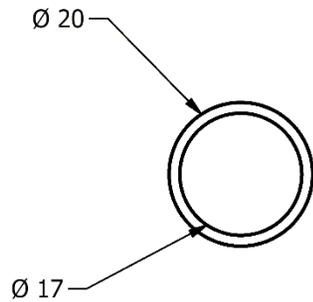
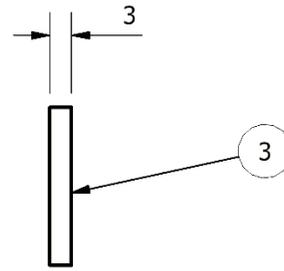
2	Hierro dulce	- Material en bruto: Pletina de 320 x 300 mm y 8 mm de espesor.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:3
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C5	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 2.2: Pared guía de ejes de transmisión	



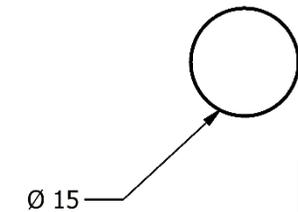
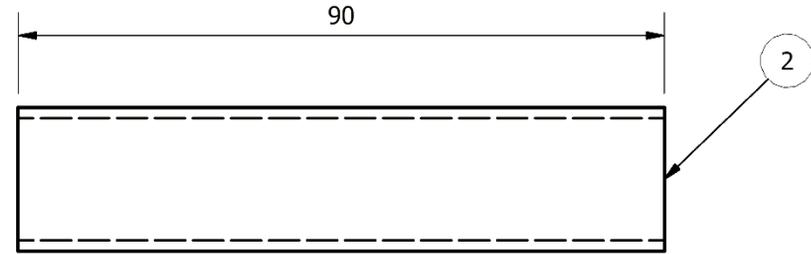
2	Hierro dulce	- Material en bruto: Pletina de 320 x 320 mm y 8 mm de espesor.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:3
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C6	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 2.3: Pared guía de cuchillas de corte	



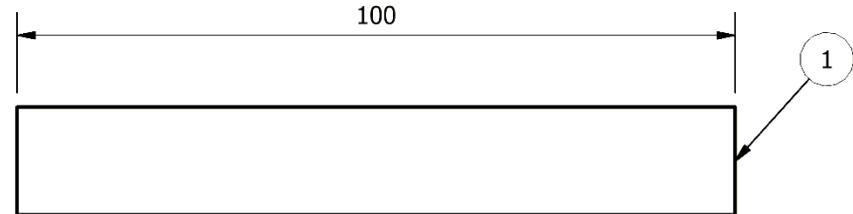
Detalle 3.3



Detalle 3.2

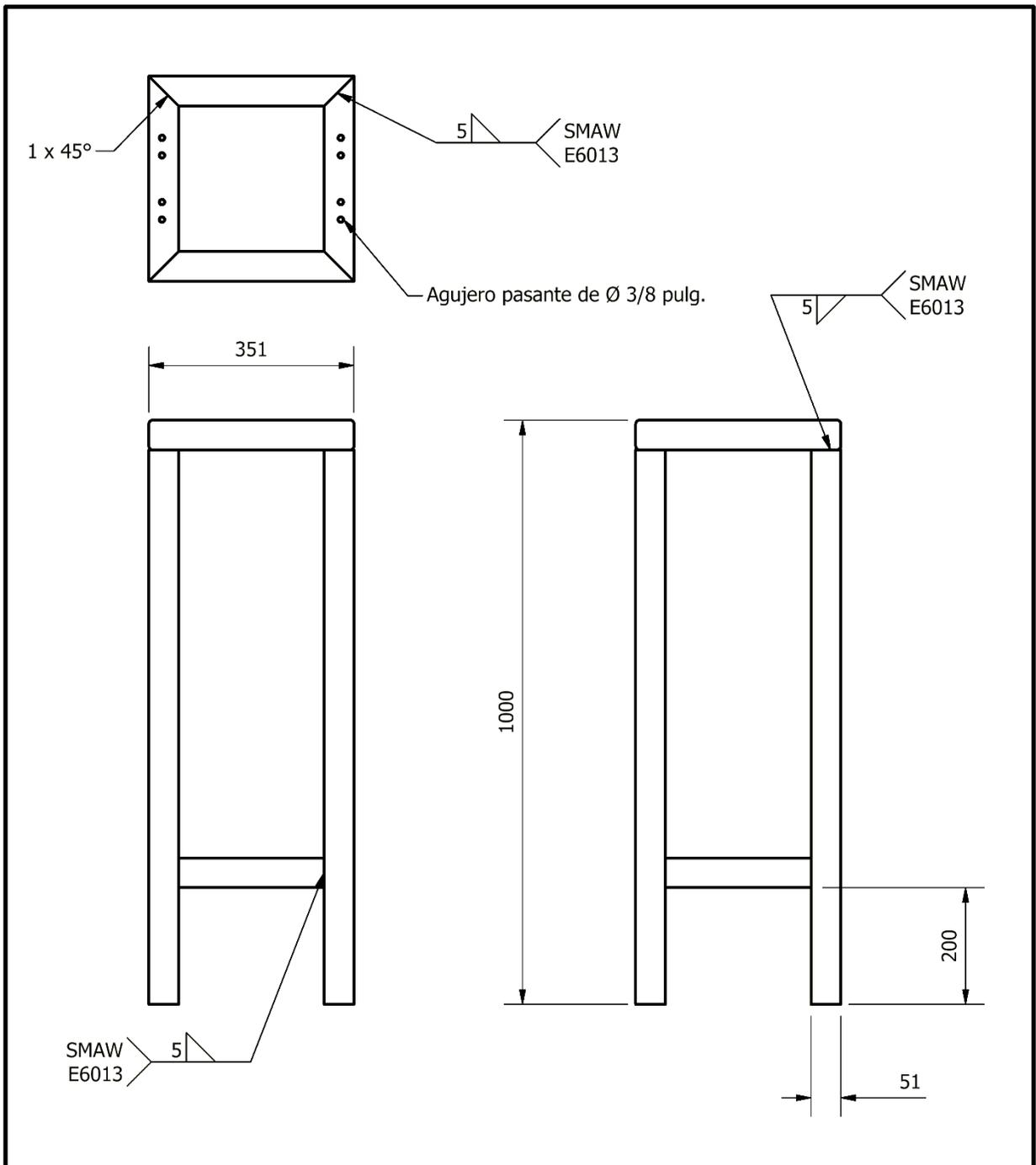


Detalle 3.1

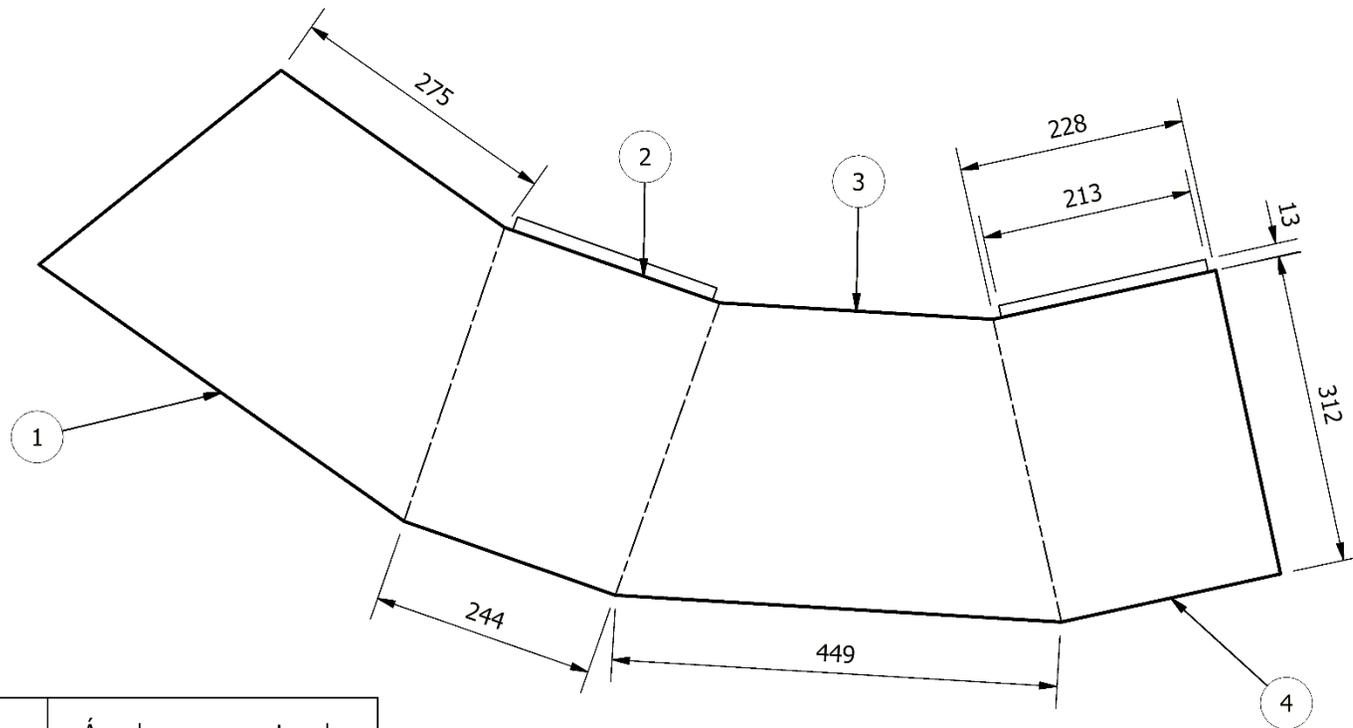


3	1	Hierro dulce	Pletina de 3 mm de espesor
2	1	Hierro dulce	Tubo de 20 mm de diámetro
1	1	Hierro dulce	Barra circular de 15 mm de diámetro
ITEM	Cantidad	Material	Especificaciones

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:1
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C7	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 3.1: Barra de agarre Detalle 3.2: Camisa de barra de agarre Detalle 3.3: Tope de barra de agarre	



1	Hierro dulce	- Material en bruto: Dos piezas de 6 m de largo de tubo estructural cuadrado de 1 1/2 pulg, chapa 14.	
Cantidad	Material	Especificaciones	
Estructura general			
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico	ESCALA 1:10
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Paz Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortíz		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: Plano C9	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 4: Mesa de molino triturador	



Borde de tolva	Ángulo con respecto a la horizontal
1	35.1°
2	19.3°
3	3.4°
4	12.4°

1	Hierro dulce	Lámina de 2x1 m y 0.9 mm de espesor.
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de un molino triturador de latas de aluminio para uso didáctico
DOCENTES ASESORES: Ing. Rigoberto Velásquez Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		ESTUDIANTES: Cruz Álvarez, Kevin Alexander Góchez Romero, José Gerardo Moreno Fórtiz, Julio César
Nº PLANO: C10	FECHA: Agosto de 2020	Detalle 5: Desarrollo de tolva
		ESCALA 1:7
		UNIDADES: milímetros

## ANEXO B: COTIZACIONES Y FACTURAS

### COTIZACIONES

Cotización A.B.C1. Fresas cilíndricas



COT. No. MH-17352/2020ES

San Salvador, 19 de Febrero del 2020.

Señores  
**UES**  
Presente.

**Att'n.: Sr. Julio Moreno.**

Estimado Sr. Moreno.:

Tenemos el agrado de someter a su consideración nuestra mejor oferta y plazo de entrega de las siguientes herramientas de corte:

OFERTA ECONOMICA						
ITEM	CANT.	CODIGO	DEMOMINACION	P/U. US. \$ Normal	P/U. US. \$ Desc. 15 %	P/T. US. \$
001	03	4SE0187IR062A	Fresa punta plana de 3/16" de diámetro, de tungsteno, vástago 3/16", largo de filo 5/8", largo total 2", 4 filos, Dureza KC633M, Marca KENNAMETAL.	19.35	17.41	17.41
002	01	4SE0187IL075A	Fresa punta plana de 3/16" de diámetro, de tungsteno, vástago 3/16", largo de filo 3/4", largo total 2-1/2", 4 filos, Dureza KC633M, Marca KENNAMETAL.	21.67	19.50	19.50
003	01	4SE0187IX112A	Fresa punta plana de 3/16" de diámetro, de tungsteno, vástago 3/16", largo de filo 1-1/8", largo total 3", 4 filos, Dureza KC633M, Marca KENNAMETAL.	21.67	19.50	19.50
SUB TOTAL PRECIO PUESTO EN SUS BODEGAS					US. \$	56.41
13% IMPUESTO DE VENTA. (IVA)					US. \$	7.33
<b>TOTAL PRECIO PUESTO EN SUS BODEGAS</b>					<b>US. \$</b>	<b>63.74</b>
<b>SON: SESENTA Y TRES 74/100 DOLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS</b>						

www.prometca.com  
portilloprometca@gmail.com  
Tel: (503) 2519 - 7579 / 2519 - 7521 Cel: (503) 7635 - 6333  
Urbanización Jardines de la Hacienda, Avenida L-E y Calle L-2 # 9, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.

Cotización A.B.C2. Acero para piezas y eje hexagonal



ABASTECEDORA INDUSTRIAL, S.A. de C.V.

01/08/2019

- ALUMINIO 6061 T6
- REDONDO
- PLETINA
- CUADRADO
- LAMINA
- VCN 150 VEW 155
- ACERO AMUTITS
- ACERO PLATA
- ACERO INOXIDABLE
- ACERO 1045
- ACERO PARA CEMENTAR
- EJE DE TRANSMISION 1020
- BARRA PERFORADA
- HIERRO FUNDIDO (EXTRANJERO)
- BRONCE FOSFORICO
- BRONCE GRAFITADO
- POLVO PARA CEMENTAR
- FIBRA FENOLITICA
- NYLON
- TEFLON VIRGEN
- POLEAS DE ALUMINIO
- LAMINA DE HIERRO
- ANGULO DE HIERRO
- PLASTICOS DE INGENIERIA
- NYLAMID M
- NYLAMID SL
- NYLAMID XL
- NYLAMID 901
- NYLAMID RA
- REPUESTOS Y SERVICIOS

SEÑORES: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

ATENCION: ING RIGOBERTO VELASQUEZ

POR ESTE MEDIO LE ESTAMOS SALUDANDO Y DESEANDOLE QUE TENGAN. EXITOS EN SUS LABORES COTIDIANAS, Y A LA VEZ LE ESTAMOS ENVIANDO LA SIGUIENTE OFERTA,

ITEM	CTDAD.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	1	ACERO 1020 PLATINA		
2		1/2" wsesor x 6" anch x 80 cm		\$ 155,38
3				
4	1	ACERO 1020 REDONDO		
5		2" X 12"		\$ 20,56
6				
7		ACERO 1020 HEXAGONAL		
8	1	3/4" X 15"		\$ 19,44
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 195,38</b>
			<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$ 195,38</b>
			<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 195,38</b>

CONDICIONES.

A- SERVICIO A I DOMICILIO

B- ENTREGA INMEDIATA

C- FORMA DE PAGO: CONTADO

D-

ATENTAMENTE .



CRISTABEL HERNANDEZ  
VENTAS

PBX: 2271-0999 Fax: 2222-0682 e-mail: kristabelh64@gmail.com  
CALLE GERARDO BARRIOS Nº 1230 SAN SALV.  
FRENTE A FABRICA DELICIA Y TALLERES SARTI.

Cotización A.B.C3. Estructura



**ALMACENES VIDRI, S.A. DE C.V.**  
**SUCURSAL : SANTA ANA II**  
 N.R.F. : 2-7 N.I.T. : 0210-191171-001-6  
 GIRO : FERRETERIA  
 DIRECCION : KM. 63, AUTOPISTA BYPASS, CARRETERA A METAPAN, SANTA ANA  
 EMAIL : alvisa061@vidri.com.sv TELEFONO : 2440-4141

COTIZACION No. 61300020166



Fecha 21/08/2019 04:54:17 p.m.  
 Cliente RIGOBERTO VELASQUEZ NRF Cliente CF  
 Direccion  
 Atención a CONSUMIDOR FINAL  
 Vendedor 0000561 - SANTA ANA II  
 Observaciones Condición de pago CONTADO

Código	Descripción	U.M.	Cantidad	Precio	Total
7617	HIERRO PLANO 1/4X6" (6.35MM)	PZA	1.00	\$49.050000	\$49.05

Sub Total	\$49.05
IVA	\$0.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$49.05</b>

Precios incluyen IVA  
**\*\* Precios sujetos a cambio sin previo aviso \*\***

\_\_\_\_\_  
 VENDEDOR  
 Página 1/1

\_\_\_\_\_  
 AUTORIZADO

\_\_\_\_\_  
 ACEPTADO  
 Consumidor Final



Cotización A.B.C5. Engranés rectos



5a. Avenida Norte #3-18,  
Santa Tecla, El Salvador  
Tel. (503) 2228-8287 - Fax. (503) 2286-1882  
email: info@matrisa.net

**ORDEN DE TRABAJO**

FABRICACIÓN DE PIEZAS DE MAQUINARIA INDUSTRIAL - ANALISIS DE VIBRACIONES - BALANCEO DINAMICO

Cliente: JULIO CESAR MORENO Dirección: Teléfono: Atte.:	OT <u>15294</u> Fecha: 6 de marzo de 2020 Tiempo de Entrega: 4 días hábiles Cotización: 5807 Orden Compra:
--	--

Nombre Equipo: \_\_\_\_\_

Item	Cant.	Descripción	P. UNIT	TOTAL
1	1	Fabricacion de piñon recto en hierro fundido, segun indicaciones. Dimensiones: ø 90 mm x 34.5 de espesor, Z30 dientes.	\$106.19	\$106.19

**M**ECANICA INDUSTRIAL  
MATRISA, S.A. DE C.V.

*Adelanto \$ 50.00 06/03/2020*

**Condiciones**

1. Todo trabajo es garantizado excepto las reparaciones por ser material fatigado.
2. La empresa no se hace responsable por trabajos que no sean retirados en un plazo de 60 días después de la fecha de entrega.

Sub Total	\$106.19
IVA 13%	\$13.80
<b>TOTAL</b>	<b>\$119.99</b>

Elaborado por:  
Jose Luis Cruz

Asesor Técnico  
Ing. Victor Hugo Ruiz

F. \_\_\_\_\_  
Cliente



Factura A.B.F2. Acero para separadores de cuchillas

**ACEROS Y MATERIALES**  
 VENTA DE OTROS PRODUCTOS NO CLASIFICADOS PREVIAMENTE  
**CATEGORIA DE CONTRIBUYENTE: MEDIANO**  
 ANTIGUA CALLE FERROCARRIL No 1515 COL. CUCUMACAYAN  
 SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.  
**PBX.: (503) 2231-0200**  
 /Aceros Maprima Aceros Maprima (+503) 7860-4743

**FACTURA**  
 18SD000F **01081**  
**01081**  
 NRC: 4564 - 0  
 NIT: 0614 - 080777 - 002 - 6

www.acerosmaprima.com

CLIENTE: JULIO MORENO  
 DIRECCION: SS  
 MUNICIPIO: SS01  
 GIRO:  
 DEPARTAMENTO: SS  
 FECHA: 04/03/2020  
 VENDEDOR: OFICINA  
 NIT:  
 CONDICIÓN: CONTADO

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VENTAS NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS GRAVADAS
1	PZA PC-00014 PLATINA 1020 DE 4"1/2" x 1.30mts	47.46			47.46
SON: CUARENTA Y SIETE CON 16/100 DOLARES		Sumas			47.46
LLENAR SI LA OPERACION ES IGUAL O SUPERIOR A \$200.00		Sub-Total			47.46
NOMBRE: JULIO MORENO DUI o NIT:		(-)IVA Retenido			0.00
FIRMA RECIBIDO		Ventas Exentas			0.00
NOMBRE: Emerson Portillo DUI o NIT:		Ventas no Sujetas			0.00
FIRMA ENTREGADO		Venta Total			47.46

R.R. DONNELLY DE EL SALVADOR S.A. DE C.V. NIT: 0614-020282-001-5. Km. 7 1/2 BLVD. DEL EJERCITO NAC. SOYAPANGO, REG. No. 51-6. AUTORIZACION DE IMPRESA No. 0026 D.G.I.I., 29AGO1992. CORRELATIVO AUTORIZADO DESDE: 18SD0001 HASTA: 18SD00092500 - RESOLUCION No. 15041 RES-IN 61875-2018 - 14/01/18

**DUPLICADO - CLIENTE**

Factura A.B.F3. Acero para fabricar cuchillas

**ACEROS Y MATERIALES**  
 VENTA DE OTROS PRODUCTOS NO CLASIFICADOS PREVIAMENTE  
**CATEGORIA DE CONTRIBUYENTE: MEDIANO**  
 ANTIGUA CALLE FERROCARRIL No 1515 COL. CUCUMACAYAN  
 SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.  
**PBX.: (503) 2231-0200**  
 /Aceros Maprima Aceros Maprima (+503) 7860-4743

**FACTURA**  
 18SD000F **00934**  
**00934**  
 NRC: 4564 - 0  
 NIT: 0614 - 080777 - 002 - 6

www.acerosmaprima.com

CLIENTE: JULIO CESAR MORENO  
 DIRECCION: SS  
 MUNICIPIO: SS01  
 GIRO:  
 DEPARTAMENTO: SS  
 FECHA: 22/01/2020  
 VENDEDOR: OFICINA  
 NIT:  
 CONDICIÓN: CONTADO

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VENTAS NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS GRAVADAS
1	PZA PC-00014 PLATINA 1020 DE 4"1/2" X 180CM DE LARGO	65.26			65.26
SON: SESENTA Y CINCO CON 26/100 DOLARES		Sumas			65.26
LLENAR SI LA OPERACION ES IGUAL O SUPERIOR A \$200.00		Sub-Total			65.26
NOMBRE: JULIO CESAR MORENO DUI o NIT:		(-)IVA Retenido			0.00
FIRMA RECIBIDO		Ventas Exentas			0.00
NOMBRE: DUI o NIT:		Ventas no Sujetas			0.00
FIRMA ENTREGADO		Venta Total			65.26

R.R. DONNELLY DE EL SALVADOR S.A. DE C.V. NIT: 0614-020282-001-5. Km. 7 1/2 BLVD. DEL EJERCITO NAC. SOYAPANGO, REG. No. 51-6. AUTORIZACION DE IMPRESA No. 0026 D.G.I.I., 29AGO1992. CORRELATIVO AUTORIZADO DESDE: 18SD0001 HASTA: 18SD00092500 - RESOLUCION No. 15041 RES-IN 61875-2018 - 14/01/18

**DUPLICADO - CLIENTE**

Factura A.B.F4. Acero para fabricar separadores de pared

 <p><b>ACEROS Y MATERIALES</b> VENTA DE OTROS PRODUCTOS NO CLASIFICADOS PREVIAMENTE <b>CATEGORIA DE CONTRIBUYENTE: MEDIANO</b> ANTIGUA CALLE FERROCARRIL No. 1515 COL. CUCUMACAYAN SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A. PBX.: (503) 2231-0200 www.acerosmaprima.com</p>		<p><b>FACTURA</b> 18SD000F <b>01043</b></p> <p><b>01043</b></p> <p>NRC: 4564 - 0 NIT: 0614 - 080777 - 002 - 6</p>	
<p>CLIENTE: JULIO MORENO DIRECCION: SS MUNICIPIO: SS01 GIRO:</p>		<p>FECHA: 20/02/2020 VENDEDOR: OFICINA NIT: ... CONDICIÓN: CONTADO</p>	
<p>DEPARTAMENTO: SS</p>		<p>PRECIO UNITARIO: 72.38 VENTAS NO SUJETAS: ... VENTAS EXENTAS: ... VENTAS GRAVADAS: 72.38</p>	
<p>CANT. 1 PZA PC-00014 DESCRIPCION PLATINA 1020 DE 4**1/2" x 2 mts largo</p>		<p>NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES DE MATERIAL CORTADO TRABAJADO O DAÑADO</p>	
<p>SON: SETENTA Y DOS CON 38/100 DOLARES</p>		<p>Sumas Sub-Total 72.38 (-IVA Retenido) 0.00 Ventas Exentas 0.00 Ventas no Sujetas 0.00 Venta Total 72.38</p>	
<p>NOMBRE: JULIO MORENO DUI o NIT: FIRMA RECIBIDO</p>		<p>NOMBRE: DUI o NIT: FIRMA ENTREGADO</p>	
<p>LLENAR SI LA OPERACION ES IGUAL O SUPERIOR A \$200.00</p>			
<p>R. DONNELLAY DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V. NIT: 0614-020269-001-5 Km. 7 1/2 BLVD. DEL EJERCITO NAC. SOYAPANGO, REG. No. 01-6, AUTORIZACION DE IMPRESA No. 008-D.G.I.L., S.O. No. 198, CORRELATIVO AUTORIZADO 2330E: 180000P1 HASTA: 180000P990 - RESOLUCION No. 15041-RES-AN-0708-2012-1405019</p>			

Factura A.B.F5. Ejes hexagonales

 <p><b>ABASTECEDORA INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.</b> OTRAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS NO CLASIFICADAS PREVIAMENTE</p>		<p>CALLE GERARDO BARRIOS No. 1230 FRENTE A TALLERES SARTI Y FABRICA DELICIA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A. PBX.: 2271-0999, 2222-0682, 2271-0639, 2222-5307 2271-5336, 2221-5846, 2221-5848, 2222-1318 garencia@abasteinsa.com ventas@abasteinsa.com</p>		<p><b>FACTURA</b> No. 17DS000F</p> <p><b>02402</b></p> <p>NIT: 0614 - 170988 - 101 - 3 NRC.: 3914 - 4</p>	
<p>CLIENTE: JULIO MORENO</p>		<p>VENDEDOR: OFICINA</p>		<p>FORMA DE PAGO: CONTADO</p>	
<p>www.abasteinsa.com</p>		<p>DESPACHADO</p>		<p>PRECIO UNITARIO: 33.500 V. NO SUJ.: ... V. EXENTAS: ... V. AFECTAS: 66.99</p>	
<p>CANTIDAD 2 DESCRIPCION AISI 1020 HEXAG</p>		<p>PESO 1</p>		<p>NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES EN MATERIAL CORTADO</p>	
<p>SON: SESENTA Y SEIS 99/100 DOLARES</p>		<p>SUMAS VENTAS NO SUJETAS VENTAS EXENTAS VENTA TOTAL US\$ 66.99</p>		<p>LLENAR SI LA OPERACION ES IGUAL O SUPERIOR A \$200.00</p>	
<p>TOTAL EN COLONES ₡ 586.14</p>		<p>NOMBRE: D.U.I./N.I.T. F. ENTREGA</p>		<p>NOMBRE: D.U.I./N.I.T. F. RECIBIDO</p>	
<p>- CUADRUPLICADO - CLIENTE -</p>					

Factura A.B.F6. Barra para fabricar tornillo de prensa para sierra alternativa



**Abasteinsa**  
ABASTECEDORA INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

CALLE GERARDO BARRIOS No. 1230  
FRENTE A TALLERES SARTI Y FABRICA DELICIA,  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.  
PBX: 2271-0999, 2222-0682, 2271-0639, 2222-5307  
2271-5336, 2221-5846, 2221-5848, 2222-1318

gerencia@abasteinsa.com  
ventas@abasteinsa.com

**FACTURA**  
No. 17DS000F

**02311**

NIT.: 0614 - 170988 - 101 - 3  
NRC.: 3914 - 4

OTRAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS NO CLASIFICADAS PREVIAMENTE

CLIENTE: LILIO CESAR MORAN      E 2311

HORA: 10:24:49

DIA: 3    MES: 1    AÑO: 2020

www.abasteinsa.com

DESPACHADO

VENDEDOR

FORMA DE PAGO

CANTIDAD	DESCRIPCION	PESO	PRECIO UNITARIO	V. NO SUJ.	V. EXENTAS	V. AFECTAS
1	ACEROS AISI 01 AMUTIT RED 5/8		5.540			5.54
				<b>CANCELADO</b>		
SON: NCO 54/100 DOLARES				SUMAS		5.54
TOTAL EN COLONES ₡ 48.48				VENTAS NO SUJETAS		
				VENTAS EXENTAS		
				VENTA TOTAL US\$		5.54

**NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES EN MATERIAL CORTADO**

LLENAR SI LA OPERACION ES IGUAL O SUPERIOR A \$200.00

NOMBRE: \_\_\_\_\_ NOMBRE: \_\_\_\_\_

D.U.I./N.I.T. \_\_\_\_\_ F. ENTREGA: \_\_\_\_\_ D.U.I./N.I.T. \_\_\_\_\_ F. RECIBIDO: \_\_\_\_\_

- DUPLICADO - CLIENTE -

Factura A.B.F7. Fresas cilíndricas de tungsteno de 6.35 mm (¼ pulg) y 4.76 mm (3/16 pulg)

**La Casa del Soldador, S.A. de C.V.**  
VENTA AL POR MAYOR DE ARTICULOS DE FERRETERIA Y PINTURERIAS.

SERIE 02

**FACTURA No. 19DS000F**  
**20864**  
NIT: 0614-160180-001-2  
NRC: 279 - 8

61 AVENIDA NORTE No. 183, SAN SALVADOR, TELS.: 2260-5100, 2260-5084, 2260-5101, 2260-5500, FAX: 2260-9136

CENTRO COMERCIAL SOYAPANGO LOCALES 15 Y 18 SOYAPANGO TELS.: 2277-6412 Y 2277-4146

URBANIZACION REPARTO LOS HEROES, CALLE TENIENTE MIGUEL ANGEL GAVIDIA, No. 75 SAN SALVADOR TEL.: 2273-1797

29 CALLE PONIENTE No. 1011 SAN SALVADOR TELS.: 2225-5933, 2225-4068 Y 2225-0991

BLVD. CONSTITUCION Y FINAL CALLE SISIMILES, SAN SALVADOR TELS.: 2284-4039, 2284-4071, 2284-4783

EUROSA 7

CLIENTE: 00 NIT ó DUI: 0000-00000-000-0 FECHA: 20/02/2020

DIRECCION: COND. PAGO: CONTADO VEND.: 2 OF

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VTAS. NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS GRAVADAS
1 3714	FRESA TUNGST. 4 GAV. 1/4" X 1"	\$ 31.56			\$ 31.56
SON: TREINTA Y CINCO UNIDADES					
Hecho por: RONALD Recibido por:					
SUMAS					\$ 31.56
VTAS. NO SUJETAS					\$ 0.00
VENTAS EXENTAS					\$ 0.00
VENTA TOTAL					\$ 31.56

DUPLICADO CLIENTE

---

**La Casa del Soldador, S.A. de C.V.**  
VENTA AL POR MAYOR DE ARTICULOS DE FERRETERIA Y PINTURERIAS.

SERIE 02

**FACTURA No. 19DS000F**  
**20420**  
NIT: 0614-160180-001-2  
NRC: 279 - 8

61 AVENIDA NORTE No. 183, SAN SALVADOR, TELS.: 2260-5100, 2260-5084, 2260-5101, 2260-5500, FAX: 2260-9136

CENTRO COMERCIAL SOYAPANGO LOCALES 15 Y 18 SOYAPANGO TELS.: 2277-6412 Y 2277-4146

URBANIZACION REPARTO LOS HEROES, CALLE TENIENTE MIGUEL ANGEL GAVIDIA, No. 75 SAN SALVADOR TEL.: 2273-1797

29 CALLE PONIENTE No. 1011 SAN SALVADOR TELS.: 2225-5933, 2225-4068 Y 2225-0991

BLVD. CONSTITUCION Y FINAL CALLE SISIMILES, SAN SALVADOR TELS.: 2284-4039, 2284-4071, 2284-4783

EUROSA 7

CLIENTE: 00 NIT ó DUI: 0000-00000-000-0 FECHA: 13/02/2020

DIRECCION: COND. PAGO: CONTADO VEND.: 2 OF

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VTAS. NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS GRAVADAS
1 3713	FRESA TUNGST. 4 GAV. 3/16" X 1"	\$ 26.33			\$ 26.33
SON: VEINTISEIS (26) UNIDADES					
Hecho por: RONALD Recibido por:					
SUMAS					\$ 26.33
VTAS. NO SUJETAS					\$ 0.00
VENTAS EXENTAS					\$ 0.00
VENTA TOTAL					\$ 26.33

DUPLICADO CLIENTE

---

**La Casa del Soldador, S.A. de C.V.**  
VENTA AL POR MAYOR DE ARTICULOS DE FERRETERIA Y PINTURERIAS.

SERIE 02

**FACTURA No. 19DS000F**  
**20083**  
NIT: 0614-160180-001-2  
NRC: 279 - 8

61 AVENIDA NORTE No. 183, SAN SALVADOR, TELS.: 2260-5100, 2260-5084, 2260-5101, 2260-5500, FAX: 2260-9136

CENTRO COMERCIAL SOYAPANGO LOCALES 15 Y 18 SOYAPANGO TELS.: 2277-6412 Y 2277-4146

URBANIZACION REPARTO LOS HEROES, CALLE TENIENTE MIGUEL ANGEL GAVIDIA, No. 75 SAN SALVADOR TEL.: 2273-1797

29 CALLE PONIENTE No. 1011 SAN SALVADOR TELS.: 2225-5933, 2225-4068 Y 2225-0991

BLVD. CONSTITUCION Y FINAL CALLE SISIMILES, SAN SALVADOR TELS.: 2284-4039, 2284-4071, 2284-4783

EUROSA 7

CLIENTE: 00 NIT ó DUI: 0000-00000-000-0 FECHA: 07/02/2020

DIRECCION: COND. PAGO: CONTADO VEND.: 2 OF

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VTAS. NO SUJETAS	VENTAS EXENTAS	VENTAS GRAVADAS
1 3712	FRESA TUNGST. 4 GAV. 3/16" X 1"	\$ 26.33			\$ 26.33
SON: VEINTISEIS (26) UNIDADES					
Hecho por: RONALD Recibido por:					
SUMAS					\$ 26.33
VTAS. NO SUJETAS					\$ 0.00
VENTAS EXENTAS					\$ 0.00
VENTA TOTAL					\$ 26.33

DUPLICADO CLIENTE

Factura A.B.F8. Batería para funcionamiento de CNC



**UNION COMERCIAL**  
DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.  
Venta al Por Mayor de Electrodomesticos  
y Articulos del Hogar, Excepto Bazar  
Articulo de Iluminacion

**Oficina Central**  
Final Calle La Mascota Edif. Lotisa No. 5200  
Urbanización Maquishual Tel. 2209-1000  
San Salvador, El Salvador

FORMULARIO UNICO  
19DS199U **04175**

00004713  
FACTURA  
CONSUMIDOR FINAL

NRC: 124829 - 2  
NIT: 0614 - 110800 - 103 - 2



04175

Hc. 00004713

FACTURA  
CONSUMIDOR FINAL  
RADIO SHACK  
METROCENTRO  
CENTRO COMERCIAL METROCENTRO, 3ER NIVEL  
BA ETAPA NO 316 LOCAL 55K  
SAN SALVADOR, SAN SALVADOR  
2209-1132

03/02/2020 03:39 PM  
Trans: 11821117339620200203 Tienda: 821  
No Caja: 21-117 Cajero: 1504301

Nombre: JULIO CESAR MORENO FORTIZ  
DUI: 054038893  
Pasaporte/Carnet Res:  
Direccion: LOT SAN JOSE CAJON LA RONDA 5 A  
Santa Ana, Santa Ana,  
Telefono: 74909859  
No de Cotizacion:  
Vendedor: 2204301 BRYAN RODRIGUEZ

Cont	Precio	Uni.	Desc.	Total
434442		RADIO SH	2301675	BATERIA PARA 6
4	x\$3.99		\$0.00	\$15.96
Garantia de fabrica: 3 meses				
Subtotal				\$15.96
Total Gravado				\$15.96
Total Exento				\$0.00
Total No sujeto				\$0.00
(-) IVA retenido				\$0.00
TOTAL VENTA				\$15.96
Efectivo				\$20.00
CAMBIO				\$4.04
TOTAL PAGADO				\$15.96

QUINCE, 96/100 DOLARES

G- Gravado E- Exento NS- No Sujeto

Precios incluyen impuesto  
Gracias por su compra  
\*\*\*\*\*  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Los servicios brindados por Union Comercial de El Salvador, S.A. de C.V. no son un objeto de un credito, o que se alguna manera  
y de factos, Los Espores Com. Actos de Comercio con signacion ante la ley en la materia de comercio exterior con signacion de fe



## ANEXO C: MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### MANUAL DE OPERACIÓN-MOLINO TRITURADOR



Todas las advertencias están marcadas con este símbolo y deben ser estrictamente respetadas.

#### Introducción

Antes de trabajar con este equipo, este manual debe ser leído cuidadosamente y claramente entendido. La operación de este equipo debe realizarse bajo ciertas precauciones para evitar ocasionar problemas en el mismo equipo, u ocasionar accidentes en las personas que lo manipulan. Con el adecuado cuidado y su respectivo mantenimiento se garantiza el correcto funcionamiento de dicho equipo. Este es un molino triturador de latas de aluminio, por lo tanto, para mantener el correcto funcionamiento no olvide seguir las indicaciones estipuladas en el Manual de Mantenimiento.



#### Normas de seguridad

- 1) La máquina sólo deberá ser utilizada según lo establecido en este manual de operaciones.
- 2) El mantenimiento, limpieza y ajuste, sólo deberá llevarse a cabo una vez que el equipo operativo se encuentre parado.
- 3) Antes de poner en la máquina latas de aluminio a triturar, retire de la máquina o de las latas cualquier elemento extraño como trozos de hierro, piedras, etc.
- 4) Después de un trabajo de reparación o de mantenimiento, asegúrese de que todos los elementos están en su sitio.
- 5) El usuario de la máquina es responsable de que no haya terceras personas o animales en las áreas de operación o de riesgo.
- 6) La trituradora sólo puede ser usada por personas mayores de 18 años.

- 7) Además de gafas de protección, es obligatorio el uso de calzado de seguridad, ropa de trabajo bien ajustada y guates de trabajo.
- 8) Antes de empezar a usar el molino triturador, asegúrese de que la estructura está firme y estable.
- 9) No introduzca las manos en la zona de alimentación hasta que los ejes que contienen las cuchillas de corte estén totalmente detenidos.
- 10) Manténgase atento ante el inminente peligro de material desgarrado voladizo. Tenga en cuenta que parte de este material puede alcanzar la zona operativa. Por ello es precioso usar siempre protecciones corporales.

### Pictogramas

¡Use gafas protectoras!	
¡Use guantes protectores!	
¡Use calzado de protección!	
Lea el manual de instrucciones antes de empezar a usar la máquina	
No manipule ninguna de las partes de la máquina hasta que esté completamente parada.	
No se acerque a las partes de la máquina que estén en movimiento.	

## Descripción técnica de los elementos principales

Elemento	Descripción
Alimentación	El molino triturador sólo debe usarse para triturar latas de aluminio. Está diseñada para una alimentación manual.
Sistema de acción manual	El molino triturador está provisto de una manivela que es un elemento esencial de transmisión de movimiento que consiste en una barra fijada por un extremo y accionada por la otra con un movimiento de rotación.
Sistema de transmisión de potencia	La potencia mecánica se transmite por medio de un sistema de engranes rectos, estos son los encargados de sincronizar los dos ejes para que giren a las mismas rpm.
Ejes	La máquina consta de dos ejes hexagonales instalados en forma paralela y están compuestos por las cuchillas de corte.
Cuchillas de corte	Cada eje está provisto por 8 cuchillas de corte, cada cuchilla tiene 4 filos, necesarios para triturar las latas de aluminio. Son los elementos esenciales para realizar el corte.

## Operación

<b>A. Procedimientos y lista de verificación previos a la puesta en servicio.</b>
Antes de poner en marcha el molino triturador, conviene que se asegure de haber completado los pasos siguientes: <ol style="list-style-type: none"><li>1) Utilizar equipo de protección</li><li>2) Inspeccionar los ejes de corte</li><li>3) Verificar los dientes de corte</li><li>4) Despejar el área alejando personas y objetos</li><li>5) Trabajar durante las horas de luz del día</li></ol>

Use ropa de protección aprobada y equipos de protección personal cuando la máquina esté en funcionamiento:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use siempre gafas de seguridad aprobadas por la ANSI, que cuenten con defensas laterales.</li> <li>• Use pantalones largos para protegerse las piernas contra algún escombros despedido bruscamente.</li> <li>• No use nunca joyas ni ropa holgada cuando ponga en marcha o usa el molino triturador. La ropa holgada o colgante, las joyas y el cabello se puede enredar en las piezas móviles.</li> </ul>
Inspeccionar los ejes de corte:	Inspeccione los ejes de corte a fin de verificar que no se encuentre ningún objeto extraño o algún animal en la caja de la trituradora.
Verificar los dientes de corte:	Inspeccione los dientes de corte para confirmar que estén ajustados y con su debido filo. Use solamente piezas aprobadas y de iguales propiedades para las reparaciones.
Despejar el área alejando personas y cosas	Despeje el área operativa e informe a las personas de su entorno a fin de evitar accidentes.
Trabajar durante las horas de luz del día	Use la máquina solamente en horas de luz del día o en condiciones de iluminación adecuada.

<b>B. Accione el molino triturador</b>
Una vez completados los procedimientos y la lista de verificación previos al arranque, usted está listo para operar el molino triturador.



**ADVERTENCIA:**

No trate nunca de usar el molino triturador sin equipo de protección adecuado, especialmente elementos de protección para los ojos.

Para accionar el molino triturador:

- 1) El operador encargado de accionar el molino triturador debe comenzar a girar la manivela en sentido horario, con una velocidad de giro constante, uniforme y baja.
- 2) Otro operador tiene que comenzar a alimentar el molino triturador con las latas de aluminio, una por una, para evitar sobrecargo.
- 3) El operador encargado de la alimentación será el encargado de inspeccionar visualmente la trituración de las latas de aluminio a modo de verificar el buen funcionamiento.



**ADVERTENCIA:**

Manténgase en la POSICIÓN DEL OPERADOR. No deje nunca el molino triturador sin vigilancia.

### C) Parada del molino triturador

Siga estos pasos para detener el molino triturador:

- a) Verificar que las latas de aluminio se hayan triturado en su totalidad inspeccionando el cese de material triturado.



**ADVERTENCIA:**

Las cuchillas de corte giratorias son muy peligrosas. Mantenga a los demás alejados hasta estar seguros de que los ejes se han detenido completamente.

- b) Detener el movimiento de giro en la manivela poco a poco, así evitar cambios bruscos de movimiento en el sistema de transmisión de potencia.

#### D) Limpieza e Inspección final

Luego de haber terminado el proceso de trituración siga los siguientes pasos:

- a) Inspeccionar el producto final, pues de este dependerá si es necesario realizar algún tipo de mantenimiento a la máquina o modificar los pasos de operación a fin de corregir los problemas.
- b) Limpie toda la suciedad o materias extrañas que puede contener la caja trituradora.
- c) Inspeccione la máquina para detectar piezas desgastadas o dañadas y apriete las tuercas o los tornillos que se hayan aflojado.



#### **ADVERTENCIA:**

Preste especial atención a los dientes de corte de las cuchillas.

#### E) Disposiciones finales

Si la máquina no se usara de forma cotidiana, es necesario accionar el molino triturador a intervalos regulares cada cierto tiempo, como mínimo cada cuatro semanas, y por lo menos 10 minutos. Hay que tener en cuenta que intervalos de uso mensuales ayuda a secar la humedad acumulada y lubrica las partes esenciales de la máquina, recordar que las piezas mecánicas secas pueden deteriorar la máquina y unos de los objetivos primordiales es mantener el equipo en condiciones adecuadas para su funcionamiento.

Recuerde almacenar la máquina en un lugar:

- Limpio y seco.
- Alejado de fuentes de calor, llamas abiertas, chispas.
- Cubierto para ofrecer mayor resguardo de la suciedad u objetos extraños.



#### **ADVERTENCIA:**

Antes de ejecutar labores de mantenimiento lea detenidamente el “Manual de Mantenimiento” y siga sus instrucciones.

## **MANUAL DE MANTENIMIENTO-MOLINO TRITURADOR**

### **INTRODUCCIÓN**

En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador se encuentran laboratorios específicos que ayudan a comprender conceptos y a dinamizar el aprendizaje por medio de equipos especiales, al ser una entidad de educación será de consecuencias graves tener accidentes que pongan en riesgo la salud de los estudiantes y también se evita degradar los equipos para que su nivel de alcance sea mayor. Por lo tanto, las causas pueden ser múltiples y diversas, entre las principales están los malos usos de los equipos, las condiciones de trabajo a las que están sometidas, fallas técnicas o bien la finalización de la vida útil del equipo. Antes de que la seguridad de las personas y de los equipos se vean comprometidas es necesario llevar a cabo mantenimiento de los mismo. Es en este punto donde cabe mencionar la importancia de realizar un programa de mantenimiento efectivo y confiable para los equipos de los laboratorios. Entonces será necesario llevar un control periódico y ordenado de los trabajos de mantenimiento para reducir al máximo los posibles problemas que puedan surgir en los equipos de laboratorio.

El objetivo de este manual de mantenimiento es proporcionar un protocolo que brinde la oportunidad de centrar nuestra atención en la periodicidad de actividades que se deben ejecutar, para garantizar la mantenibilidad del equipo. De esta manera se darán pautas necesarias sobre las formas de realización, medición y distribución de los tiempos de mantenimiento, seguridad de los trabajos y aspectos a tener en cuenta para facilitar el mantenimiento.

## BENEFICIO DEL MANTENIMIENTO

Es importante conocer el ensamble de la maquina (Figura A.C.1), esto es útil a la hora de dar el mantenimiento requerido. Entre los beneficios alcanzados al desarrollar un programa de mantenimiento efectivo se encuentran:

- a) Reducción de fallas inesperadas de los equipos.
- b) Aumento de tiempo medio de funcionamiento de la maquinaria sin paradas.
- c) Reducción de la cantidad de repuestos de reserva.
- d) El buen estado de los equipos durante su vida útil.

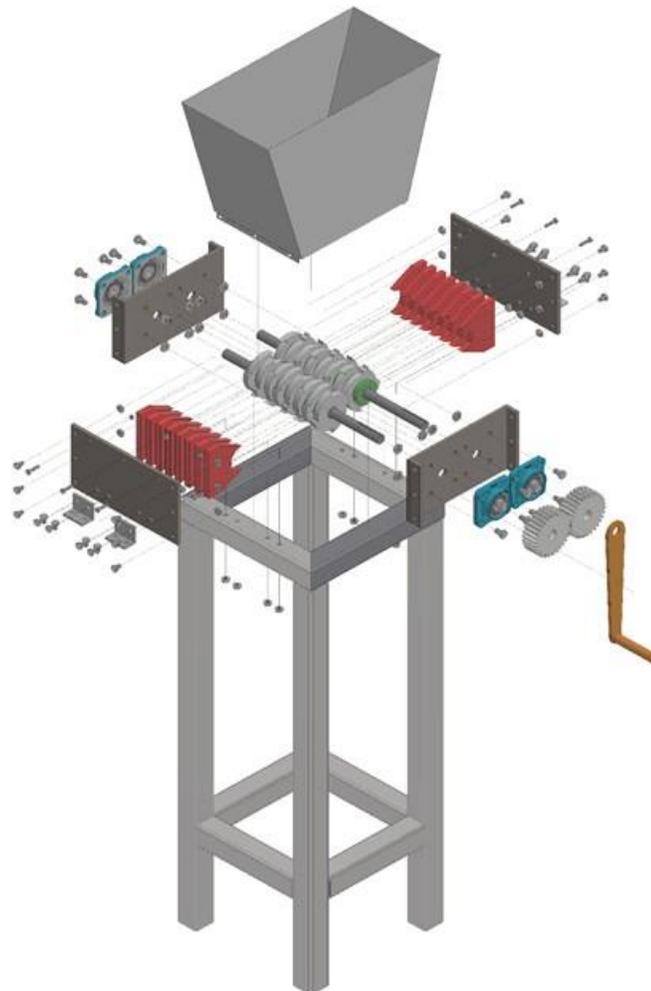


Figura A.C.1: Dibujo de ensamble del molino triturador.

<b>RUTINAS DE MANTENIMIENTO</b>															
Realice las tareas de mantenimiento regular	Realice las tareas de mantenimiento periódico según se indica en el manual para mantener la trituradora en condiciones seguras de trabajo.														
Respete las reglas de seguridad	<p>Lea y respete estas reglas de seguridad cuando realiza tareas de servicio al molino triturador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupe todas las medidas de seguridad ocupacional vertidas en el manual de operaciones.</li> <li>• Piezas de repuesto. Si hay que cambiar una pieza, use solamente piezas de reparación acordes al diseño de la máquina. Las piezas de repuesto que no responden a las especificaciones pueden resultar peligrosas para la seguridad o provocar el funcionamiento deficiente del molino triturador.</li> </ul>														
Lubricación	<p>Hay que engrasar los rodamientos de los ejes del molino triturador. Aplique un film lubricante, también llamado película de aceite, entre los cuerpos rodantes y la pista de rodadura.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Especificaciones del lubricante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de lubricante</td> <td>Grasa VIB: grasa para piezas sometidas a choques o vibraciones importantes.</td> </tr> <tr> <td>Usos</td> <td>Recomendada para su uso en papeleras, molinos, cribas vibrantes, ventiladores.</td> </tr> <tr> <td>Rango de temperaturas</td> <td>-20 °C y +140 °C</td> </tr> <tr> <td>Consistencia</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Viscosidad a 100 °C</td> <td>25 cSt</td> </tr> <tr> <td>Viscosidad a 40 °C</td> <td>360 cSt</td> </tr> </tbody> </table>	Especificaciones del lubricante		Tipo de lubricante	Grasa VIB: grasa para piezas sometidas a choques o vibraciones importantes.	Usos	Recomendada para su uso en papeleras, molinos, cribas vibrantes, ventiladores.	Rango de temperaturas	-20 °C y +140 °C	Consistencia	2	Viscosidad a 100 °C	25 cSt	Viscosidad a 40 °C	360 cSt
Especificaciones del lubricante															
Tipo de lubricante	Grasa VIB: grasa para piezas sometidas a choques o vibraciones importantes.														
Usos	Recomendada para su uso en papeleras, molinos, cribas vibrantes, ventiladores.														
Rango de temperaturas	-20 °C y +140 °C														
Consistencia	2														
Viscosidad a 100 °C	25 cSt														
Viscosidad a 40 °C	360 cSt														

	Aceite de base	Semisintético	
Ajuste y afilado de los dientes	<p>Uno de los elementos más críticos del molino triturador son las cuchillas de corte. Es el elemento más afectado por los daños y el desgaste. Cuando se trituran las latas de aluminio, no solamente entra en contacto las cuchillas con las latas, sino que además se topa abrasivos y objetos en el entorno como suciedad o residuos.</p> <p>La pérdida y el desgaste de los dientes de corte pueden reducir significativamente la eficiencia y el rendimiento del molino triturador. En consecuencia, es importante hacer inspecciones frecuentes del estado de todos los dientes de corte y afilar o cambiar las cuchillas si ya están demasiados dañados o desgastados. Si los dientes se afilan antes del desgaste excesivo, los dientes duran más y se obtiene un rendimiento más alto.</p> <p>Ajuste de las cuchillas de corte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpie el área con un cepillo de alambre.</li> <li>• Se recomienda aplicar pasta blanca universal para lubricar la superficie deslizante del eje y las cuchillas de corte, protegiendo además contra la corrosión.</li> <li>• Inspeccione la cuchilla de corte.</li> <li>• Cuando se necesite el mantenimiento de alguna cuchilla siga los pasos de agilado de los dientes.</li> </ul> <p>Afilado de los dientes de corte:</p> <p>Las cuchillas de corte cuentan con un tratamiento térmico (cementación) por lo tanto mejoran ampliamente su rendimiento. El carburo se mantiene afilado más tiempo, corta más rápido y más uniforme y soporta mejor el calor. Para su afilado siga lo siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpie el área con un cepillo de alambre.</li> </ul>		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lije los dientes de corte para recuperar la superficie. Debe comenzar con lijas de agua #120, #180, #220, #320, #400 y #500.</li> <li>• Es necesario que se realice en etapas para conseguir una superficie uniforme, suave y libre de defectos apreciables a simple vista, siempre conservando la forma original del filo.</li> <li>• Se recomienda utilizar al final una cera protectora que hará más duradero el acabado final.</li> <li>• De ser necesario cambiar la cuchilla de corte será necesario revisar el procedimiento de fabricación por medio de un centro de maquinado CNC para obtener la forma y geometría correcta y posteriormente realizar el tratamiento térmico adecuado.</li> </ul>
Engranajes rectos	Hay que realizar una inspección frecuente del estado de los dientes de los engranes rectos, a fin de controlar su correcto funcionamiento.

### PROGRAMA DE MANTENIMIENTO



**ADVERTENCIA:**

Antes de intentar realizar tareas de mantenimiento, ¡asegúrese de que tiene todo el equipo de seguridad adecuado y que la máquina este totalmente detenida!

Elemento a verificar	Cada uso	20 horas	Mensualmente	Cada 6 meses
Rodamientos, eje-grasa		X		
Pernos-apriete			X	
Calcomanías de advertencia-legibilidad	X			
Dientes de corte	X			

Engranés Rectos				X
Limpieza externa	X			
Revisión del aspecto físico general del equipo y sus componentes			X	
Inspección interna del equipo				X

**NOTA:**

Si es necesario cambiar una pieza, use solamente piezas que responden a las especificaciones por la cual fueron diseñadas. Las piezas de repuesto que no responden a las especificaciones pueden resultar peligrosas para la seguridad o provocar el funcionamiento deficiente del molino triturador.

### **INSTRUCTIVO DE USO DEL FORMATO DE CALENDARIZACIÓN DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS**

Con este formato se pretende programar los mantenimientos de acuerdo a su uso y necesidades de la máquina, considerando también las actividades del laboratorio y días festivos, Por lo tanto, su llenado es de la siguiente manera:

- 1) Período: Anotar el periodo actual en base a la clase.
- 2) Mes: Se anota el mes a efectuar el mantenimiento.
- 3) Área: Especificar el área que recibirá el mantenimiento.
- 4) Responsable: Nombre de la persona responsable del área.
- 5) Cantidad: Especificar el número de equipos.
- 6) Descripción del equipo: Indicar una breve descripción del equipo.
- 7) Fecha: Anotar el período en que se realizará el mantenimiento.

Período (1)

Mes (2)	Área (3)	Responsable (4)	Cantidad (5)	Descripción del equipo (6)	Fecha (7)

Con el programa ya establecido se pretende hacer el mantenimiento a los equipos en tiempo y forma.

### **FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO O CORRECTIVO**

Llene el presente formulario cada vez que se realicen tareas de mantenimiento en la máquina. Sea claro y breve. Garantizar que todos los campos estén llenos al final de cada mantenimiento. Llene con una X los campos que así lo requieran.

- 1) N° de mantenimiento. Indicar el número de servicio
- 2) Tipo de mantenimiento. Especificar el tipo de mantenimiento correctivo o preventivo.
- 3) Fecha de inicio. Especificar la fecha de inicio del mantenimiento.
- 4) Fecha de finalización. Especificar la fecha de finalización del mantenimiento.
- 5) Nombre del encargo. Escribir el nombre del encargado de realizar el mantenimiento.
- 6) Traslado: Indicar si el bien será reparado fuera de la escuela de Ingeniería mecánica.
- 7) Lugar de traslado: Indicar si es el caso, el lugar de traslado de la máquina.
- 8) Descripción del servicio o falla. Describir la falla o el servicio a realizar.
- 9) Diagnóstico de la falla. Describir el diagnóstico de la falla.
- 10) Elementos a realizar mantenimiento: Elementos que se verán afectados por el mantenimiento.
- 11) Descripción del mantenimiento: Descripción del proceso desarrollado en el mantenimiento.

- 12) Firma responsable. El responsable de dar mantenimiento firmará el documento.
- 13) Observaciones. Cualquier imprevisto que surgiera en la realización del mantenimiento.

A continuación, se presenta el formato que se usa para el mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso.

No. de mantenimiento (1):

Tipo de mantenimiento (2): Preventivo  Correctivo

Fecha de inicio (3):  Fecha de finalización (4):

Traslado (6):  Lugar de traslado (7).

Descripción del servicio o falla (8):

Diagnóstico de la falla (9):

Elementos a realizar mantenimiento (10):

Descripción del mantenimiento (11):

Firma del responsable (12): \_\_\_\_\_

Observaciones (13):