

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA-TAMIZADORA DE**  
**ARCILLA PARA LA ELABORACIÓN DE ALFARERÍA, CON CAPACIDAD**  
**DE 100KG/H, PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, PROVINCIA DEL**  
**COTOPAXI.**

**AUTORES:**  
**OSCAR MAURICIO GARCÍA AYALA**  
**VÍCTOR HUGO GUAYASAMÍN DE LA CRUZ**

**TUTOR:**  
**HOMERO ANTONIO YANCHAPAXI ALMACHI**

**Quito, septiembre del 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros García Ayala Oscar Mauricio y Guayasamín De La Cruz Víctor Hugo, con documentos de identificación N° 1719995670 y N° 1721024378 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA-TAMIZADORA DE ARCILLA PARA LA ELABORACIÓN DE ALFARERÍA, CON CAPACIDAD DE 100KG/H, PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, PROVINCIA DEL COTOPAXI.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Oscar Mauricio García Ayala  
CI: 1719995670



.....  
Víctor Hugo Guayasamín De La Cruz  
CI: 1721024378

Quito, septiembre de 2020

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA-TAMIZADORA DE ARCILLA PARA LA ELABORACIÓN DE ALFARERÍA, CON CAPACIDAD DE 100KG/H, PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, PROVINCIA DEL COTOPAXI.”, realizado por García Ayala Oscar Mauricio y Guayasamín De La Cruz Víctor Hugo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



.....

Homero Antonio Yanchapaxi Almachi

C.I. 1704227535

Quito, septiembre 2020

## **DEDICATORIA**

Para todas las personas que nunca dudaron de mis capacidades y que me apoyaron en esta etapa de mi vida. A mi hija Bianca que gracias a su amor incondicional nunca permitió que me rindiera. A mi madre por siempre apoyarme en todos los momentos y en todas mis decisiones con amor y su intachable moral. A mi padre por el ejemplo de trabajo y honestidad. A esa persona que ya no está, pero me ayudó a retomar mis estudios. A toda mi familia, amigos, docentes por siempre animarme y aconsejarme concluir mi carrera.

Oscar

En esta meta estudiantil. Quiero empezar dando gracias a Dios, que eligió esa familia para mí. A mi madre, padre y hermanos por estar a mi lado en los momentos difíciles durante este periodo académico. Solo los ánimos de seguir adelante, nos permitió conseguir este título que merecemos mi familia y yo. A cada uno de los docentes y amigos, que de alguna manera fueron ese aliento para seguir adelante y persistir en la carrera. Que con su ayuda, enseñanzas y colaboración he logrado al momento una de las metas a largo plazo que me trace en algún momento de mi vida. Agradezco a cada una de las personas que estuvieron a mi lado, A ustedes dedico esta tesis.

Víctor

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros más sinceros agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana, a sus autoridades y a todos sus colaboradores. Con especial distinción a los educadores de la carrera de Ingeniería Mecánica que supieron guiarnos e inculcarnos sus conocimientos, sin dejar de lado los valores y principios que la universidad fomenta. A los compañeros y profesores que en cada semestre nos ofrecieron su ayuda.

Oscar y Víctor

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	I
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Entorno de la parroquia La Victoria.....	1
1.2 Proceso de la fabricación de artesanía .....	2
1.2.1 Extracción.....	2
1.2.2 Depuración de la mezcla .....	2
1.2.3 Preparación.....	3
1.2.4 Amasado.....	3
1.2.5 Moldeado.....	4
1.2.6 Secado .....	4
1.2.7 Cocción y enfriado .....	5
1.3 Planteamiento del problema.....	5
1.3.1 Proceso para la preparación de la arcilla .....	6
1.3.2 Inconvenientes en la preparación de la arcilla.....	7
1.4 Propuesta de solución.....	7
1.5 Arcilla.....	7
1.5.1 Tipos de arcillas.....	8
1.5.2 La arcilla de parroquia la Victoria.....	9
1.5.3 Localización de la arcilla.....	10

1.5.4	Características de la arcilla.....	10
1.5.5	Propiedades de la arcilla.....	10
1.5.6	Estructura química.....	15
1.5.7	Elementos químicos de la arcilla.....	15
1.5.8	Composición de minerales de la arcilla.....	16
1.6	Molinos .....	17
1.6.1	Molinos para arcilla.....	17
1.6.2	Tipos de molinos de arcilla .....	18
CAPÍTULO II .....		26
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....		26
1.7	Criterios de evaluación.....	26
1.7.1	Mantenimiento.....	26
1.7.2	Operación de la máquina .....	26
1.7.3	Costo inicial.....	26
1.7.4	Facilidad de su construcción .....	26
1.8	Ponderación de criterios a evaluar .....	27
1.9	Ponderación numérica .....	27
1.10	Resultado de aceptación .....	28
CAPÍTULO III.....		29
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS .....		29
1.11	Cálculo de parámetros.....	29
1.11.1	Velocidad tangencial del martillo sin carga ( $v_v$ ).....	29
1.11.2	Velocidad del molino con carga ( $vc$ ).....	31
1.11.3	Radio de giro ( $Rg$ ).....	32
1.11.4	Velocidad angular del rotor con carga ( $\omega c$ ).....	32
1.11.5	Aceleración angular ( $\alpha$ ).....	33
1.12	Dimensionamiento de elementos de la máquina.....	33
1.12.1	Cálculo del martillo .....	34

1.12.2	Fuerzas presentes en los martillos .....	36
1.12.3	Falla por cizalladura de los martillos.....	36
1.12.4	Falla por tracción .....	38
1.13	Cálculo del plato porta ejes .....	40
1.13.1	Fuerzas que actúan sobre el plato .....	41
1.14	Separaciones entre martillos .....	42
1.15	Eje porta martillos.....	43
1.16	Eje principal .....	46
1.17	Diseño de fatiga ( <b>Se</b> ) .....	49
1.17.1	Factor de superficie.....	49
1.17.2	Factor de tamaño.....	49
1.17.3	Factor de carga.....	49
1.17.4	Factor de temperatura .....	49
1.17.5	Factor de confiabilidad .....	50
1.17.6	Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa .....	50
1.17.7	Esfuerzo Von misses ( $\sigma'$ ).....	50
1.18	Dimensionamiento del motor y transmisión .....	52
1.18.1	Potencia del motor .....	52
1.18.2	Transmisión de potencia .....	54
1.18.3	Tensado de la banda.....	56
1.19	Diseño de la estructura .....	57
1.19.1	Tolva de alimentación.....	57
1.19.2	Tolva de salida .....	58
1.19.3	Carcasa del molino.....	59
1.19.4	Tapa del molino .....	59
1.19.5	Diseño de la estructura soporte .....	60
1.20	Selección de chumacera .....	61
1.21	Diseño eléctrico.....	62

1.22	Resultados .....	64
	CAPÍTULO IV .....	66
	ANÁLISIS DE COSTOS .....	66
1.23	Costos directos .....	66
1.23.1	Costo de materia prima .....	66
1.23.2	Costo de elementos normalizados.....	67
1.23.3	Costo de mano de obra.....	68
1.23.4	Costo total directo .....	69
1.24	Costos indirectos .....	69
1.24.1	Costo de mano de obra indirecta.....	69
1.24.2	Costo de materiales consumibles .....	70
1.24.3	Costo indirecto total.....	70
1.25	Costo total de la máquina.....	71
1.26	Análisis económico .....	71
1.26.1	Depreciación de la máquina.....	71
1.26.2	Egreso del Alfarero .....	72
1.26.3	Tasa de endeudamiento incremental (TEI) con los últimos tres años. ....	73
1.26.4	Flujo neto efectivo (FNE) .....	73
1.27	Valor actual neto (VAN).....	74
1.28	Tasa interna de rendimiento (TIR) .....	75
1.29	Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).....	75
1.30	Periodo de recuperación de la inversión (PRI) .....	76
	CONCLUSIONES .....	77
	RECOMENDACIONES .....	79
	BIBLIOGRAFÍA .....	80
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad real, aparente y porosidad de la arcilla de alfarero. ....	11
Tabla 2. granulometría, coeficiente de uniformidad y curvatura de la arcilla de alfarero .....	12
Tabla 3. Humedad, color en seco y color húmedo de la arcilla de alfarero .....	14
Tabla 4. Elementos que componen la arcilla .....	16
Tabla 5. Porcentaje de composición mineralógica de la arcilla de la victoria .....	17
Tabla 6. Datos técnicos de un molino de bolas .....	20
Tabla 7. Datos técnicos de un molino de rodillos .....	23
Tabla 8. Datos técnicos de un molino de martillos .....	25
Tabla 9. Criterios a evaluar de los diferentes molinos tomados en consideración. ...	27
Tabla 10. Ponderación numérica de criterios a evaluar. ....	28
Tabla 11. Resultado total en la evaluación.....	28
Tabla 12. Características transmisión de potencia. ....	54
Tabla 13. Banda seleccionada. ....	56
Tabla 14. Principales características del motor seleccionado. ....	62
Tabla 15. Tiempos de los procesos de prelación de la arcilla.....	64
Tabla 16. Porcentaje de ahorro de tiempo en el proceso con la máquina. ....	65
Tabla 17. Costos directos e indirectos .....	66
Tabla 18. Se detalla el costo de materia prima involucrada en la fabricación de la máquina.....	67
Tabla 19. Costo de los elementos normalizados .....	68
Tabla 20. Costos de mano de obra .....	69
Tabla 21. Costo total directo .....	69
Tabla 22. Costos de mano de obra indirecta .....	70
Tabla 23. Costo de materiales consumibles .....	70
Tabla 24. Costo indirecto total. ....	70
Tabla 25. Costo total de la máquina.....	71
Tabla 26. Valores para la depreciación .....	72
Tabla 27. Depreciación anual.....	72
Tabla 28. Egreso mensual del alfarero de forma manual y con el molino.....	73
Tabla 29. Tasa de endeudamiento incremental .....	73
Tabla 30. Historial de ingresos y egresos durante los últimos 3 años.....	74
Tabla 31. Flujo neto efectivo neto .....	74

Tabla 32. Tasa de inflación promedio del ecuador. .... 76

## Índice de Figuras

Figura 1. Artesanías moldeadas en la era preincaicas .....	1
Figura 2. Extracción mecánica de arcilla .....	2
Figura 3. mina de arcilla de alfarero.....	2
Figura 4. Molino de arcilla. ....	3
Figura 5. Preparación de la arcilla para el moldeado . ....	3
Figura 6. Moldeado del barro en platillo giratorio de madera.....	4
Figura 7. Secado de Figuras de barro. ....	5
Figura 8. Horno de ladrillo para artesanías.. ....	5
Figura 9. Desterronamiento manual de la arcilla .....	6
Figura 10. Tamizado manual de la arcilla .....	6
Figura 11. Arcilla para ladrillo .....	8
Figura 12. Arcilla de alfarero .....	8
Figura 13. Arcilla de bola.....	9
Figura 14. Arcilla caolín.....	9
Figura 15. Producción de arcilla de la victoria.....	10
Figura 16. Picnómetro de vidrio.....	11
Figura 17. Tamices colocados en serie.....	12
Figura 18. Micrografía de la arcilla de la victoria .....	13
Figura 19. Foto de la arcilla húmeda de la victoria .....	14
Figura 20. Medición de arcilla mediante un potenciómetro.....	15
Figura 21. Estructura de la arcilla.....	15
Figura 22. Método de trituración por impacto o percusión. ....	18
Figura 23. Diagrama de un molino de bolas. ....	19
Figura 24. Partes principales de un molino de bolas. ....	19
Figura 25. Esquema de un molino de rodillos.....	21
Figura 26. Gráfico de un molino de rodillos .....	21
Figura 27. Diagrama de un molino de martillos.....	23
Figura 28. Partes de un molino de martillos móviles .....	24
Figura 29. Esquema de molino con parámetros de la máquina.....	29
Figura 30. Caída objeto metálico sobre masa de arcilla. ....	30
Figura 31. Radio de giro.....	32
Figura 32. Distribución de ejes alrededor del disco. ....	33
Figura 33. Dimensiones del martillo .....	34

Figura 34. Cambio de martillo por desgaste.....	34
Figura 35. Cálculo de la inercia del martillo. ....	35
Figura 36. Fuerzas que actúan sobre el martillo.....	36
Figura 37. Área de cizallamiento del martillo y corte.....	37
Figura 38.. Fuerzas en el eje normal y área transversal.....	39
Figura 39. Distancia de las perforaciones del plato.....	40
Figura 40. Dimensiones del martillo y plato porta ejes.....	41
Figura 41. Fuerzas involucradas en el plato y cizallamiento. ....	41
Figura 42. Espacio entre martillos.....	42
Figura 43. Distribución de fuerzas eje porta martillos. ....	44
Figura 44.diagrama de esfuerzos cortante ( $\tau_{max}$ ).....	45
Figura 45. Diagrama de momento flexionante( $m_{max}$ ).....	45
Figura 46. Eje principal.....	46
Figura 47. Distribución de cargas en el eje principal . ....	47
Figura 48. Diagrama de esfuerzo cortante .....	47
Figura 49. Diagrama de momento flexionante .....	47
Figura 50. Diagrama de esfuerzo cortante .....	48
Figura 51. Diagrama de momento flexionante.....	48
Figura 52. Eje redondo con filete en el hombro de flexión.....	51
Figura 53. Dimensionamiento de poleas. ....	54
Figura 54. Deflexión y tramo libre en la banda.....	56
Figura 55. Angulo de inclinación de la tolva .....	57
Figura 56. Geometría de la tolva .....	58
Figura 57. Esquema del molino.....	58
Figura 58. Partes de la carcasa de molino .....	59
Figura 59. Partes y geometría de la tapa del molino. ....	59
Figura 60. Soporte principal.....	60
Figura 61. Cuerpo del bastidor.....	61
Figura 62. Motor monofásico.....	62
Figura 63. Circuito de potencia. ....	63
Figura 64. Circuito de control .....	63

## GLOSARIO

**Arcilla:** es un mineral puede tener color café y blanco cuando se encuentra en su estado puro, que adquiere buenas propiedades plásticas cuando se mezcla con agua [1]. Es utilizada generalmente en aplicaciones de producción de alfarería [2].

**Molienda:** proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido [3].

**Alfarería:** arte y técnica de fabricar objetos de barro cocido [4].

**Tamizado o cribado:** se realiza mediante un tamiz o criba que sirve para separar partículas de diferentes tamaños [5].

**Triturar:** cuando un material es sometido a fuerzas de compresión o impacto, se produce una explosión que reduce el tamaño del material[1].

**Granulometría:** mediante tamices se separa los diferentes tamaños de partículas de un compuesto para calcular la abundancia de los correspondientes de cada tamaño[2].

## **RESUMEN**

El siguiente proyecto tiene la finalidad de diseñar y construir una máquina trituradora-tamizadora que facilitará la preparación de la arcilla de la parroquia La Victoria, donde los alfareros acostumbran a realizar este proceso de forma manual.

Se procedió a evaluar todas las necesidades que los alfareros requieren en la preparación y se logra proponer la mejor alternativa de diseño y construcción de una máquina semiautomática que facilitará el trabajo y tiempo utilizados en este proceso.

Con una capacidad de trabajo de 100kg/h la máquina recibe la arcilla en forma de terrones, los tritura y tamiza para continuar con el siguiente proceso de mezcla.

Para el dimensionamiento de la máquina se realizó el cálculo de la fuerza necesaria que necesitan realizar los martillos para desterronar la arcilla. Se utilizó el software Inventor para calcular los ejes que soporten la velocidad de giro y peso de los componentes. Mediante el programa SolidWorks se realizaron los planos de: martillos, ejes, estructura de la máquina.

**Palabras clave:** trituradora, tamiz, criba, arcilla, molino.

## **ABSTRACT**

The following project has the proposal to design and build a crushing-sieving machine that will facilitate the preparation of clay from the La Victoria parish, where potters usually carry out this process manually.

The procedure to evaluate all the needs that the potters require in the preparation and it is possible to propose the best alternative of design and construction of a semi-automatic machine that facilitates the work and the time used in this process.

With a working capacity of 100 kg / h, the machine receives the clay in the form of lumps, crushes and sieves it to continue with the next mixing process.

For the sizing of the machine, the calculation of the necessary force that the hammers need to perform to crush the clay was performed. Check the Inventor software to calculate the axes that support the rotational speed and weight of the components. The SolidWorks program will use the drawings of: hammers, shafts, machine structure.

**Key words:** crusher, sieve, sieve, clay, mill.

## INTRODUCCIÓN

En la parroquia de La Victoria, localizada en la provincia del Cotopaxi, la base fundamental de su economía es la alfarería, debido a tradición desde tiempos incaicos, es por eso que la mayor cantidad de su población se dedica a esta actividad [1].

Debido al proceso rudimentario con el que preparan la arcilla los alfareros de la parroquia La Victoria, se busca implementar un método semiautomático. Como menciona I. Cuadrado & J. Rueda [3], los artesanos necesitan cambiar los procesos obsoletos que se realizaban antiguamente y transformarlos en métodos con tecnología que aumentes su producción y mejoren el acabado en sus productos. Los mismos que reducirán costos y tiempos de producción, ser más competitivos y alivianar la carga física de los alfareros.

El proyecto se dividirá en varios capítulos. El primer capítulo tiene la finalidad de explicar el proceso de fabricación de las artesanías, características, propiedades y tipos de arcilla utilizada en La Victoria. También se abarcará la investigación de los diferentes tipos de molinos para la correcta realización del diseño de la máquina para la preparación de arcilla.

En el capítulo dos se estudiará el análisis de alternativas, seleccionando cuatro criterios y utilizando el método de Scoring [3] para seleccionar la máquina idónea para la alfarería de La Victoria. El diseño y construcción de la máquina se explican en el capítulo tres. Aquí se realizarán los cálculos para la correcta elección de los materiales y selección de los elementos para la estructura de la máquina. En el último capítulo se realizará el análisis de costos que permitirá evaluar la implementación de la máquina. Se enlistará todos los costos de materiales y procesos involucrados en la construcción de la misma.

El diseño y construcción de esta máquina permitirá que los alfareros logren trabajar de una forma más organizada, logrando que crezcan como empresa y sin dejar de lado su trabajo artesanal.

La Victoria es una parroquia ubicada en el cantón de Pujilí, los artesanos producen objetos moldeando la arcilla. El alfarero realiza el proceso de preparación de la arcilla

utilizando un martillo para triturarla y un tamiz para cernirla, todo esto de forma manual. En este método se emplea gran esfuerzo físico y al cernir se pueden filtrar desperdicios o tamaños no uniformes para la mezcla. Este proyecto busca eliminar el método manual de preparación del material.

El proyecto de diseño y construcción de una máquina busca implementar un sistema de trituración y tamizado semiautomático de la arcilla, que permitirá remplazar el método rudimentario que actualmente se utiliza, para disminuir el esfuerzo físico que realiza el alfarero y mejorar su producción.

El objetivo general consiste en diseñar y construir una trituradora-tamizadora de arcilla para la elaboración de alfarería, con capacidad de 100kg/h para la parroquia La Victoria, Provincia de Cotopaxi.

Los objetivos específicos son:

- Investigar la situación actual en la parroquia la Victoria acerca de la alfarería para la implementación de procesos de producción semiautomáticos.
- Evaluar la alternativa más viable recopilando información sobre construcción de una trituradora-tamizadora para la alfarería.
- Diseñar la estructura y piezas de la trituradora-tamizadora mediante el software SolidWorks 2018 para el dimensionamiento óptimo.
- Validar el funcionamiento de la máquina mediante pruebas experimentales (variación de la velocidad en el proceso), para que cumpla con la capacidad de 100 kg/h.
- Analizar la viabilidad y factibilidad de la implementación de la trituradora-tamizadora para el proceso de moldeo en arcilla de los alfareros.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Entorno de la parroquia La Victoria

La Victoria, fue fundada el 2 de mayo de 1936 [4], pertenece al Cantón Pujilí. Es la parroquia más importante del Cotopaxi en la producción de alfarería. Donde existía Mulinlivi, esta era una hacienda en la que los obreros se independizaron y vivían del arte de moldear el barro por herencia de sus ancestros.

El Barrio Tejar es uno de los principales lugares de fabricación de las artesanías con arcilla, donde se inició la transformación del barro en arte, constituyó asentamientos indígenas que se dedicaban a la producción de la alfarería y cerámica en los tiempos preincaicos, incaicos y durante la colonia como se aprecia en la Figura 1. En la actualidad a perdido importancia porque la actividad se ha estancado en la producción de artesanías de manera manual [4].



Figura 1. Artesanías moldeadas en la era preincaicas [1]

En la parroquia La Victoria se realiza como principal actividad la producción de productos a base de la arcilla principalmente en artesanías como: floreros, platos, Figuras, etc.[4] y de productos para la construcción como las tejas.

## 1.2 Proceso de la fabricación de artesanía

### 1.2.1 Extracción

El proceso de extracción de la arcilla comienza cuando se cava mediante maquinaria y encontrar asentamientos arcillosos, luego se lo separa de suelo. Después de ese proceso se puede explotar la mina para la obtención de arcilla. Se realiza con herramientas de trabajo manual como: pico, pala, carretilla o mecánicamente con una excavadora y volqueta Figura 2.



Figura 2. Extracción mecánica de arcilla[5].

### 1.2.2 Depuración de la mezcla

La depuración consiste en separar los elementos extraños e impurezas de los terrones de arcilla, estos elementos pueden ser: maleza, rocas, etc. Figura 3, este proceso también se lo puede realizar por filtrado de agua. De este proceso depende que la arcilla obtenga las propiedades necesarias para el siguiente proceso [2].



Figura 3. Mina de arcilla de alfarero.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín

### 1.2.3 Preparación

Consiste en triturar el material arcilloso proveniente de la mina, luego tamizarla hasta dejarla como polvo y luego pasar al siguiente proceso de mezcla o amasado [4]. Este proceso puede ser realizado de forma manual o mecánica con un molino Figura 4.

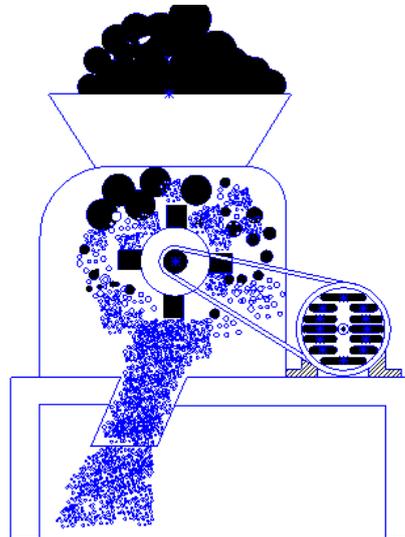


Figura 4. Molino de arcilla.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.2.4 Amasado

Luego de su trituración y molienda, se procede a amasar Figura 5. Este proceso consiste en mezclar la arcilla con agua hasta obtener una mezcla uniforme llamada barro. Cuando no existe un correcto amasado, el acabado final podría sufrir fallas en el proceso de horneado.



Figura 5. Preparación de la arcilla para el moldeado [6].

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.2.5 Moldeado

Una vez obtenido el barro se coloca la pella en el platillo giratorio del torno que generalmente es de madera Figura 6 o barro, este plato ayuda a darle un perfil regular circular al objeto. Se tiene dos fases en el modelado: la primera donde se define la forma elemental a la artesanía y la segunda se le dan los detalles finales y adelgazan algunas partes de su superficie.

Existen partes de los objetos que se procede a dar forma manualmente o con ayuda de herramientas como estecas de madera y devastadores.



Figura 6. Moldeado del barro en platillo giratorio de madera.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.2.6 Secado

Conforme se vayan realizando las piezas, se van colocando en un área para ser secados de forma gradual Figura 7. Si el secado es muy rápido las piezas se pueden agrietar dado que pierden muy rápido la humedad [3]. Las piezas deben ser sometidas a un secado en sombra para su mejor acabado por lo menos unos días y a temperatura ambiente, sin viento ni sol directo[7]. Después de esto pasa a secarse en el sol.



Figura 7. Secado de Figuras de barro.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.2.7 Cocción y enfriado

Para iniciar este proceso se necesita de gran cantidad de calor (fuego) debido a que este proceso se inicia entre 550 y 600°C[8].

Se procede a colocar las artesanías en el horno Figura 8. El tipo de arcilla determinará a qué temperatura se debe calentar, esta es aproximadamente 1000°C. La duración de la cocción depende del tipo de pieza, el tiempo en el horno oscila de ocho y diez horas.

Al terminar de hornear hay que dejar enfriar las piezas lentamente. Si es forzado el enfriamiento se pueden formar grietas en las artesanías.



Figura 8. Horno de ladrillo para artesanías.[9].

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.3 Planteamiento del problema

En la parroquia de la Victoria, el 71% de los habitantes tienen como principal actividad de trabajo a la fabricación de artesanías, materiales de construcción y comercialización de estos productos a base de arcilla [1]. Uno de los inconvenientes se encuentra en el

proceso de preparación de la arcilla, gran porcentaje de los alfareros realizan esta actividad de forma manual con conocimientos empíricos adquiridos durante varios años de trabajo.

Este proceso actual demanda algunos problemas y es una limitante para aumentar la calidad en sus productos, con esto se volverán mejores para lograr entrar en el mercado actual. Para encontrar los inconvenientes implicados, a continuación.

### 1.3.1 Proceso para la preparación de la arcilla

El proceso manual de preparación de la arcilla consta de los siguientes pasos:

Primero: el alfarero coloca una carretilla llena de arcilla en el suelo donde se procede a desterronarla mediante varios golpes utilizando un palo Figura 9.



Figura 9. Desterronamiento manual de la arcilla  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Después esta arcilla debe ser vertida sobre un tamiz Figura 10 para proceder con el cernido del material.



Figura 10. Tamizado manual de la arcilla  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### **1.3.2 Inconvenientes en la preparación de la arcilla**

Los principales problemas que se puede encontrar en esta técnica manual son:

Se puede observar en la Figura 9 que la mala postura del alfarero le puede causar problemas de salud corporal y tendencia a lesiones [10]. El desterronamiento manual es imperfecto ya que no triturará totalmente el material.

En la Figura 9 y Figura 10 se puede apreciar que el obrero realiza un gran esfuerzo físico al desterronar, luego debe trasladar mediante una pala al tamiz y finalmente cernir la arcilla. Esto puede limitar el trabajo para personas de cierta edad que ya no pueden realizar tareas forzosas. Otro inconveniente en este proceso de preparación es que al momento de cernir es imperativo contar con dos personas.

Con este procedimiento la capacidad de producción es limitada ya que es difícil para los alfareros establecer tiempos fijos [11], donde el proceso manual, la complejidad del trabajo y la cantidad del pedido son parámetros que puede variar el tiempo de producción.

En un día normal de trabajo, el proceso de preparación de la arcilla tarda 3 horas [12]. Esto puede retrasar a que el material continúe al siguiente proceso de mezclado.

### **1.4 Propuesta de solución**

El proyecto de diseño y construcción de una máquina trituradora-tamizadora busca implementar un sistema de trituración y tamizado semiautomático de la arcilla, que permitirá reemplazar el método rudimentario que actualmente se utiliza, para disminuir: el esfuerzo físico que realiza el alfarero, problemas de salud debido a la mala postura y mejorar los tiempos de producción.

### **1.5 Arcilla**

Es un material que se encuentra en la naturaleza, una vez que se le agrega agua en cantidades correctas se convierte en barro es decir se vuelve más fácil de moldear. Son frágiles en seco y poseen una buena capacidad de absorción. Estas poseen gran cantidad de propiedades propias de los minerales [13]. Sus aplicaciones se basan principalmente en la construir moldes, Figuras, ollas, tejas, ladrillos, etc. [3] y [14].

## 1.5.1 Tipos de arcillas

### 1.5.1.1 Arcilla para ladrillos

Conocida también como cascajo Figura 11. este tipo de material se lo puede encontrar en distintos tonos de color como amarillo-rojizo, sus principales aplicaciones están dirigidas a la producción de envases de almacenamiento como vasijas [15].



Figura 11. Arcilla para ladrillo[9].

### 1.5.1.1 Arcilla para alfarero

Llamada también barro rojo Figura 12, se utiliza de forma artesanal para alfarería se la puede diferenciar por el tono que presenta después del proceso de horneado de marrón-rojo. Al ser desterronada se aprecia que es fina, no necesita de un proceso posterior de terminado y generalmente se usa para decoración. Esta arcilla puede ser moldeada con ayuda del torno para conseguir un mejor acabado. La temperatura ideal para el horno debe ser de 800 a 1100°C aproximadamente [4].



Figura 12. Arcilla de alfarero[9].

### 1.5.1.2 Arcillas de bola

Cuando está en estado crudo es de color amarillo Figura 13, esto se debe a su alto contenido de material orgánico, esta arcilla se aclara una vez que ha salido del horno. Pertenece al grupo de las arcillas grasas, y dada su gran capacidad de contracción, sus buenas propiedades facilitan el moldeo con las mano [13].



Figura 13. Arcilla de bola[5].

### ***1.5.1.3 Caolín***

Su nombre mineral es caolina. Su principal característica radica en su color blanco, que la hace fácil de reconocer, sus propiedades elásticas son limitadas. Generalmente se la utiliza para ser combinada con diferentes arcillas. Para lograr una buena cocción necesita llegar a un rango de temperatura de 1201° a 1406° grados centígrados [6]. Su fórmula química es:



Figura 14. Arcilla caolín[6].

### **1.5.2 La arcilla de parroquia la Victoria**

En la Provincia del Cotopaxi la actividad minera, el 8% de la pequeña minería y minería artesanal son realizadas para la fabricación de objetos de arcilla en la parroquia [16]. Para la actividad alfarera en la Victoria se utiliza en gran medida la arcilla de alfarero.

Se presenta a continuación en la Figura 15 la evolución en la producción de arcilla de alfarero a partir del año 1998 hasta el 2010.

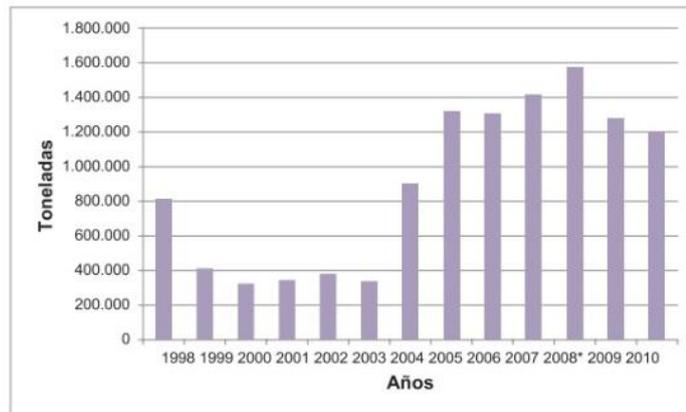


Figura 15. Producción de arcilla de la Victoria[17]

La producción más alta data del año 2008 con un total de 1'577.932,61 toneladas y la menos en el 2000 con 36.000 toneladas aproximadamente como se puede observar en la Figura 15.

### 1.5.3 Localización de la arcilla

Existen alrededor de 18 fuentes principales de extracción de arcilla en el Ecuador, localizadas en las provincias del Cotopaxi y Pastaza.

Los alfareros del barrio El Tejar utilizan principalmente la arcilla procedente de una mina del sector de Collas y el Tingo, ubicada en el cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi [18].

### 1.5.4 Características de la arcilla

Está compuesto por un sistema de partículas finas. Es un material muy utilizado para moldeado a mano [4]. De buenas características plásticas que puede soportar grandes temperaturas en el momento de cocción [4].

### 1.5.5 Propiedades de la arcilla

#### 1.5.5.1 Densidad real

La composición y densidad del suelo pueden variar [19]. Cuando el suelo se encuentra en estado sólido igual a la masa/volumen total [13]. Para determinar su densidad real se utiliza el método del picnómetro Figura 16 [20]. Consiste en un pequeño recipiente

de vidrio tapado, por la tapa tiene un desfogue o capilar por donde desaloja el agua en exceso.



Figura 16. Picnómetro de vidrio[21].

### 1.5.5.2 Densidad aparente

Es una propiedad relacionada con las prácticas de los suelos [22]. Es un indicador del grado de porosidad, grado de aireación y capacidad de drenaje del suelo [23].

### 1.5.5.3 Porosidad

Es el espacio ocupado por agua y/o aire que se encuentra en el suelo [19]. Se mide al igualar a la humedad [24]. Para medir la porosidad se realiza la resta de uno menos la relación entre la densidad real y aparente. A continuación se describe la Tabla 1 con las propiedades ya descritas anteriormente de la arcilla de alfarero

**Tabla 1.** Densidad real, aparente y porosidad de la arcilla de alfarero. [25]

Propiedad	Densidad Real	Densidad Aparente	Porosidad
Unidades	g/mL	g/mL	%
Valor	2,16±0,02	0,89±0,00	58,8

Con la cantidad de densidad real se puede conocer el porcentaje de cuarzo cuando está entre 2-4g/ml según [26]. Para densidad aparente de 0.87-1.33g/ml como menciona [25].

La Tabla 1 indica que las arcillas de la Victoria son ricas en feldespatos al presentar un alto porcentaje de porosidad.

#### 1.5.5.4 Granulometría

Es conocido como un procedimiento que logra separar las partículas de acuerdo a sus tamaños, este procedimiento logra mostrar el contenido de los distintos tamaños [27]. Este proceso consiste en varios tamices de diferente tamaño en serie, los mismos que acumularán los distintos tamaños de grano como se muestra en la Figura 17.



Figura 17. Tamices colocados en serie[2].

#### 1.5.5.5 Uniformidad

Nos indica cual es el tamaño de las partículas que se localizan en los diferentes suelos. Cuando el coeficiente de uniformidad es menor de 5 la granulometría es uniforme, si se encuentra en el intervalo de 5 y 20 es poco uniforme y si es mayor de 20 se considera bien graduado [6].

#### 1.5.5.6 Coeficiente de curvatura

Por medio de este se puede obtener el porcentaje de equilibrio relativo que se puede encontrar al estudiar los diferentes suelos [28].

**Tabla 2.** Granulometría, coeficiente de uniformidad y curvatura de la arcilla de alfarero [25].

Propiedad	Granulometría ( $\mu\text{m}$ )	Coeficiente de uniformidad	Coeficiente de curvatura
Valor	649	6,3	0,92

Con el valor de la Tabla 2 se considera que la arcilla de la Victoria es gruesa al ser mayor a 0.2mm según el procedimiento de difracción de rayos x y estimación de la curva[29].

El coeficiente de uniformidad de la arcilla se encuentra entre 5 y 20 es decir es poco uniforme. El coeficiente de curvatura se encuentra en el rango fuera del intervalo de 1 a 3, esto significa que no son uniformes en el diámetro de sus partículas [19].

Estas propiedades de los materiales son analizadas con micrografías de barrido a 100X, 1000X [30].

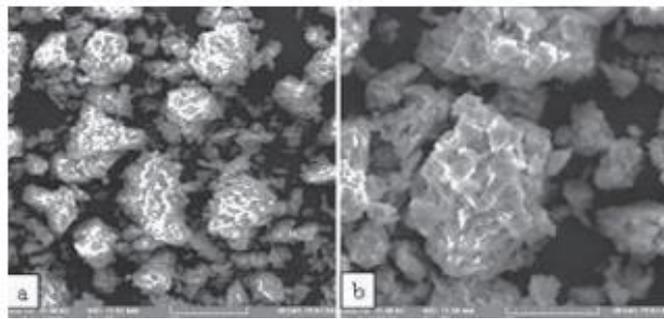


Figura 18. Micrografía de la arcilla de la Victoria a 100X y 3000X [30].

Mediante la microscopia electrónica de barrido de la Figura 18 [30]. En (a) se puede apreciar que la estructura de la arcilla es de grueso tamaño y en (b) se puede ver la grosura de la arcilla como arena gruesa.

#### ***1.5.5.7 Contenido de humedad***

Se conoce como el contenido de agua que posee la arcilla medida en base a la granulometría y análisis volumétrico [31].

#### ***1.5.5.8 Color en seco y húmedo***

Se realiza la medición de color en seco y húmedo, con la comparación de colores de la carta de Munsell [25].

**Tabla 3.** Humedad, color en seco y color húmedo de la arcilla de alfarero[25].

Propiedad	Contenido de humedad	Color seco	Color húmedo
Unidad	%		
Valor	6,42±0,08	Gris azul claro	Rojizo-café



Figura 19. Foto de la arcilla húmeda de la Victoria[25].

La Tabla 3 muestra el contenido de humedad en la arcilla de la Victoria fue bajo ya que su proceso de extracción es directamente de los yacimientos. En los minerales arcillosos el porcentaje de humedad se debe encontrar por lo menos en un 6% [32]. La presencia del color rojo-café quiere decir que presente en su composición hierro foto Figura 19 [33].

#### **1.5.5.9 Dureza**

Se conoce como la oposición que ofrecen los materiales a variaciones físicas como la penetración, la abrasión y el rayado. Las arcillas son considerados como materiales muy duros a escala de Mohs su dureza es de un 6 [25]. Esta escala sigue una relación de diez minerales ordenados por su dureza.

#### **1.5.5.10 PH**

En la mineralogía del suelo el ph puede depender de diversos factores: el clima y el intemperismo (transformación química de las rocas en suelo)[34]. Si la acidez del suelo es baja el pH será mayor a 6,00 y cuando el pH es menor a 6 es alto, el aluminio tiene un gran porcentaje[14]. El valor se puede obtener mediante mediciones con ayuda de un potenciómetro Figura 20.

El valor del ph de la arcilla de la Victoria es de 6.55 [30],



Figura 20. Medición de arcilla mediante un potenciómetro[35].

### 1.5.6 Estructura química

Su estructura está constituida por una malla hexagonal, donde los tetraedros tienden a ceder tres átomos [4]. También está formado con gran cantidad de sílice y posee cargas en las láminas esto le permite intercambiar sus cátodos. Por tal motivo es de gran importancia en la industria porque puede ser utilizada en diferentes aplicaciones.

Por otro lado, la arcilla es componente esencial de la roca sedimentaria Lutita y de los suelos. Tiene una estructura parecida a la de la mica. La cantidad de Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en la fórmula es clave en la clasificación de sus minerales Figura 21 [5].

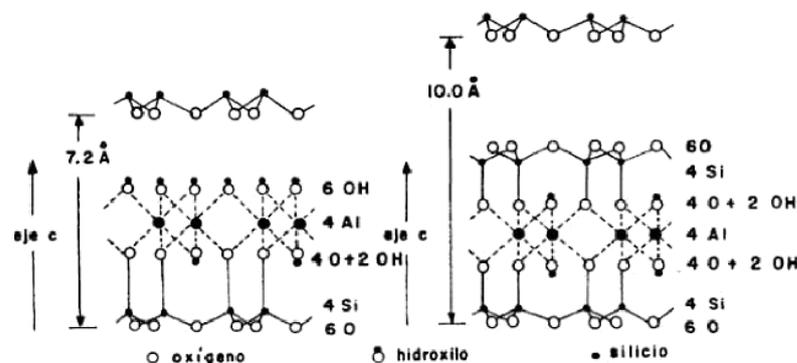


Figura 21. Estructura de la arcilla[6]

### 1.5.7 Elementos químicos de la arcilla

Las arcillas de la Victoria contiene los siguientes elementos químicos:

Silicio, calcio, magnesio, hierro, potasio, antimonio, titanio, manganeso y sodio Tabla 4 [33]. Estos porcentajes se pueden obtener por medio de una espectrofotometría de absorción atómica.

**Tabla 4.** Elementos que componen la arcilla[30] y [33].

Mineral	Símbolo	Porcentaje (%)
Silicio	Si	58,72
Aluminio	Al	16,02
Calcio	Ca	4,34
Magnesio	Mg	10,09
Hierro	Fe	7,87
Potasio	K	1,98
Antimonio	Sb	<0,10
Titanio	Ti	0,82
Manganeso	Mn	0,15
Sodio	Na	<0,10

#### **1.5.8 Composición de minerales de la arcilla**

La capacidad de plasticidad y fundición depende de los minerales presentes en la arcilla. La composición de minerales se puede analizar por difracción y de su estructura por toma de microfotografías con un microscopio de barrido Tabla 5.

**Tabla 5.** Porcentaje de composición mineralógica de la arcilla de la Victoria [30].

Mineral	Fórmula	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	4
Grupo Plagioclasa	(NaCa)Al(SiAl)Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	53
Grupo Esmeclitas	(AlMgNa)(OH) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> .4H <sub>2</sub> O	<1
Caolina	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub>	25
Muscovita	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	3
Gibbsita	Al(OH) <sub>3</sub>	<1
Cordierita	Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	3
Plogopita	K(MgFe) <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (FOH) <sub>2</sub>	<1
Enstantita	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	4
Clinocloro	(MgFe) <sub>5</sub> Al(SiAl) <sub>4</sub> .10(OH) <sub>8</sub>	<1
Diopside	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	3
Halloysita	Al <sub>2</sub> (SiO <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	<1
Pargasita	Na <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> (MgFe) <sub>4</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	3
Hermatita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1

El contenido de grupo de las plagioclasas con un 53%, le otorga una capacidad fundente que permite la cocción de piezas en cerámica roja Tabla 5 [23].

## 1.6 Molinos

Los molinos son equipos construidos para lograr triturar o aplastar materiales duros o disminuir el tamaño de sus partículas y clasificarlos, puede trabajar con infinidad de materiales [36] y[4], todo este proceso que reduce el tamaño de grano, ayuda en la manipulación y en su fácil almacenamiento. Son utilizados en diferentes campos de la industria como: minería, agricultura, alfarería, entre otros. Existen diferentes métodos en el funcionamiento de un molino.

### 1.6.1 Molinos para arcilla

Es el encargado de sustituir labores manuales como el desterronamiento de arcilla ayudado de un palo y el cernido con un tamiz.

En el proceso de preparación de la arcilla se realizan la tritución y tamizado. Las propiedades de la arcilla de la Tabla 2 ayudarán a la elección del tipo de molino.

El tipo de tritución a utilizar se hace en base a las particularidades del material que en este caso es arcilla, al ser material duro el proceso de tritución será mediante impacto o percusión como se aprecia en la Figura 22. La fragmentación se produce debido a un golpe instantáneo de un material duro sobre la partícula del mineral, o por golpe de la partícula contra el sólido o por choques entre partículas.

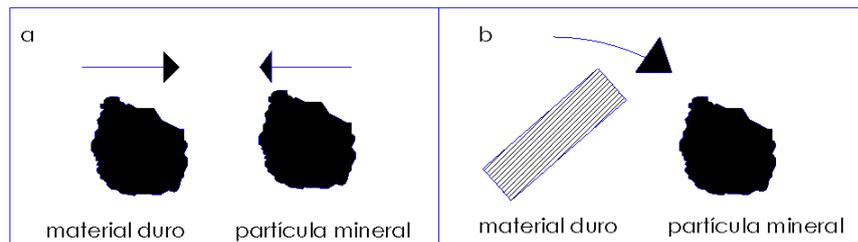


Figura 22. Método de tritución por impacto o percusión. a) choque entre partículas, b) impacto de material duro con partícula.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

## 1.6.2 Tipos de molinos de arcilla

Existen diferentes tipos de molinos dependiendo de su aplicación, características y funcionamiento, entre estos se tiene: de rodillos, de bolas, y de martillos.

### 1.6.2.1 Molino de bolas

Este tipo de molino se utiliza principalmente en la molienda fina de minerales. Su relación longitud/diámetro está entre 1 y 2. Sirve para la tritución de materiales secos o húmedos provenientes de minas Figura 23 y 24.

Es una estructura cilíndrica que gira en su propio eje. Las bolas de acero están localizadas hasta la mitad del cilindro, las mismas que son el medio de tritución del material [36]. Su aplicación se basa en: cementos, materiales de construcción, cerámica y vidrio; utilizadas en las industrias: minera, metalúrgica, siderúrgica y cementera.

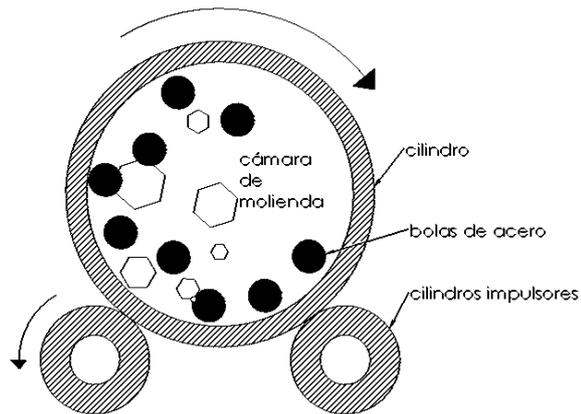


Figura 23. Diagrama del funcionamiento de un molino de bolas.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

- Funcionamiento

El material a moler entra en el cilindro, el molino comienza a girar y las bolas mediante movimiento libre comienzan a triturar el material por impacto y fricción. Posteriormente se realiza la descarga por medio de aire para material seco y agua para húmedo.

- Ventajas:

Costo de instalación bajo.

Utilizado para materiales con diferentes grados de dureza.

Aplicación en producción por lotes y en proceso continuo.

- Desventajas:

La superficie de contacto del rodillo con las bolas tiende a desgastarse.

Necesita de un proceso adicional para la descarga del material por aire o agua.

Partes Figura 24.

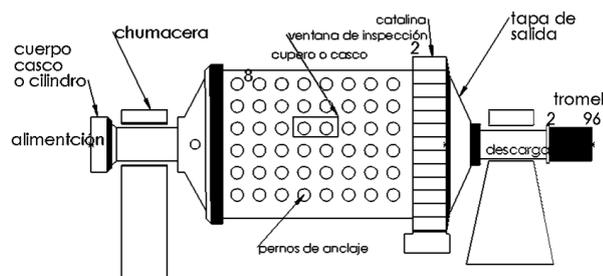


Figura 24. Partes principales de un molino de bolas.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

**Tabla 6.** Datos técnicos de un molino de bolas [37] y [38].

Aplicación	Molienda preliminar y fina
Campos de aplicación	Minería/metalurgia/siderurgia/cemento
Tipo de material a moler	Duros y semiduros (hasta 8 Mohs=7 Brinell)
Principio de molienda	Impacto y fricción
Granulometría inicial	< 30 mm
Granulometría final	< 0.5 mm
Rpm (referencial)	de 14 rpm a 38 rpm
% de velocidad crítica	65% a 75%
Material de bolas	Aleaciones de hierro-carbono al manganeso o al cromo
Diámetro de bolas	De 25 mm a 125 mm
Peso de bola (kg)	De 1.5 a 33
Dureza de bolas (HRC)	De 50 a 65
Capacidad	De 60 a 166 Kg/h (depende dureza de material)

#### **1.6.2.2 Molino de rodillos**

Estos molinos tienen una cámara interna donde se encuentran alojados un par de cilindros que pueden ser se superficie rugosa, lisa, estriada o dentada; que giran en distinta dirección, pero a la misma velocidad. Se usan para descomponer y procesar una serie de materiales utilizados en industria agrícola y en la construcción, para trituración de grava en pequeñas rocas o polvo Figura 25. Se resumen sus características en la Tabla 7.

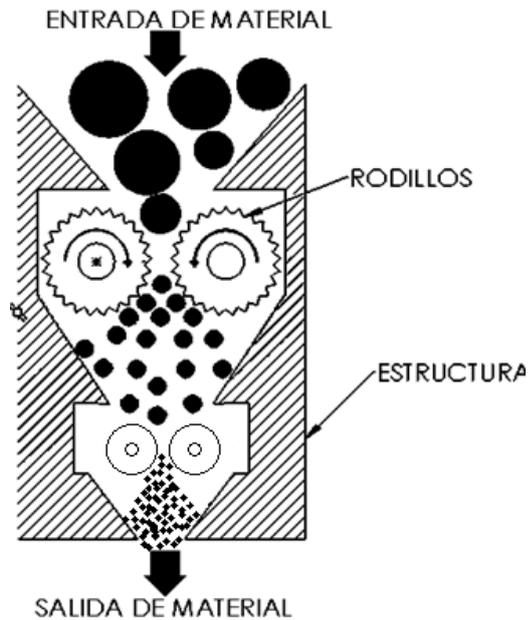


Figura 25. Esquema de funcionamiento de un molino de rodillos.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

- Funcionamiento

El motor hace girar a los rodillos, y estos van a girar en dirección inversa pero a la misma velocidad [4].

Luego de que el material pasa entre ellos se presentan esfuerzos de corte y aplastamiento esto genera que el material que pasa se triture o aplaste dependiendo de su aplicación posterior a eso caen a un tamiz.

Partes principales de un molino de rodillos Figura 26.

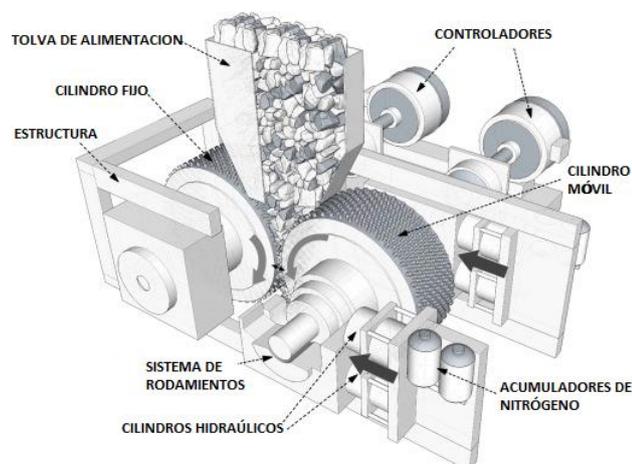


Figura 26. Gráfico de un molino de rodillos con sus principales partes[39].

- Ventajas

La superficie de sus rodillos cubre un buen porcentaje de área, esto reduce tiempos de triturado del material.

Es una trituradora de fácil operación.

Su proceso de mantenimiento es muy simple, no genera alto costo.

Puede trabajar con una gran variedad de materiales

- Desventajas

Cambio de rodillos por fallos por materiales extraños.

No tiene mucho desarrollo en industrias ajenas al aplastamiento de alimentos.

**Tabla 7.** Datos técnicos de un molino de rodillos [37] y [38].

Aplicación	Molienda preliminar y fina
Industria	Geología, Metalurgia, Construcción, Química, Cerámica.
material a moler	duro, semi duro, frágil
Principio de molienda	compresión
Granulometría inicial	< 30mm (mineral)
Granulometría final	< 50 $\mu$ m (harina)
rpm(referencial)	40 rpm (caña de azúcar)
Material de rodillos	acero templado, carburo de tungsteno, rocas,
Capacidad	300 a 500 kg/h

### 1.6.2.3 Molino de martillos móviles

Tritura el material por medio de percusión. Sus aplicaciones tienen buena acogida en diferentes industrias como la metalúrgica, en la agrícola, de reciclaje, cementera, alfarera Figura 27 [38]. Sus características se encuentran en la Tabla 8.

#### - Funcionamiento

El material ingresa por la tolva superior, el rotor que contiene a los martillos gira haciendo que estos impacten con el material y lo trituren, el proceso continúa hasta que las partículas logren pasar por el tamiz y caigan por acción de la gravedad [36].

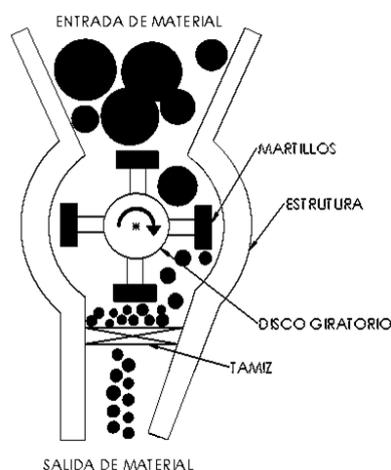


Figura 27. Diagrama de funcionamiento de un molino de martillos.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Partes de un molino de martillos Figura 28.

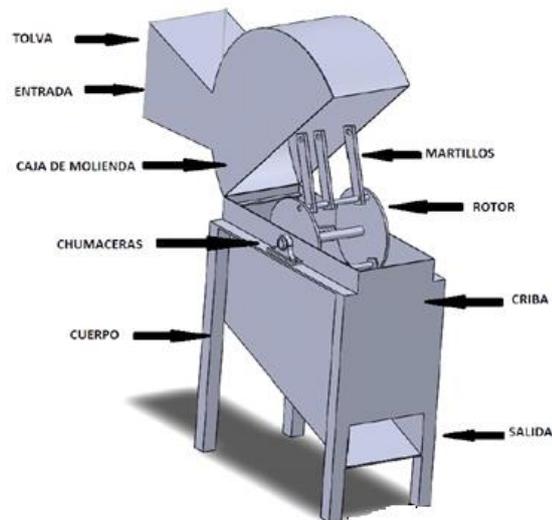


Figura 28. Partes de un molino de martillos móviles [36].

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

- Ventajas

Para su mantenimiento no genera grandes gastos, generalmente necesita solo limpieza.

Su fácil operación limita al trabajo de una sola persona.

El diseño de la tolva aporta a que el material pueda ingresar de forma continua.

Utilizado en grandes industrias.

Cuenta con carcasa por toda su estructura esto elimina de ruidos que produce la percusión de martillos con el material.

Fácil desmonte de sus piezas.

Logra eliminar la transferencia de calor al exterior.

- Desventajas

Es limitado en la uniformidad de trituración.

**Tabla 8.** Datos técnicos de un molino de martillos [38].

Principio de molienda	Impacto
Dimensión de cámara de molienda (mm)	Largo/ancho/altura de 2310/1665/1610 a 3720/2650/2540 (minería) Ancho/diámetro De 150/250 a 120/150 (agroindustria) De 0 a 3 mm (minería)
Granulometría	menos 101 $\mu\text{m}$ (agroindustria)
% de humedad del material a moler	Hasta el 20% (en molienda húmeda)
rpm (referencial)	1000 rpm a 2000 rpm (minería)
% de humedad del material a moler	Hasta 3000 rpm
Producción toneladas/hora	De 30 a 110 (minería) De 0.06 a 4 (agricultura)
Potencia (kW) toneladas/hora	De 70 a 130 (minerales) De 2 a 30 (agrícola) De 4 a 40 (agrícola)
Material de los martillos	Acero al manganeso (minerales) Acero al carbono (agrícola)

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISIS DE ALTERATIVAS**

Para tomar la mejor alternativa en diseño y la construcción de un máquina trituradora-tamizadora se utilizará el método de Sporting.

Este método se basa en una matriz que consta de: alternativas, criterios de evaluación, requerimientos y parámetros a evaluar; para seleccionar el método más conveniente de diseño.

#### **1.7 Criterios de evaluación**

Para la selección del molino se toma en cuenta los criterios como: mantenimiento, operación de la máquina, costo inicial y facilidad de su construcción.

##### **1.7.1 Mantenimiento**

Para el mantenimiento de la máquina se toma en cuenta costo de lubricación y repuestos. Al ser un proyecto orientado a personas de bajos ingresos económicos debe ser de bajo costo.

La dificultad de realizar el mantenimiento debe ser fácil, debido a que la parroquia la Victoria no cuenta con talleres o mano de obra especializada para realizar este tipo de actividad.

##### **1.7.2 Operación de la máquina**

Al ser enfocado a una comunidad donde los operadores no son capacitados, el control del molino debe ser básico para evitar fallos en la maquinaria por impericia.

##### **1.7.3 Costo inicial**

Se debe tomar en cuenta el número de piezas a utilizar como: motor, carcaza, ejes, rodamientos.

##### **1.7.4 Facilidad de su construcción**

Para la construcción de la máquina se debe evaluar la complejidad del trabajo, tipo de herramientas a utilizar, etc.

## 1.8 Ponderación de criterios a evaluar

1= muy malo: no cumple con el criterio solicitado.

2= malo: no cumple con el criterio mínimo.

3= bueno: cumple con el criterio suficiente.

4= muy bueno: cumple con el criterio requerido.

5= excelente: cumple con el criterio de forma eficaz.

**Tabla 9.** Criterios a evaluar de los diferentes molinos tomados en consideración.

Criterios a evaluar	Alternativas		
	M. Bolas	M. Rodillos	M. Martillos
Mantenimiento	4	3	4
Operación	3	3	4
Costo construcción	2	3	3
Facilidad de construcción	2	2	3

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

## 1.9 Ponderación numérica

Se valora numéricamente los parámetros de criterios de evaluación, esto dependerá de su importancia en el diseño de la máquina.

1=nada importante: el criterio no tiene ninguna importancia en el proyecto

2= poco importante: el criterio no cumple con la importancia mínima para el proyecto.

3= importante: el criterio cumple con la importancia suficiente.

4= muy importante: el criterio es importante para el proyecto.

5= extremadamente importante: el criterio tiene gran importancia en el proyecto.

**Tabla 10.** Ponderación numérica de criterios a evaluar.

Ponderación	Criterios a evaluar
3	Mantenimiento
4	Operación
5	Costo construcción
4	Facilidad de construcción

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.10 Resultado de aceptación

Se tiene el resultado total al multiplicar los valores de la matriz de alternativas con los valores ya establecidos de los criterios según su importancia.

**Tabla 11.** Resultado total en la evaluación.

Alternativas	Alternativas		
	M. Bolas	M. Rodillos	M. Martillos
Mantenimiento	$3*4= 12$	$3*3= 9$	$4*3= 12$
Operación	$3*4= 12$	$3*4= 12$	$4*4= 16$
Costo construcción	$2*5= 10$	$3*5= 15$	$3*5= 15$
Facilidad de construcción	$2*4= 8$	$2*4= 8$	$3*4= 12$
Total	42	44	55

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

De acuerdo a los criterios de evaluación siguiendo el criterio de Sporting la mejor alternativa a seguir en el diseño y construcción de una máquina trituradora-tamizadora es mediante un molino de martillos que cumple con la mayor puntuación.

### CAPÍTULO III

## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS

Se realizará el cálculo de parámetros, diseño y simulación de las piezas más importantes de la máquina.

#### 1.11 Cálculo de parámetros

En esta sección se encontrará el valor de los principales parámetros involucrados en el dimensionamiento de la máquina. Se analizará la velocidad tangencial del martillo, radio de giro, velocidad angular del rotor, aceleración angular y fuerza de corte de los martillos. Estos se muestran en el siguiente gráfico Figura 29.

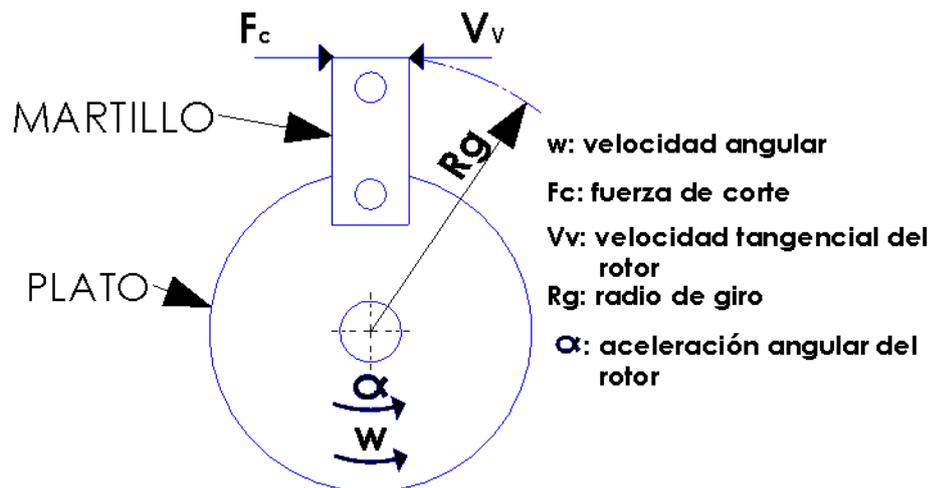


Figura 29. Esquema de molino con parámetros de la máquina

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

##### 1.11.1 Velocidad tangencial del martillo sin carga ( $v_v$ )

Es la velocidad que debe alcanzar el martillo para lograr triturar la arcilla. Se puede encontrar de forma experimental. Esto se explica en la Figura 30.

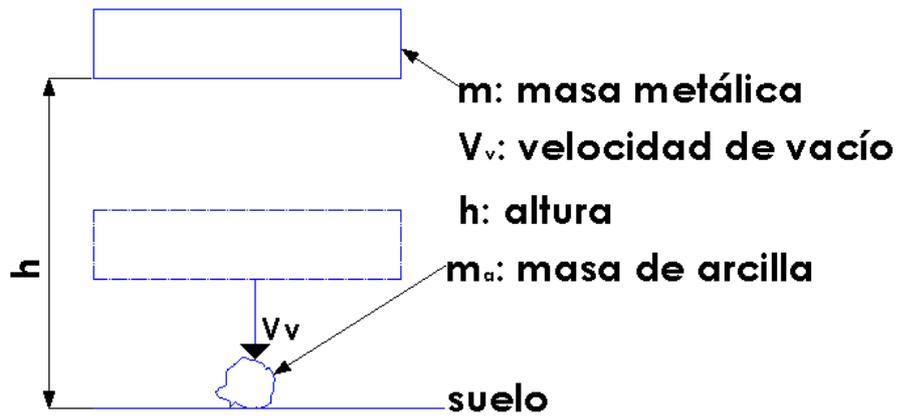


Figura 30. Caída objeto metálico sobre masa de arcilla.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Se deja caer una masa metálica sobre una masa de arcilla desde una altura (h) con respecto del suelo. Esta altura acumula una energía potencial:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

$E_{\text{pot}}$ : energía potencial de la placa

m: masa de objeto metálico

g: aceleración de la gravedad.

h: altura de caída.

Que se transforma en energía cinética cuando la placa metálica llega al suelo.

$$E_c = \frac{m_a \cdot v_v^2}{2} \quad (2)$$

$m_a$ : masa de arcilla

$v_v$ : velocidad del martillo en el vacío

Se pudo concluir que la masa del objeto de metal de 0.55 kg logró triturar una masa de 4,2 g al dejarla caer desde una altura de 0.65 m.

Al igualar la ecuación (1) y (2), se encuentra la velocidad de vacío del martillo en el impacto ( $v_v$ ) donde:

$$v_v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot m}{m_a}} \quad (3)$$

g: aceleración de la gravedad.

m masa del objeto metálico.

$m_a$ : masa de arcilla.

La masa de un grano de arcilla es de 0.0042 Kg.

$$v_v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.65 \text{ m} \cdot 0.55 \text{ kg}}{0.0042 \text{ kg}}} = 40.64 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 1.11.2 Velocidad del molino con carga ( $v_c$ )

Se trata de la velocidad tangencial del molino considerando al conjunto de martillos, platos y ejes como un volante [40]. Para calcular esta velocidad se utiliza la fórmula del coeficiente de fluctuación que para molinos de arcilla tiene un valor de 0.2 [41]

$$C_s = \frac{v_v - v_c}{v_t} \quad (4)$$

$C_s$ : coeficiente de fluctuación.

$v_v$ : velocidad tangencial sin carga

$v_t$ : velocidad tangencial media.

La velocidad tangencial media del volante es [40]:

$$v_t = \frac{v_v + v_c}{2} \quad (5)$$

Se sustituye (5) en (4) y se despeja  $v_c$ .

$$v_c = -v_v \cdot \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \quad (6)$$

$$v_c = -34.62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{0.2 - 2}{0.2 + 2} = 33.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad de vacío para molinos de arcilla obtenida se encuentra en el rango recomendado que es entre 30 y 45 m/s.

### 1.11.3 Radio de giro ( $R_g$ )

Este radio es igual a la distancia desde el centro del disco hasta el extremo del martillo  
Figura 31.

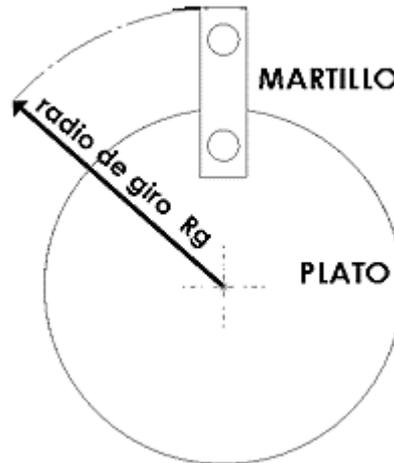


Figura 31. Radio de giro.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Para encontrar el radio de giro se despeja de la ecuación de la velocidad angular [42]. El valor de la velocidad angular del rotor recomendada para molinos arcilla según catálogos es de 1700 rpm[43].

$$R_g = \frac{60 v_c}{2\pi\omega_v} \quad (7)$$

$\omega_v$ : velocidad angular de vacío

$R_g$ : radio de giro

$v_c$ : velocidad tangencia con carga

$$R_g = \frac{60 \cdot 33.25 \frac{m}{s}}{2\pi \cdot 1700 \text{ rpm}} = 0.187 \text{ m} \approx 0.19 \text{ m}$$

### 1.11.4 Velocidad angular del rotor con carga ( $\omega_c$ )

Una vez obtenido el radio de giro se calcula la velocidad angular del rotor con carga para dimensionar la máquina.

$$\omega_c = \frac{v_c}{r_g} \quad (8)$$

$$\omega_c = \frac{33.25 \frac{m}{s}}{0.19 m} = 177.81 \frac{rad}{s}$$

### 1.11.5 Aceleración angular ( $\alpha$ )

El molino constará de un juego de 3 ejes en el plato con una separación de  $\theta = 120^\circ$  como se aprecia en la Figura 32.

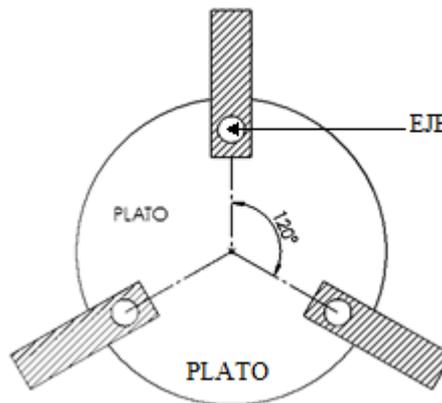


Figura 32. Distribución de ejes alrededor del disco.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Para encontrar la aceleración angular ( $\alpha$ ) se utiliza la ecuación de movimiento angular desacelerado.

$$\alpha = \frac{\omega_v^2 - \omega_c^2}{2 \cdot \theta} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{(177.81^2 - 177.80^2) \frac{rad^2}{s^2}}{2 \cdot 120 \cdot \frac{2\pi rad}{180}} = 35.58 \frac{rad}{s^2}$$

### 1.12 Dimensionamiento de elementos de la máquina

Se procede a diseñar las geometrías de los martillos, platos, ejes porta martillos y el eje principal; y verificar que estos no fallen.

### 1.12.1 Cálculo del martillo

El martillo es un prisma rectangular de longitud ( $l$ ), con un espesor ( $e$ ), ancho ( $a$ ) que tiene dos agujeros de radio ( $r$ ). Para el diseño del martillo se toma en consideración las dimensiones de: longitud, ancho, espesor, radio de perforaciones Figura 33.

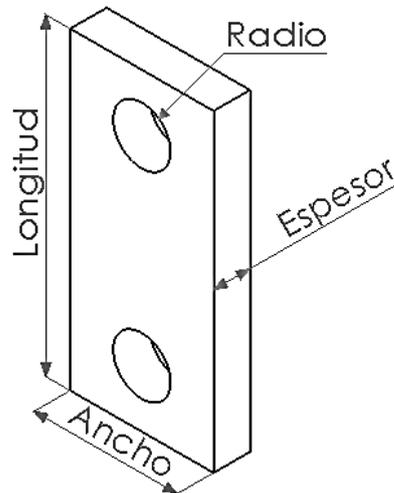


Figura 33. Dimensiones del martillo

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El martillo tiene 2 agujeros de 10 mm de radio que permiten un cambio de posición cuando un extremo del martillo se haya desgastado por abrasión. Esto permite la utilización del martillo en cuatro posiciones distintas logrando así alargar la vida de los martillos antes de sustituirlos esto se muestra en la Figura 34.

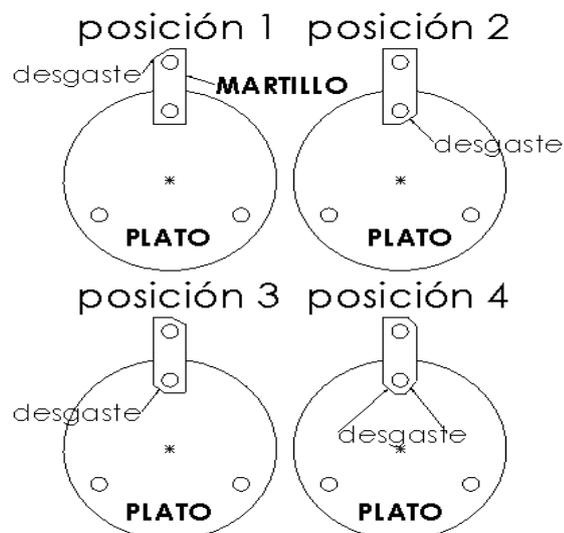


Figura 34. Cambio de martillo por desgaste.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Se toma un valor de longitud de martillo de 110 mm que está en el rango recomendado por fabricantes. Se selecciona un material acero IBCA XW41= AISI D2 del catálogo de aceros de Ivan Bohman por su buena tenacidad ideal para molinos de martillo de material cerámico[44]. El ancho del martillo. Este material viene en planchas de 0.5 m. Dadas las geometrías del martillo se puede calcular su masa.

$$m_m = \rho_m \cdot l_m \cdot a_m \cdot e_m \quad (10)$$

$m_m$ : masa del martillo

$\rho_m$ : peso específico del martillo

$l_m$ : longitud del martillo

$a_m$ : ancho del martillo

$e_m$ : espesor del martillo

$$m_m = 7750 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.11 m \cdot 0.5m \cdot 0.273m = 0.54 kg$$

### 1.12.1.1 Inercia del martillo

Se tiene que tomar en cuenta que el martillo es un prisma rectangular. Para encontrar la inercia se calcula respecto del centro del plato Figura 35.

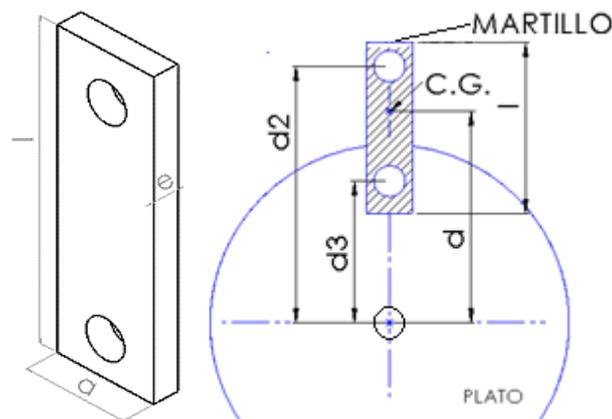


Figura 35. Cálculo de la inercia del martillo.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

La inercia de los martillos resulta al multiplicar por 15 la inercia de un martillo.

$$I_m = 15 \left[ \frac{m_m}{12} (a^2 + l^2) + m_m \cdot d^2 \right] \quad (11)$$

$I_m$ : inercia del martillo

$l$ : longitud del martillo

$e$ : espesor del martillo

$d$ : distancia del centro del disco al centro de masa del martillo

$$I_m = 15 \cdot \left[ \frac{0.54 \text{ kg}}{12} (0.5^2 + 0.11^2) m^2 + 0.54 \text{ kg} \cdot (0.135 m)^2 \right] = 0.16 \text{ kg m}^2$$

### 1.12.2 Fuerzas presentes en los martillos

Para analizar estas fuerzas se tendrá en cuenta al martillo en posición de trabajo como se observa en la Figura 36. El elemento podría fallar por tracción debido al peso y la fuerza centrífuga, también tiende a fallar por cizalladura debido a la fuerza de corte.

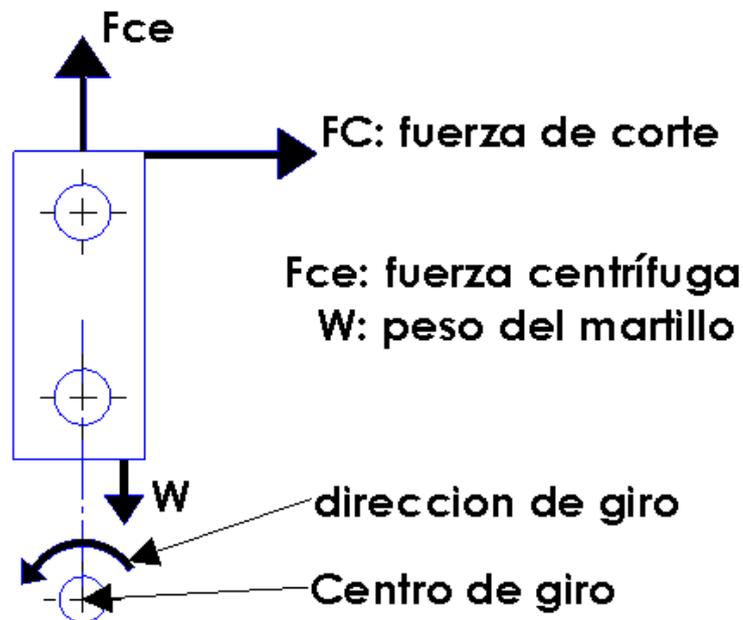


Figura 36. Fuerzas que actúan sobre el martillo en su posición más crítica.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.12.3 Falla por cizalladura de los martillos

Cuando el molino está trabajando presenta esfuerzos cortantes generados por la tracción que existe entre el perno sobre el área del martillo, la falla tiende a ser más crítica en el centro del agujero ya que el área de cizallamiento es menor Figura 37.

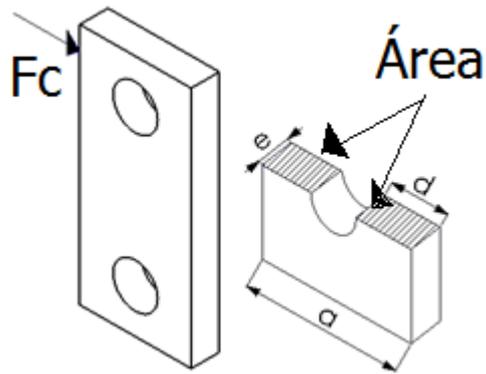


Figura 37. Área de cizallamiento del martillo y fuerza de corte  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín

Para el esfuerzo cortante se tiene la ecuación [45]:

$$\tau = \frac{F_{cf} + W}{A_d} \quad (12)$$

$\tau$  : esfuerzo cortante

$F_{cf}$ : fuerza centrífuga

$A_d$ : área de cizallamiento

$W$ : peso del martillo

El área de cizallamiento del martillo se muestra en la Figura 37 y es igual a:

$$A_d = e \cdot d \cdot 2 \quad (13)$$

$e$ : espesor del martillo

$d_2$ : distancia desde el borde hasta el agujero.

$$A_d = 12.7 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot 2 = 510 \text{ mm}^2$$

Se ejercen las siguientes fuerzas en el martillo: la centrífuga ( $F_{cf}$ ) debido a que gira sobre el eje principal y el peso del mismo. La sumatoria de fuerzas está dada por la ecuación [42]:

$$F_{cf} + P = w_v^2 \cdot m_t \cdot r_g + m_t \cdot g \quad (14)$$

$w_v$ : velocidad angular con carga

$m_t$ : masa del martillo

$r_g$ : radio de giro

$g$ : aceleración de la gravedad

$$F_{cf} + P = 167.185 \frac{1}{s^2} \cdot 0.51 \text{ kg} \cdot 0.188 \text{ m} + 0.51 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{m}{s^2} = 3205.99 \text{ N}$$

Luego se remplazan los valores en la ecuación (12) para obtener el esfuerzo cortante ( $\tau$ ).

$$\tau = \frac{3205.99 \text{ N}}{0.510 \text{ m}^2} = 6.31 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad ( $n$ ) se puede calcular de la fórmula [40]:

$$n = \frac{S_y}{2\tau} \quad (15)$$

$n$ : factor de seguridad

$S_y$ : esfuerzo admisible

Se selecciona el acero cronit fora 500 del catálogo de Iván Bohman[44], se toma el valor de  $S_y=149 \text{ MPa}$  y remplaza en (21).

$$n = \frac{149 \text{ MPa}}{2 \cdot 6.31 \text{ MPa}} = 11.57$$

Con el valor del factor de seguridad mayor a 1 se puede estar seguro que el martillo no fallará por cizalladura y su sobredimensionamiento se debe al espesor del martillo debido al tamaño de grano de arcilla.

#### 1.12.4 Falla por tracción

Por la acción de la fuerza centrífuga se genera un esfuerzo normal Figura 38 que se calcula por[45]:

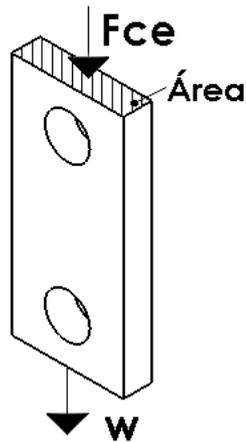


Figura 38.. Fuerzas en el eje normal y área transversal.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$\sigma = \frac{F_{cf} + W}{A_t} \quad (16)$$

$\sigma_n$ : esfuerzo normal

$F_c$ : fuerza centrífuga del plato y martillo

$A_t$ : área transversal del martillo

$W$ : peso del martillo

Donde el área de la sección transversal del martillo es ( $A_t$ ) es el espesor por el ancho:

$$A_t = e \cdot a \quad (17)$$

$$A_t = 0.013m \cdot 0.05m = 0.001 m^2$$

Al reemplazar los valores en la ecuación (22) se obtiene el esfuerzo normal.

$$\sigma = \frac{3205.99 N}{0.001 m^2} = 49.48 MPa$$

Al final se obtiene el factor de seguridad ( $n$ ) [40]:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_n} \quad (18)$$

$$n = \frac{149 MPa}{49.48 MPa} = 3.01$$

El valor del factor de seguridad es aceptable para molinos de martillo de arcilla.

### 1.13 Cálculo del plato porta ejes

Para el diseño de la geometría del plato se toma una forma cilíndrica con radio y espesor. Una de las ventajas del plato de contorno circular es que posee un mejor balanceo dinámico que un triangular [30]. Tendrá tres perforaciones de 20mm. Estas perforaciones se encuentran ubicadas a una distancia  $d_2$  como se puede ver en la Figura 39, se toma una distancia es de 30mm.

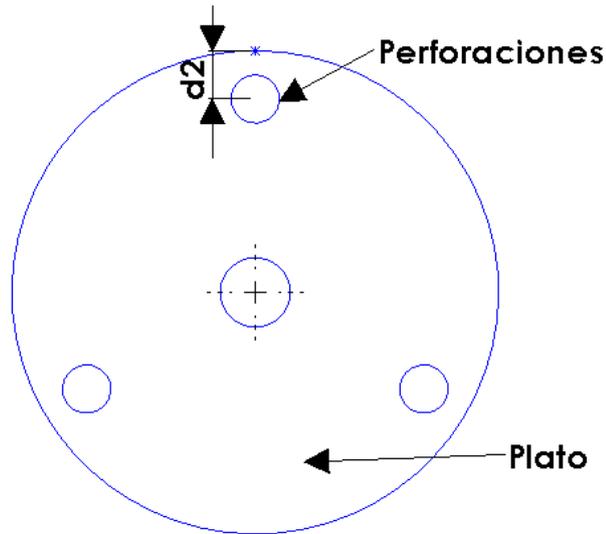


Figura 39. Distancia de las perforaciones del plato.  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

De acuerdo a las dimensiones antes calculadas como el radio de giro y la distancia entre agujeros como se muestra en la Figura 39.

$$r_p = r_g - (l - d_2 - d_1) \quad (19)$$

$r_p$ : radio del plato

$r_g$ : radio de giro

$l$ : longitud del martillo

$d_2, d_1$ : distancias ver Figura 40.

$$r_p = 190 \text{ mm} - (110 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 30) = 130 \text{ mm}$$

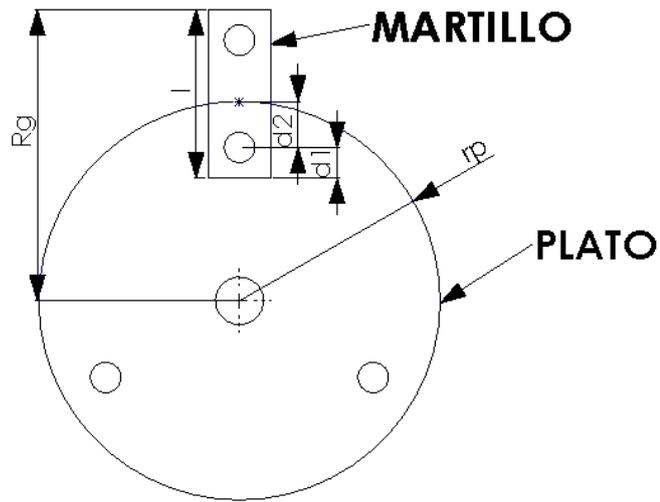


Figura 40. Dimensiones del martillo y plato porta ejes.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.13.1 Fuerzas que actúan sobre el plato

Se tiene la fuerza centrífuga y el peso. Para estas dos fuerzas se toma en cuenta la influencia de los martillos y ejes secundarios Figura 41.

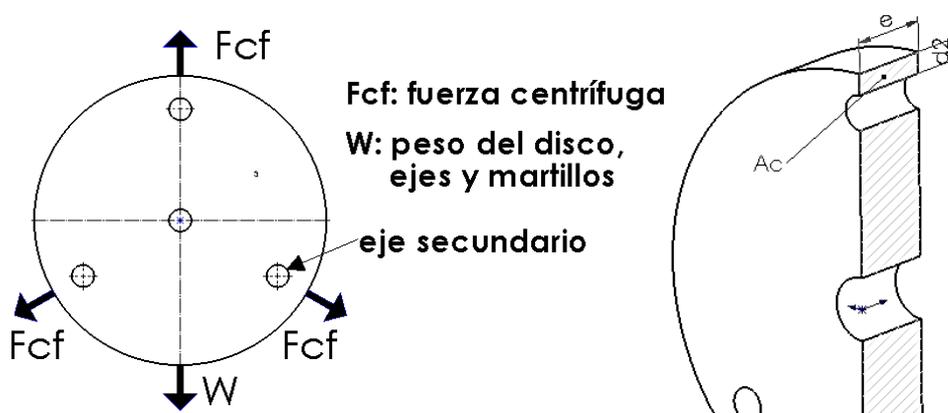


Figura 41. Fuerzas involucradas en el plato y área de cizallamiento.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Hay que tomar en cuenta que por cada agujero existe tracción debido a las fuerzas centrífugas y cada perforación equivale al doble de la del martillo [46] y [42].

$$\tau = \frac{2F_{cf}}{A_d} \quad (20)$$

Se reemplaza la ecuación (19) en (15), el área de cizallamiento ( $A_d$ ) es igual al producto de la distancia ( $d_2$ ) de la Figura 39 por el espesor ( $e$ ):

$$n = \frac{d_2 \cdot S_y \cdot e}{2F_{cf}} \quad (21)$$

Se considera el disco de espesor de 12.7 mm, con unas planchas antiabrasivas (acero cronit for 450-500) Se tiene que n es:

$$n = \frac{0.03 \text{ m} \cdot 710 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.0127 \text{ m}}{29987.82 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} \cdot 2} = 4.51$$

Con el material (acero cronit for 450-500) elegido del catálogo de Iván Bohman [44] por su fácil alcance se obtuvo un factor de seguridad de 4.51, es decir que el plato porta ejes no fallará.

#### 1.14 Separaciones entre martillos

Los separadores cumplen con la función de separar e impedir que los martillos choquen entre ellos y así evitar que fallas cuando el molino este trabajando Figura 42. Para los separadores de los martillos se toma en cuenta que los el eje porta martillos constan de dos discos y cinco martillos. El espesor de los separadores es recomendable que tenga un valor mínimo de 15mm y máximo de 75mm[30]. Por facilidad de diseño se toma un valor mayor al del tamaño de la partícula de arcilla y valor aproximado es decir de 20mm. El material para este elemento es de acero 1020 ya que no soporta ninguna carga importante.

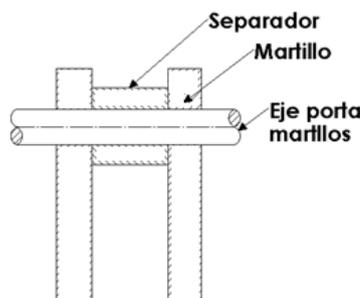


Figura 42. Espacio entre martillos.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.15 Eje porta martillos

Es el eje encargado de sostener los martillos y permitir que giren alrededor de él, además contiene los separadores y platos Figura 42.

Para dimensionar el eje porta martillos se debe tomar en cuenta que el diámetro del eje debe ser 20mm debido a que deben pasar por los agujeros del martillo. Otro parámetro de dimensionamiento es el largo del eje, se puede calcular al sumar los accesorios que van en el eje porta martillos.

$l_{ep}$ : longitud del eje porta martillos

$n_m$ : número de martillos

$e_m$ : espesor de los martillos

$n_p$ : número de platos

$e_p$ : espesor de platos

$n_s$ : número de separadores

$e_s$ : espesor de separadores

$d_4$ : espacio para ensamble

$$l_{ep} = n_m \cdot e_m + n_p \cdot e_p + n_s \cdot e_s + d_4 \quad (22)$$

$$l_{ep} = 5 \cdot 0.0127 \text{ m} + 2 \cdot 0.0127 + 4 \cdot 0.02\text{m} + 0.254\text{m} = 0.1816\text{m} \approx 0.182\text{m}$$

Se sigue calculando el volumen del eje secundario, pesos que soporta el eje, y fuerza centrífuga del eje.

$$V_{es} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (23)$$

$V_{es}$ : volumen del eje secundario

$r$ : radio del eje secundario

$L$ : longitud del eje secundario

$$V_{es} = \pi \cdot (10\text{mm})^2 \cdot 220\text{mm}$$

$$V_{es} = 69115,04 \text{ mm}^3$$

Con las propiedades del material se encuentra su masa:

$$m_{es} = \frac{\gamma_a \cdot V_{es}}{g} \quad (24)$$

$m_{es}$ : masa des eje secundario.

$g$ : gravedad.

$\gamma_a$ : peso específico del acero.

$$m_{es} = \frac{0.0765 \text{ kg} \cdot 69115.04 \text{ mm}^3}{\text{mm}^2 \text{ s}^2} = \frac{5.297385 \text{ kg} \cdot \text{mm}}{\text{mm}^2 \text{ s}^2} = 0.5389 \text{ kg}$$

Se calcula la velocidad periférica del eje:

$$V_p = r_{es} * w_c \quad (25)$$

$V_p$ : velocidad periférica del eje

$r_{es}$ : radio del eje secundario

$w_c$ : velocidad angular del rotor

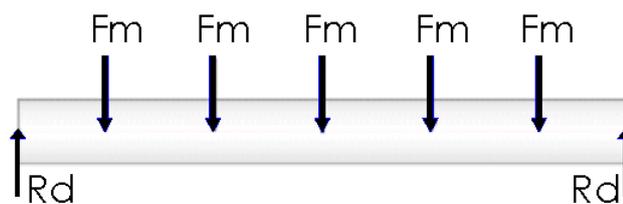
$$V_p = (0,076m) \left( 177.81 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 13,93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$F_c$ : fuerza centrífuga sobre el eje secundario es:

$$F_c = \frac{m_{es} \cdot (v_{es})^2}{r_{es}} \quad (26)$$

$$F_c = \frac{0,5389 \text{ kg} * (69115,04 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{0,076 \text{ m}} = 1375,93 \text{ N}$$

Existen cinco martillos que generan fuerzas centrífugas y debido a su peso. El eje se apoya sobre los dos discos que generan reacciones.



**Fm: fuerza de los martillos**

**Rd: apoyos de los platos**

Figura 43. Distribución de Fuerzas eje porta martillos.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

La simulación se realizó en el software Inventor 2018, se obtuvieron los siguientes resultados de esfuerzo máximo Figura 44.

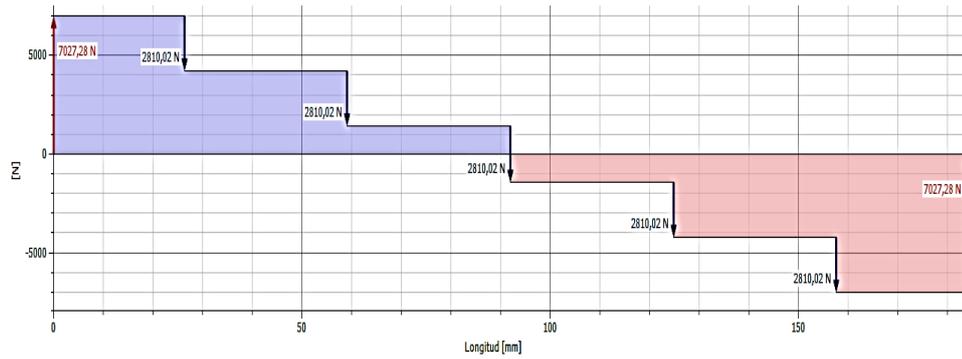


Figura 44. Diagrama de esfuerzos cortante ( $\tau_{max}$ )  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$\tau_{max} = 10,956 \text{ MPa}$$

Y de momento máximo Figura 45.

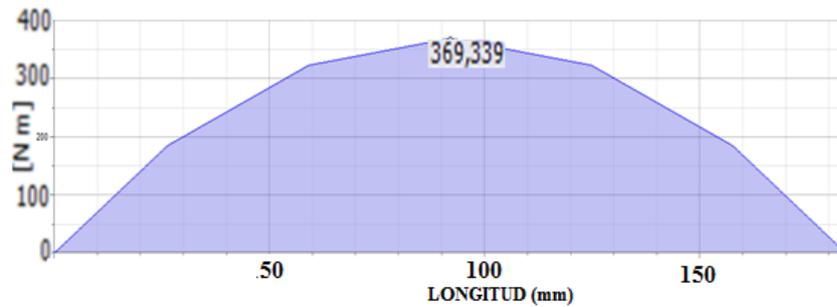


Figura 45. Diagrama de Momento Flexionante ( $M_{max}$ )  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$M_{max} = 180,9 \text{ Nm}$$

Se selecciona un acero AISI 4340 del catálogo de aceros de Iván Bohman[44] donde:  $S_{ut} = 1079 \text{ MPa}$  (156.50 ksi),  $S_y = 686,5 \text{ MPa}$  y dureza Brinell = 270 HB. Se utiliza el criterio de falla de máxima energía de distorsión es decir la teoría de Hubert-Mises-Hencky.

$$d = \frac{16 * n}{3. \pi * S_y} (4 M_{max}^2 + 3 \tau_{max}^2)^{1/2} \quad (27)$$

$d$ : diámetro de eje secundario

$n$ : factor de seguridad

$M_{max}$ : momento máximo

$\tau_{max}$ : esfuerzo máximo

$$20 = \left[ \frac{16 * n}{\pi * 686,5} \left( 4 (180,9)^2 + 3 (10,956)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \frac{1}{3}$$

$$n = 2,43$$

El factor de seguridad para ejes de molinos de martillo recomendado va en un rango de 2 a 3.

### 1.16 Eje principal

El eje principal recibe el movimiento del motor para transmitir el movimiento al plato. Tiene una geometría cilíndrica Figura 46.

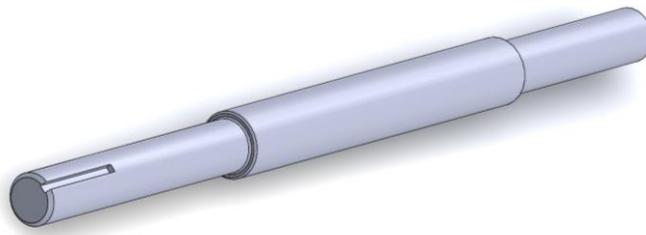


Figura 46. Eje principal.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$W = \frac{W_e}{L_{rotor}} \quad (28)$$

$L_{ep}$ : longitud del eje principal

$d_{ep}$ : diámetro del eje principal

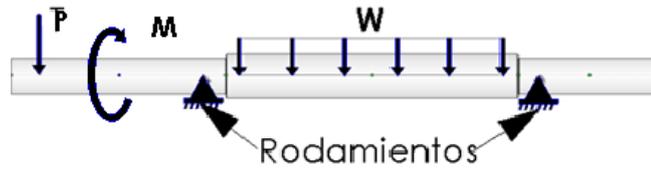
$L_{rotor}$ : longitud del rotor

$W_e$ : peso del rotor

$W$ : peso del rotor y el eje principal

$$W = \frac{228,5 \text{ N}}{184 \text{ mm}}$$

$$W = 1241,84 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



**W: peso del rotor**  
**P: tensión de la polea**  
**T: Torque del rotor**

Figura 47. Distribución de cargas en el eje principal en estado estático.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Cargas distribuidas plano (xy) Figura 48.

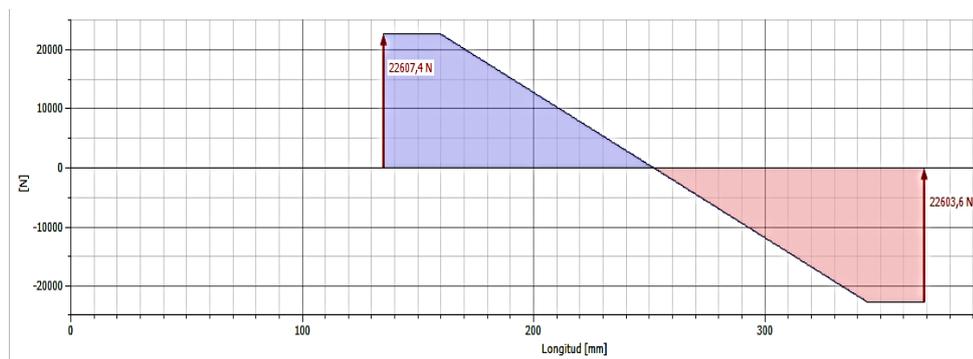


Figura 48. Diagrama de esfuerzo cortante (xy)

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Donde el esfuerzo máximo es  $\tau_{max} = 44,607 \text{ MPa}$  Figura 49.

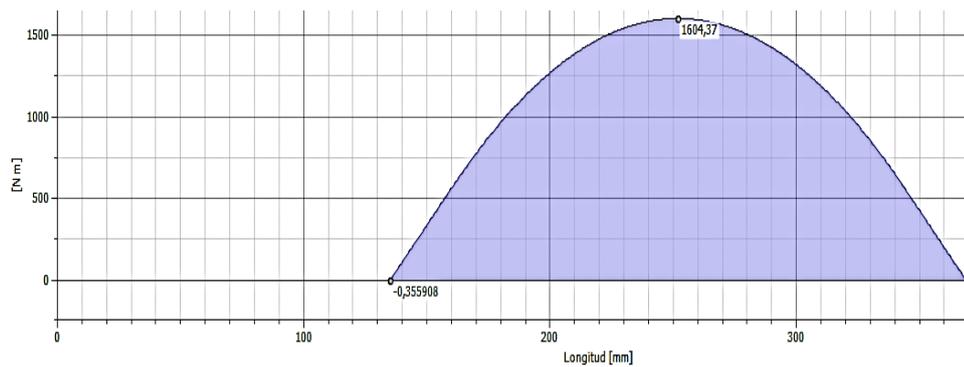


Figura 49. Diagrama de Momento flexionante (xy)

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Donde el momento máximo es  $M_{max} = 1604,37 \text{ Nm}$  Figura 50.

También se realiza el estudio de cargas distribuidas en el plano (xz).

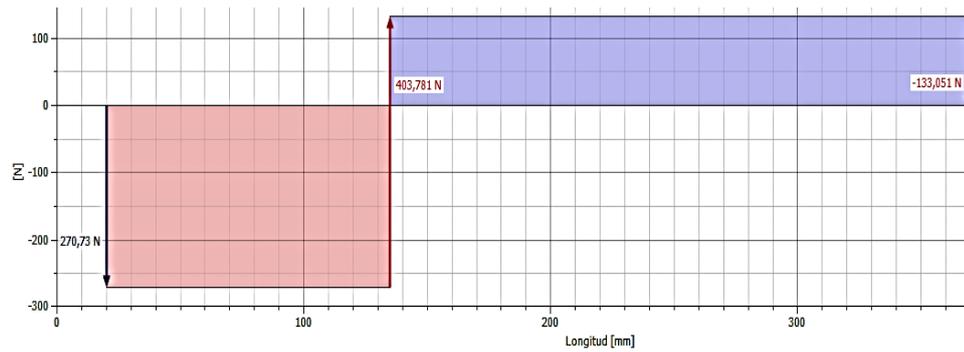


Figura 50. Diagrama de esfuerzo cortante (xz)  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Donde el esfuerzo máximo es  $\tau_{max} = 2,918 \text{ MPa}$  Figura 51.

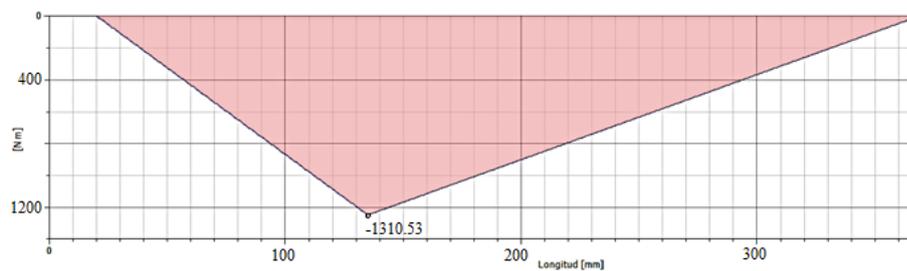


Figura 51. Diagrama de Momento flexionante (xz)  
Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Se escoge para el diseño del eje principal el momento Flexionante del plano (xz) por la carga puntual ya que ahí se encuentra el momento máximo de  $M_{max} = 2726,8 \text{ Nm}$  de la Figura 52.

Se selecciona un acero IBCA 1040 del catálogo de aceros de Iván Bohman[44] donde:  $S_{ut} = 630 \text{ MPa}$ ,  $S_y = 530 \text{ MPa}$ , dureza Brinell = 179 HB,  $\tau_{max} = 44606,6 \text{ Nm}$ . Se sustituye los valores en la ecuación (26) con valores del eje principal.

$$d = \frac{16 * n}{\pi * S_y} \left[ (4 M_{max}^2 + 3 \tau_{max}^2)^{1/2} \right] \frac{1}{3} \quad (29)$$

$d$ : diámetro del eje.

$n$ : factor de seguridad.

$$25,4 = \frac{16 * n}{\pi * 530} \left[ (4 (2726,8)^2 + 3 (44606,6)^2)^{1/2} \right] \frac{1}{3}$$

$$n = 3,88$$

### 1.17 Diseño de fatiga ( $S_e$ )

El límite de resistencia a la fatiga se puede encontrar con el cálculo de la siguiente ecuación.

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S_e' \quad (30)$$

$K_a$ : factor de superficie

$K_b$ : factor de tamaño

$K_c$ : factor de carga

$K_d$ : factor de temperatura

$K_e$ : factor de confiabilidad

$S_e'$ : límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa

#### 1.17.1 Factor de superficie

Este coeficiente considera el efecto del acabado superficial, su valor se encuentra entre 0 y 1.

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (31)$$

$a$  y  $b$ : valores del anexo 1

$S_{ut}$ : resistencia mínima a la tensión.

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b = 0.82$$

#### 1.17.2 Factor de tamaño

El factor de carga depende de la medida del diámetro del eje, en este caso el diámetro es de 40mm, según el Anexo 2 la formula será la siguiente.

$$K_b = \left( \frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} \quad (32)$$

$$K_b = \left( \frac{40}{7.62} \right)^{-0.107} = 0.84$$

#### 1.17.3 Factor de carga

Para el factor de carga  $K_c=1$ , ver Anexo 3.

#### 1.17.4 Factor de temperatura

La temperatura no ejerce efectos en este caso por lo que  $K_d=1$ .

### 1.17.5 Factor de confiabilidad

Este factor de confiabilidad al 50% es  $K_e=1$  Anexo 4.

### 1.17.6 Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa

$$S_e' = 0.506 \cdot S_{ut} \quad (33)$$

$$S_e' = 0.506 \cdot 630[MPa] = 318.78[MPa]$$

Una vez encontrados los valores de los coeficientes y se reemplaza en la ecuación (33).

$$S_e = 0.82 \cdot 0.84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 318.78[MPa] = 218.17[MPa]$$

### 1.17.7 Esfuerzo Von misses ( $\sigma'$ )

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (34)$$

Donde:

$$\sigma_x = k_f \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (35)$$

$k_f$ : concentración de esfuerzos por fatiga.

$M$ : momento máximo que ocurre en el plano xz

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (36)$$

$k_t$ : = Factor de concentración de esfuerzos.

$q$ : sensibilidad de la muesca con el Anexo 4.

$$k_t = 0.622 + 0.38 \left(\frac{D}{d}\right)^{-4.4} + \left[ \left(\frac{r}{d}\right)^{-0.5} \cdot \frac{-0.322 - 0.277 \left(\frac{D}{d}\right)^2 + 0.599 \left(\frac{D}{d}\right)^4}{1 - 2.55 \left(\frac{D}{d}\right)^2 + 5.27 \left(\frac{D}{d}\right)^4} \right] \quad (37)$$

En la ecuación (37) se puede reemplazar los valores de la Figura 52 [40].

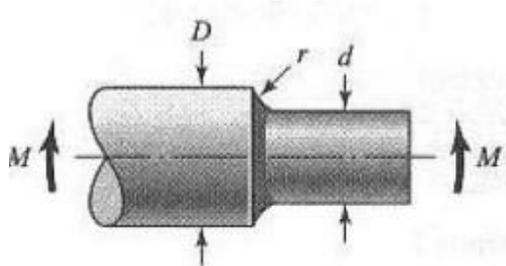


Figura 52. Eje Redondo Con Filete En El Hombro De Flexión [40].

Se reemplaza los valores del eje que son  $D=40$  mm,  $d=20$ mm y  $r=3$ mm en (37).

$$k_t = 0.622 + 0.38(2)^{-4.4} + \left[ (0.15)^{-0.5} \cdot \sqrt{\frac{-0.322 - 0.277(2)^2 + 0.599(2)^4}{1 - 2.55(2)^2 + 5.27(2)^4}} \right]$$

$$k_t = 1.52$$

Una vez obtenidos  $k_t$  y se reemplaza en (36).

$$k_f = 1 + 0.9(1.52 - 1) = 1.47$$

Luego:

$$\tau_{xy} = k_{fs} \frac{16 T}{\pi d^3} \quad (38)$$

$k_{fs}$ : concentración de esfuerzos por torsión.

$T$ : Torque máximo que soporta el eje principal.

$d$ : diámetro menor Figura 52.

Para esto hay que calcular:

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1) \quad (39)$$

$k_{ts}$ : Factor de concentración de esfuerzos a torsión [46] y [40].

$q_s$ : sensibilidad a la muesca con  $r=3$ mm y dureza de 179 HBN (acero IBCA 1040) se consigue del Anexo 5.

$$k_{ts} = 0.78 + 0.2 \left( \frac{D}{d} \right)^{-10} + \left[ \left( \frac{r}{d} \right)^{-0.46} \cdot \sqrt{\frac{-0.002 - 0.125 \left( \frac{D}{d} \right)^2 + 0.123 \left( \frac{D}{d} \right)^4}{1 - 2.75 \left( \frac{D}{d} \right)^2 + 2.55 \left( \frac{D}{d} \right)^4}} \right] \quad (40)$$

$$k_{ts} = 1.30$$

Se reemplaza los valores calculados en (39).

$$k_{fs} = 1 + 0.9(1.3 - 1) = 1.3$$

Ahora se reemplaza (32) y (35) en (34) y se reemplaza los valores obtenidos.

$$\sigma' = \sqrt{\left(k_f \frac{32 M}{\pi d^3}\right)^2 + 3\left(k_{fs} \frac{16 T}{\pi d^3}\right)^2} \quad (41)$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(k_f \frac{32 \cdot 1310.52 \text{ Nm}}{\pi(3)^3}\right)^2 + 3\left(k_{fs} \frac{16 \cdot 33928.86}{\pi \cdot 3^3}\right)^2} = 63.6 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{Se}{\sigma'} \quad (42)$$

$$n = \frac{218.17}{63.6} = 3.43$$

El factor de seguridad  $n$  es mayor q 1, esto asegura que no fallará en el punto más crítico que es la muesca.

## 1.18 Dimensionamiento del motor y transmisión

En esta sección se va a calcular la potencia del motor y sistema de transmisión hacia la máquina.

### 1.18.1 Potencia del motor

Hay que encontrar la potencia de arranque, potencia de molienda, potencia indicada y corregir la de arranque que será la real.

Primero se calcula la potencia de arranque, esta es la potencia necesaria para que el motor logre arrancar, para ello se debe calcular el torque de arranque con la inercia total de los elementos a mover.

$$\sum I = I_m + I_{ep} + I_{es} + I_p \quad (43)$$

$I$ : inercia total de martillos, ejes, platos.

$$I = 0.12 + 0.15 + 0.015 + 0.0022 = 0.3 \text{ kg m}^2$$

El torque de arranque del motor es igual a la:

$$T_a = \alpha \cdot I \quad (44)$$

$T_a$ : torque de arranque

$w$ : velocidad angular del rotor

$$T_a = 35.58 \frac{m}{s^2} \cdot 0.30 \text{ Kg} \cdot m^2 = 10.68 \text{ Nm}$$

$$H_a = T_a \cdot w \quad (45)$$

$H_a$ : potencia de arranque

$$H_a = 10.68 \text{ Nm} \cdot 177.81 \frac{\text{rad}}{s} = 1900.57 \text{ W} = 2.55 \text{ Hp}$$

Para el cálculo de la potencia de molienda se utiliza la teoría de bond[1].

$$p = \frac{4}{3} 0.8043 w_i \cdot T \left( \frac{1}{\sqrt{D_p}} - \frac{1}{\sqrt{D_a}} \right) \quad (46)$$

$p$ : potencia de molienda

$w_i$ : índice de trabajo

$T$ : capacidad de la máquina 0.1 [ton/h].

$D_p$ : tamaño del producto en [um].

$D_a$ : tamaño de alimentación aproximado [um].

El  $D_p$  y  $D_a$  de la arcilla de La Victoria es de 1.27cm y 10cm respectivamente según estudios realizados por Fajardo A.[25].El índice de trabajo se refiere a la energía total para reducir una alimentación grande a un tamaño de 80%, esta se aproxima a 6.3[kw.h/ton] revisar Anexo 6.

$$p = \frac{4}{3} 0.8043 \cdot 6 \left[ \frac{\text{kw} \cdot \text{h}}{\text{ton}} \right] \cdot 0.1 \left[ \frac{\text{ton}}{\text{h}} \right] \left( \frac{1}{\sqrt{12700}} - \frac{1}{\sqrt{10000}} \right) = 0.005 \text{ Hp}$$

$$P_i = H_a + p \quad (47)$$

$$H = 2.55 \text{ Hp} + 0.005 \text{ Hp} = 2.55 \text{ Hp} \approx 3 \text{ Hp}$$

El valor de  $k_s$ , factor de seguridad para molinos de matillo que es de 1.2 Anexo 7, luego se obtiene  $P_i$  que es la de diseño:

$$H_d = H \cdot k_s \quad (48)$$

$H_d$ : potencia de diseño.

$H$ : potencia nominal.

$k_s$ : factor de seguridad.

$$H_d = 2.55 Hp \cdot 1.2 = 3.06 Hp \approx 3 Hp$$

El valor que necesita la máquina para triturar es de 3 Hp.

### 1.18.2 Transmisión de potencia

Se realizará mediante bandas del motor al eje principal. El motor y poleas seleccionados tiene las siguientes características Tabla12:

**Tabla 12.** Características Transmisión de potencia.

Transmisión de potencia.	
Potencia nominal del motor	3 Hp
Velocidad de polea mayor	17500 rpm
Velocidad polea menor	1698 rpm

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Para las revoluciones indicadas de 1750 rpm, se selecciona una banda en V de sección B con ancho de 21/32 plg y espesor de 7/16 plg y diámetro mínimo de polea de 5.4 plg según Anexo 4. El siguiente gráfico ilustra en la siguiente Figura 54.

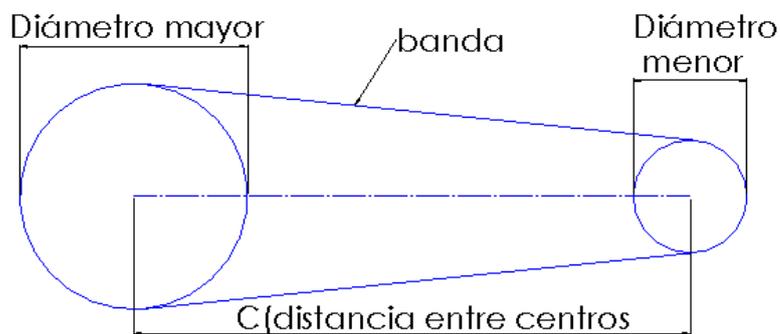


Figura 53. Dimensionamiento de poleas.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$D_m \cdot N = d_m \cdot n \quad (49)$$

$D_m$ : diámetro de polea mayor (conducida).

$d_m$ : diámetro de polea menor (conductora).

$n$ : revoluciones de polea menor de la Tabla 12.

$N$ : revoluciones de polea mayor

$$D_m = \frac{4.2 \text{ plg} \cdot 1750 \text{ rpm}}{1698 \text{ rpm}} = 5.56 \text{ plg} \approx 141 \text{ mm}$$

La distancia entre centros ( $C$ ) debe cumplir la siguiente ley [40]:

$$D_m \leq C \leq 3(D_m + d_m) \quad (50)$$

$$0.141 \text{ m plg} \leq C \leq 0.84 \text{ m}$$

Se toma el valor que es 0.64 plg.

$$L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(D_m + d_m) + \frac{(D_m - d_m)^2}{4C} \quad (51)$$

$$L_p = 2 \cdot 0.64 \text{ m} + \frac{\pi}{2}(5.56 \text{ m} + 5.4 \text{ m}) + \frac{(5.56 \text{ m} - 5.4 \text{ m})^2}{4 \cdot 0.5 \text{ m}} = 1.5 \text{ m} = 59 \text{ plg}$$

Se elige 57 plg (tipo V, sección B) una banda más próxima de la Tabla del Anexo 5 según Shigley [40].

$$L_p' = L_i + B \quad (52)$$

$L_p'$ : longitud de paso real.

$L_i$ : longitud inferior

$B$ : factor de banda B ANEXO 6.

$$L_p = 58 \text{ plg} + 1.8 \text{ plg} = 58.8 \text{ plg}$$

Luego se selecciona el valor más próximo que según Shigley [40], es decir de 57 plg.

Se recalcula la distancia entre centros  $C'$  mediante la siguiente ecuación.

$$C' = \frac{1}{4} \left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D_m + d_m) + \sqrt{\left( L_p - \frac{\pi}{2}(D_m + d_m) \right)^2 - 2(D_m - d_m)} \right] \quad (53)$$

$$C' = \frac{1}{4} \left[ 57 m - \frac{\pi}{2} (5.56 + 5.4)m + \sqrt{\left( 57m - \frac{\pi}{2} (5.72 + 5.4) \right)^2 - 2(5.56 + 5.4)} \right]$$

$$C' = 19.9 \text{ plg} = 783.18 \text{ mm}$$

La banda seleccionada es B57. Con las siguientes características de la Tabla 13.

**Tabla 13.** Banda seleccionada.

Banda B57	
Tipo de banda:	V
Sección:	B
Diámetro polea menor:	5,4 plg (137mm)
Diámetro polea mayor:	5,2 plg (133 mm)
Distancia entre centros de poleas:	19.89 plg (783 mm)
Circunferencia interior de la banda	57 plg (1447mm)

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.18.3 Tensado de la banda

Para el buen funcionamiento de la banda necesita de una correcta tensión. Para esto se necesita el cálculo de la tensión y deflexión máxima [47].

La deflexión se refiere a la máxima y la longitud del tramo libre se muestran en la Figura 54.

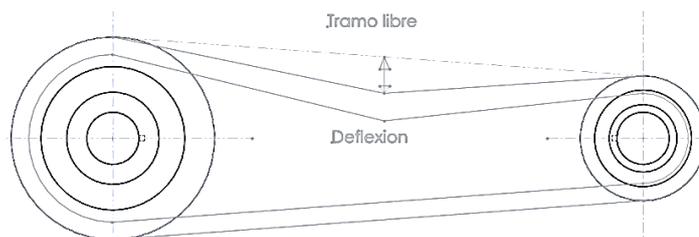


Figura 54. Deflexión y tramo libre en la banda.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$L_S = C \left( 1 - 0.125 \cdot \frac{(D - d)^2}{C} \right) \quad (54)$$

$L_S$ : longitud de tramo libre

$C$ : distancia entre centros de polea.

$$L_S = C \left( 1 - 738.18mm \cdot \frac{(141.2mm - 137.16mm)^2}{738.18mm} \right) = 782.68 \text{ mm} \approx 783mm$$

La deflexión será de 16mm por cada 1m del largo del tramo si el largo del tramo supera los 500mm [47].

$$deflexion = L_T \cdot 0.01 \quad (55)$$

$$deflexion = 0.783m \cdot 16 = 12.52 \text{ mm}$$

Una vez obtenida la deflexión para hallar la fuerza de deflexión se necesita la velocidad de la correa ( $v_c$ ).

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (56)$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 0.137m \cdot 1750rpm}{60} = 0.013 \text{ m/s}$$

Después con  $d$  y  $v_c$  se va a al Anexo 15. Y se verifica que la fuerza de tensión debe oscilar entre 24 a 35 N.

## 1.19 Diseño de la estructura

En esta sección se dimensionará las tolvas y estructura que recubre la máquina.

### 1.19.1 Tolva de alimentación

Para el diseño de la tolva previo a su construcción, se debe tener en cuenta el grado de inclinación a la entrada para que el material que ingresa fluya libremente Figura 55.

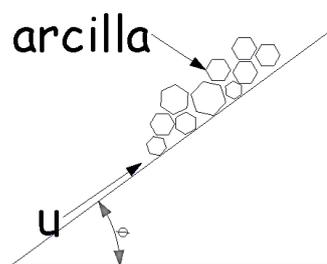


Figura 55. Ángulo de inclinación de la tolva con la horizontal.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

$$\mu_k = \mu_s - 0.25 \cdot \mu_k \quad (38)$$

$\mu_k$ : coeficiente de rozamiento dinámico

$\mu_s$ : coeficiente de rozamiento estático

$\theta_k$ : ángulo de inclinación de la tova respecto a la horizontal

$$\mu_k = 0.5 - 0.25 \cdot 0.5 = 0.375$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \mu_k \quad (39)$$

$$\theta_k = \tan^{-1} 0.375 = 20.55^\circ$$

El ángulo mínimo para que la arcilla se comience a deslizarse es de  $20.55^\circ$ . Se toma un valor superior de  $25^\circ$  así se asegura que no se detenga el material en la tolva.

Se utiliza planchas laminadas en caliente de ASTM A36 de 3mm por su buena resistencia, y facilidad a soldarse Anexo 13. Se puede apreciar las medidas en la Figura 56.

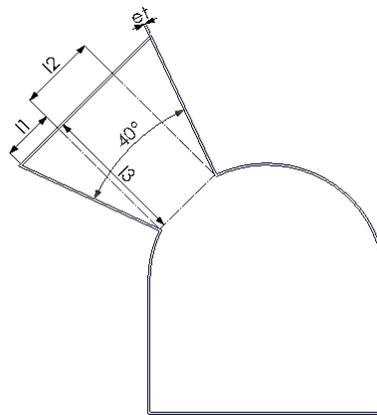


Figura 56. Geometría de la tolva

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.19.2 Tolva de salida

Al igual que la tolva de ingreso de arcilla, la de salida necesita el mismo ángulo de inclinación de  $25^\circ$  con la horizontal como se ve en la Figura 56.

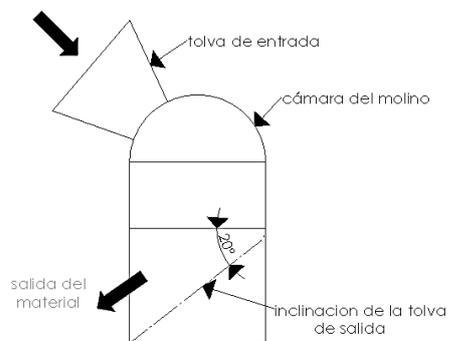


Figura 57. Esquema del molino

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.19.3 Carcasa del molino

La carcasa del molino cumple con la función de recubrir el área de trituración. Además, cuenta con soportes que permiten instalar el eje principal con sus rodamientos. Cuenta con una platina soldada en el interior que permite ubicar el tamiz y para asegurar la tapa a la carcasa cuenta con un seguro de la tapa como se muestra en la Figura 57.

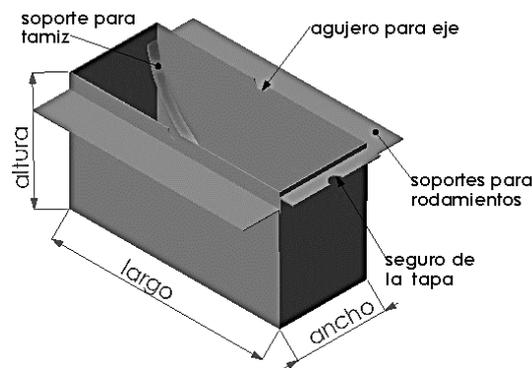


Figura 58. Partes de la carcasa de molino

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El material para construcción de la carcasa es una lámina de acero A36 de 2mm de espesor, ancho de 190mm, largo de 458mm y altura de 260mm; dadas las dimensiones de martillos, separadores, discos.

### 1.19.4 Tapa del molino

La tapa se amolda al volante y los martillos y se conecta a la tolva por donde ingresa el material al interior del molino. Además, puede ser abierta para realizar limpieza y mantenimiento. Para el diseño de la tapa se toma una como referencia un radio mayor al radio de giro que será de 229mm, espesor de 2mm, largo de 258mm y ancho de 190mm con material de planchas laminadas en caliente de ASTM A36 Figura 58.

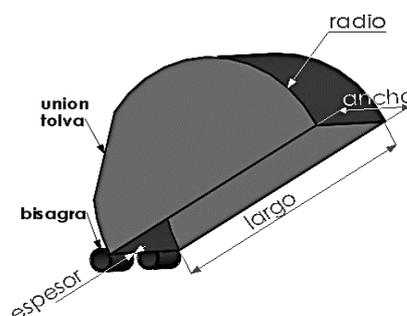


Figura 59. Partes y geometría de la tapa del molino.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.19.5 Diseño de la estructura soporte

Este diseño cuenta con un soporte principal Figura 60, encargado de soportar el peso de la máquina y cuerpo del bastidor Figura 61

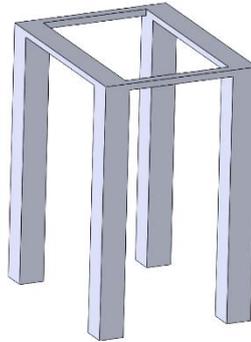


Figura 60. Soporte principal

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Se necesita calcular si va a soportar el peso de la máquina, que es de 21klb, el material es A36 de 2x2x3/16 pulg:

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{r}$$

Donde:

$\lambda$ : esbeltez

$k$ : factor de longitud efectiva.

$l$ : longitud libre de la columna.

$r$ :

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{r} = 56.19$$

Con  $\lambda=56.19$  se encuentra  $F_a=17.81$ ksi.

$$f_a = \frac{P}{A}$$

A: área de la viga: 1.27 in<sup>2</sup>

P: peso involucrado

$$f_a = \frac{21klb}{1.27in^2} = 16.54 \text{ ksi}$$

El resultado  $F_a > f_a$ , por lo tanto soportará el peso de la máquina.

Soporte principal consta de 4 patas y una base, sus dimensiones de 808 x 440 x 321 mm.

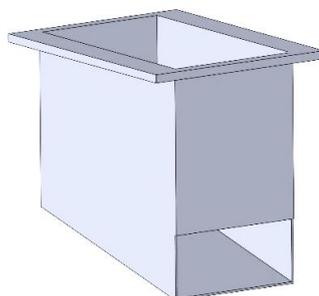


Figura 61. Cuerpo del bastidor.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Cuerpo del bastidor: de gran utilidad para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos. Sus dimensiones 623 x 406 x 221 mm. Esta parte del bastidor se construye con un material especial como es el acero for a 400 del catálogo de Ivan bhoman. Es una plancha de acero aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, dureza 400HB y 500 HB.

### 1.20 Selección de chumacera

Se selecciona un rodamiento de bolas ideal para molinos de martillo. Debe cumplir las siguientes características: diámetro de eje 25 mm, soportar velocidad de 1750 rpm y una confiabilidad del 90%.

Satisface al diseño realizado con una velocidad de 1698 rpm y una carga de 1,375 KN. Mediante el catálogo SKF de rodamientos del Anexo8. El código de la chumacera que cumple con nuestras demandas es NU 1005 de la Tabla 13.

**Tabla 13.** Parámetros de la chumacera

Designación	Capacidad de carga		Carga límite de Fatiga	Velocidad nominal	
Nu 1005	Dinámica	Estática	1,4 kN	V. Referencia	V. Máxima
	14,2 kN	13,2kN		15000 rpm	18000 rpm

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín

### 1.21 Diseño eléctrico.

El diseño eléctrico de la máquina solo necesita del motor Figura 62. A continuación, se detalla las especificaciones en la Tabla 14:

**Tabla 14.** Principales características del motor seleccionado.

Características	Valor
Tipo	Bifásico
Potencia	3 Hp
Revoluciones	1750 rpm
Voltaje	120V/220V
Amperaje nominal	9 A
Frecuencia	60Hz
Eficiencia	59.5%

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.



Figura 62. Motor monofásico [48].

Los accesorios eléctricos utilizados en el diseño eléctrico son:

- Pulsador encendido/apagado 380VAC / 1.5k
- Motor ver Tabla 12.
- Pulsador de parada de emergencia KXB4-BG42 1NC.
- Cable AGW#10 (35 A y 600V)
- Toma corriente tipo B para 220V.
- Enchufe polarizado 220V.

A continuación, se muestra el diagrama de potencia y control fig 63 y fig 64.

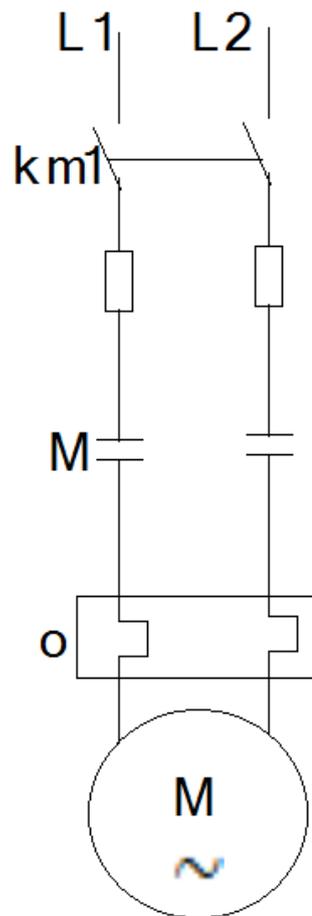


Figura 63. Circuito de potencia.

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

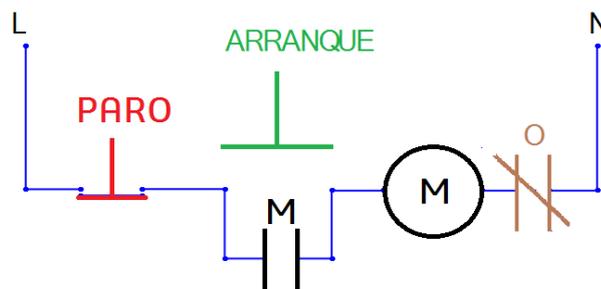


Figura 64. Circuito de Control

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El diseño del circuito eléctrico de control y potencia consta de un pulsador para el encendido y apagado de la máquina, también cuenta con un botón de paro de emergencia. Esta máquina necesita tener instalado en el sitio de trabajo un tomacorriente con tensión de 220V.

## 1.22 Resultados

Una vez ensamblada la máquina se realiza las pruebas para encontrar los tiempos en los procesos de triturado y tamizado, Tabla 15.

**Tabla 15.** Tiempos de los procesos de prelación de la arcilla.

Masa de arcilla	Tiempo de triturado		Tiempo de tamizado		Tiempo total	
	Manual	Máquina	Manual	Máquina	Manual	Máquina
20 kg	20 min	4 min	10 min	3 min	30 min	7 min
40 kg	45 min	7,5 min	15 min	6 min	60 min	13,5 min
60 kg	80 min	12 min	24 min	15 min	104 min	27 min
80 kg	120 min	16,55 min	30 min	17,43 min	150 min	33,98 min
100 kg	150 min	25 min	45 min	26,12 min	195 min	51.12 min

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

A continuación, se presenta el porcentaje de tiempo total que la máquina le ahorra al alfarero. Este tiempo se calcula restando el tiempo total manual menos el de la máquina. El porcentaje se calcula tomando como referencia máxima el tiempo del proceso manual. Los resultados se miran en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Porcentaje de ahorro de tiempo en el proceso con la máquina.

Cantidad [kg]	Tiempo total [min]		Tiempo que se ahorra [min]	Porcentaje [%]
	Manual	Máquina		
20 kg	30	7	23	76,67
40 kg	60	13,5	46,5	77,50
60 kg	104	27	77	74,04
80 kg	150	33,98	116,02	77,35
100 kg	195	56,12	138,88	71,22
			Promedio	75,35

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El amperaje nominal es de 9 A y el amperaje en funcionamiento es de 8.1 A es decir se reduce en un 10%.

En conclusión, la tamizadora-trituradora reduce en promedio un 75.35% el tiempo que se realiza de forma manual y el amperaje es el correcto al reducir.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE COSTOS

Se realiza el análisis de costos de los materiales y costos de procesos utilizados para la fabricación de la máquina [49].

En la siguiente Tabla 17 se detalla los tipos de costos que intervienen en la fabricación: directo e indirecto.

**Tabla 17.** Costos directos e indirectos

Tipo de costo	Descripción del costo
Directo	Materia prima
	Elementos normalizados
	Mano de obra directa
Indirecto	Mano de obra indirecta
	Materiales consumibles

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

#### **1.23 Costos directos**

Estos costos se refieren a los que actúan de forma directa en la fabricación del producto. Contempla a los materiales, elementos normalizados y cada uno de los procesos de mano de obra directa [49].

##### **1.23.1 Costo de materia prima**

Costo de los materiales Tabla 18.

**Tabla 18.** Se detalla el costo de materia prima involucrada en la fabricación de la máquina.

Proveedor	Descripción	\$ C/U	TOTAL
I. Bhoman	Planchas acero AISI D2 60x615x2,17mm	\$ 6,00	\$ 18,00
I. Bhoman	Planchas de acero antiabrasivo fora 450 de 270x270x12,7mm	\$ 7,50	\$ 15,00
I. Bhoman	Tubo mecánico cuadrado 40x6000x2mm	\$ 6,00	\$ 6,00
I. Bhoman	Eje AISI 4340 de $\varnothing$ 20x220mm	\$ 15,75	\$ 47,25
I. Bhoman	Eje AISI 1040 de $\varnothing$ 30x230mm	\$ 22,00	\$ 22,00
I. Bhoman	Plancha de acero 1220x610x3mm	\$ 26,00	\$ 26,00
TOTAL			\$134,25

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.23.2 Costo de elementos normalizados

A continuación, se define el costo de todos los elementos que sirven para instalar en la máquina y se puede encontrar fácilmente como se ve en Tabla 19.

**Tabla 19.** Costo de los elementos normalizados

Proveedor	Detalle	Cantidad	\$/unidad	Costo total
I.Bohman	Chumacera	2	\$ 25,00	\$ 50,00
I.Bohman	Polea hierro fundido 4,2 plg	1	\$ 3,50	\$ 3,50
I.Bohman	Polea hierro fundido 5,56 plg	1	\$ 3,50	\$ 3,50
I.Bohman	Banda tipo b 48,8 plg	2	\$ 5,00	\$ 10,00
I.Bohman	Motor 2 hp 110v	1	\$ 150,00	\$ 150,00
I.Bohman	Pernos normalizados 20mm	20	\$ 0,20	\$ 4,00
I.Bohman	Tuercas de 20mm	20	\$ 0,20	\$ 4,00
I.Bohman	Arandela 20mm	20	\$ 0,10	\$ 2,00
I.Bohman	Cable eléctrico n°12	1	\$ 3,00	\$ 3,00
I.Bohman	Cable eléctrico n°8	1	\$ 3,00	\$ 3,00
I.Bohman	Switch	1	\$ 3,00	\$ 3,00
I.Bohman	Botón encendido	1	\$ 1,50	\$ 1,50
I.Bohman	Botón apagado	1	\$ 1,50	\$ 1,50
I.Bohman	Paro de emergencia	1	\$ 3,00	\$ 3,00
I.Bohman	Caja metálica para conexiones	1	\$ 8,00	\$ 8,00
I.Bohman	Enchufe trifásico	1	\$ 0,50	\$ 0,50
I.Bohman	Conectores metálicos	10	\$ 0,10	\$ 1,00
I.Bohman	Amarras plásticas	8	\$ 0,10	\$ 0,80
Total				\$ 252,30

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.23.3 Costo de mano de obra

Se refiere al detalle de costo de los diferentes procesos implicados en la fabricación

Tabla 20.

**Tabla 20.** Costos de mano de obra

Servicio	Tiempo utilizado [h]	Costo/h	Total [\$]
Torno	3,5	\$ 8,00	\$ 28,00
Fresa	2	\$ 8,00	\$ 16,00
Valoradora	1	\$ 7,00	\$ 7,00
Suelda	3,5	\$ 10,00	\$ 35,00
Diseño	13	\$ 20,00	\$ 260,00
Cortadora de plasma	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Pintura	1	\$ 10,00	\$ 10,00
		Total	\$381,00

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

#### 1.23.4 Costo total directo

**Tabla 21.** Costo total directo

Detalle	Costo [\$]
Materia prima	\$ 134,25
Mano de obra	\$ 252,30
Elementos normalizados	\$ 381,00
Total	\$ 767,55

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

#### 1.24 Costos indirectos

Son costos que no afectan directamente a la construcción porque son difícilmente determinados. Estos abarcan el costo de mano de obra indirecta y valores extras que surgen en fabricación de la máquina.

##### 1.24.1 Costo de mano de obra indirecta

Este costo describe el valor de cálculo, diseño y planos del molino Tabla 22.

**Tabla 22.** Costos de mano de obra indirecta

Descripción	Horas	Costo/hora	Total [\\$]
Trabajador opera amoladora	6	\$ 1,00	\$ 6,00
Trabajador de taller	5	\$ 0,50	\$ 2,50
Delegado de la Sierra manual	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Operario del taladro	1	\$ 2,50	\$ 2,50
<b>TOTAL</b>			<b>\$12,00</b>

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

#### 1.24.2 Costo de materiales consumibles

**Tabla 23.** Costo de materiales consumibles

Descripción	Cantidad	\$ c/u	Total [\\$]
Disco de corte	1	\$ 1,90	\$ 1,90
Hoja de sierra de manual	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Guantes protectores	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Gafas de protección	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Guaípe	2	\$ 1,90	\$ 1,90
Lija de agua n°150	3	\$ 2,00	\$ 4,00
<b>Total</b>			<b>\$19,90</b>

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

#### 1.24.3 Costo indirecto total

**Tabla 24.** Costo indirecto total.

Costos indirectos	Costo [\\$]
Mano de obra indirecta	\$ 12,00
Consumibles	\$ 23,90
<b>Total</b>	<b>\$ 35,90</b>

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

## 1.25 Costo total de la máquina

Al sumar los costos indirectos e indirectos se conoce el valor real del molino de martillos como se muestra en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Costo total de la máquina.

Detalle de costos	Costo [\$]
Directos	\$ 767,55
Indirectos	\$ 35,90
Sub total	\$ 803,45
Imprevistos 10%	\$ 80,35
Total	\$ 883,80

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El resultado del costo total es de \$883.80 de la Tabla 24. Se tiene en cuenta los costos imprevistos, que son el 10% del sub total.

El costo total en relación a máquinas similares es inferior. La producción es menor por ser semiautomática y dirigida a los artesanos de la Victoria. El tiempo en relación al proceso manual se reduce un estimado de 1 hora por 100 kg de arcilla. La operación del molino es básica tiene: encendido, apagado y paro por emergencia.

## 1.26 Análisis económico

Es necesario conocer el análisis económico para saber la rentabilidad de la máquina que contenga el detalle de sus ingresos, egresos e inversión de capital inicial.

### 1.26.1 Depreciación de la máquina

La depreciación de maquinaria es de 10 años. Con este valor y el residual se puede calcular la depreciación anual Tabla 26 y 27.

$$D_a = \frac{C_T}{A_v} \quad (40)$$

$D_a$ : depreciación anual

$C_T$ : costo total de la máquina

$A_v$ : años de vida útil de la máquina

$$D_a = \frac{883.80 \$}{10 \text{ año}} = 88.38 \frac{\$}{\text{año}}$$

**Tabla 26.** Valores para la depreciación

Años de vida útil[año]	10 años
Costo máquina [\$]	\$ 883,80
Residual [\$]	\$ 88,38
Valor a depreciar [\$]	\$ 795,42

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

**Tabla 27.** Depreciación anual

Años	Depreciación		Valor
	Anual (\$)	Acumulada (\$)	Anual (\$)
1°	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 795,42
2°	\$ 88,38	\$ 88,38	\$ 707,04
3°	\$ 88,38	\$ 176,76	\$ 618,66
4°	\$ 88,38	\$ 265,14	\$ 530,28
5°	\$ 88,38	\$ 353,52	\$ 441,90
6°	\$ 88,38	\$ 441,90	\$ 353,52
7°	\$ 88,38	\$ 530,28	\$ 265,14
8°	\$ 88,38	\$ 618,66	\$ 176,76
9°	\$ 88,38	\$ 707,04	\$ 88,38
10°	\$ 88,38	\$ 795,42	\$ 0,00

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.26.2 Egreso del Alfarero

Los egresos son gastos que se deben cumplir para su producción. Entre los egresos están el sueldo de los trabajadores, el costo de servicios básicos y materia prima.

Se toma en cuenta un valor promedio ya que puede variar en diferentes épocas del año y dependiendo de los pedidos. En la Tabla 28 se detalla los egresos promedio.

**Tabla 28.** Egreso mensual del alfarero de forma manual y con el molino.

Descripción	Proceso manual	Con molino de martillos
Sueldos de trabajadores [\$]	\$ 780,00	\$ 390,00
Materiales e insumos [\$]	\$ 300,00	\$ 300,00
Servicios básicos [\$]	\$ 30,00	\$ 150,00
<b>TOTAL [\$]</b>	<b>\$ 1.110,00</b>	<b>\$ 840,00</b>

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Dados los resultados se puede apreciar que el proceso con molino de martillos reducirá costos. Para el proceso manual se debe contar necesariamente con dos personas, el proceso con molino solo necesita de un operador y elimina el esfuerzo físico del proceso manual.

### 1.26.3 Tasa de endeudamiento incremental (TEI) con los últimos tres años.

Depende de años anteriores y obtener un porcentaje promedio de crecimiento Tabla 29.

**Tabla 29.** Tasa de endeudamiento incremental

TEI	TEI egresos	TEI ingresos
Porcentajes	3%	15%
	8%	13%
<b>Promedio [%]</b>	<b>5%</b>	<b>14%</b>

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

### 1.26.4 Flujo neto efectivo (FNE)

Se toma en como referencia los egresos e ingresos durante los 3 años anteriores con valores que se consultó al alfarero[50] Tabla 30.

**Tabla 30.** Historial de ingresos y egresos durante los últimos 3 años.

Año	Egresos [\$]	Ingresos [\$]
2017	\$ 9.560,00	\$ 10.000,00
2018	\$ 9.500,00	\$ 10.500,00
2019	\$ 9.600,00	\$ 10.600,00

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

**Tabla 31.** Flujo neto efectivo neto

	Proyección de ingresos	Proyección de egresos	FNE	FNE
Año	Ingreso anual	Egreso anual		Acumulado
			\$ -883,80	
2020	\$ 1.3333,33	\$ 1.0080,00	\$ 253,33	\$ 253,33
2021	\$ 1.3334,04	\$ 1.0080,58	\$ 253,47	\$ 506,80
2022	\$ 1.3334,76	\$ 1.0081,15	\$ 253,60	\$ 760,41
2023	\$ 1.3335,47	\$ 1.0081,73	\$ 253,74	\$ 1.014,14
2024	\$ 1.3336,18	\$ 1.0082,31	\$ 253,87	\$ 1.268,02

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

Después se expone el flujo neto efectivo neto por un año en la Tabla 31.

### 1.27 Valor actual neto (VAN)

Por medio de este se puede conocer el valor que se puede ganar o perder con esta inversión[50]. Este VAN se lo puede calcular directamente con la ayuda de la herramienta Excel y con los valores de la Tabla 27. Tiene un valor de 25.33.

Cuando el VAN es mayor a cero, indica que los pagos y cobros a futuro de la inversión, a la tasa elegida va a generar ganancias.

### 1.28 Tasa interna de rendimiento (TIR)

Es la tasa de interés de ganancia o pérdida que propone la inversión para los valores que no se gastaron del proyecto, es decir indica si la inversión va a obtener un rédito o no [51]. El TIR para el molino se calcula mediante la herramienta de Excel con los datos de la Tabla 31. El valor del TIR con el molino es del 13%. El valor del TIR con molino es mayor al valor mayor a cero, significa que la inversión es beneficiosa.

### 1.29 Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Ayuda a establecer si el proyecto logra generar ganancias [52]. El TMAR se puede obtener mediante la siguiente ecuación.

$$T_{MAR} = R_i + T_i + (R_i \cdot T_i) \quad (41)$$

$R_i$ : riesgo de inversión.

$T_i$ : tasa de inflación.

El valor de este riesgo nos indica:

Tiene un mínimo riesgo: De 3.00 a 6.00%

De mediano riesgo: De 6 a 10%

Con un alto riesgo: Superior a 10%

Hay que considerar que la alfarería es una actividad estable para los habitantes de la Victoria y no existe de forma industrial en nuestro país, por lo que se le asigna un 5%, es decir no representara riesgo en su inversión.

Para la tasa de inflación se utiliza la Tabla 31, donde se realizan detalles de los 6 años anteriores y se calcula el promedio que es de 1,68%.

$$T_{MAR} = 3.52 \%$$

La tasa de inflación de la Tabla 27 ayuda en la comparación del valor del TMAR obtenido.

**Tabla 32.** Tasa de inflación promedio del Ecuador[53].

Año	Porcentaje
2013	2,48
2014	3,50
2015	3,20
2016	0,98
2017	-0,4
2018	0,18
Promedio	1,68

Elaborado por: Oscar García y Víctor Guayasamín.

El valor del TMAR es mayor al del valor promedio de inflación en nuestro país. Esto significa que el proyecto va a ser beneficioso e interesante para los inversores.

### 1.30 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Este indicador permite medir el tiempo necesario que necesita el flujo neto efectivo (FNE) para que puedan recuperar el costo total de la inversión inicial. El cálculo del PRI se realiza con los datos de la Tabla 30 y mediante la siguiente fórmula:

$$PRI = A + \frac{|B - C|}{D} \quad (42)$$

A: Año de recuperación total de la inversión inicial.

B: Inversión inicial

C: monto acumulado del año pasado en el que se recupera la inversión

D: el monto del año de recuperación de la inversión.

$$PRI = 1.04 \text{ años}$$

La inversión inicial será recuperada en poco mas de un año. Es decir la construcción de la máquina sera rentable en un año, este es un periodo corto de retorno.

## CONCLUSIONES

Después de haber estudiado las características, propiedades y composición química de la arcilla descritos en la sección 1.5, ubicada en el sector de Collas y El Tingo, sector donde los alfareros de La Victoria extraen su materia prima, se concluye que esta arcilla posee una humedad de 6.42% y porosidad de 58,80% que representa la presencia de un alto porcentaje de feldespatos excelentes para el moldeo en la alfarería.

De acuerdo a las visitas que se realizó a la parroquia La Victoria se pudo observar las condiciones de trabajo de los alfareros de La Victoria, se concluyó que los procesos para la elaboración de artesanías son manuales debido a la poca capacidad de diseño de máquinas en el sector, por lo que optan por el proceso manual. Por esa razón se diseñó una máquina semiautomática de baja producción (100kg/h) reduciendo en un 75% el tiempo del proceso manual de preparación de arcilla, como se explica en la Tabla 14.

Mediante el uso del software Inventor se logró concluir que es una herramienta complementaria para la simulación de cargas sobre los ejes descritas en el capítulo III. Se puede trabajar con valores cercanos a los reales, de esa forma se puede corroborar la selección de los materiales con los cálculos realizados.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del molino de martillos detallado en la sección 3.10, se comprobó que la capacidad real de la máquina es de un promedio de 7 a 10 minutos aproximadamente por 20kg de material. En conclusión, esto equivale a moler 200kg/h, lo que se encuentra dentro de la capacidad planteada inicialmente.

Por pedido del beneficiario se utilizará en la trituradora tamizadora el mismo motor que actualmente se utiliza en la mezcladora existente, debido al costo que implica tener otro motor. Esto es posible debido a que estos procesos son de baja escala (artesanal) y no requieren un trabajo constante, solamente en intervalos cortos de tiempo (tres días a la semana) dependiendo de los pedidos. Se concluyó que la trituradora-tamizadora puede ser utilizado de forma independiente mediante un acople de poleas para los dos procesos.

En las visitas realizadas a la parroquia La Victoria se pudo observar que los alfareros son personas de bajos recursos económicos, por tal motivo se dimensionó la máquina pensando en su economía. El costo de \$883.80, valor que es inferior a los del mercado nacional y de acuerdo al análisis financiero, el periodo de recuperación de inversión es de poco más de 1 año. Consideramos que este es un tiempo razonable para amortizar la máquina.

Después de las pruebas de funcionamiento, se comprobó que el motor de 3Hp es idóneo para la trituración de la arcilla. El valor del amperaje nominal es 9 A, al medir el amperaje en las pruebas de funcionamiento este es de 8.1 A. Con esto se concluye que el motor es el adecuado y no sufrirá daños.

## **RECOMENDACIONES**

Dada la excelente calidad de la arcilla de La Victoria utilizada en la alfarería, se recomienda seguir realizando estudios en desarrollo de maquinaria para ver la posibilidad de elaborar cerámica.

Al verificar que la gran población de la parroquia La Victoria se dedica a la alfarería, se recomienda a los pequeños alfareros organizarse en sociedades y plantear la construcción de máquinas de mayor capacidad para optimizar el uso de las mismas.

Para futuros diseños se recomienda tomar en cuenta el equipo de trabajo. Pues al ser este reducido y entendiéndose que es una actividad familiar, el trabajo también lo realizan mujeres y personas de la tercera edad. Por este motivo el diseño debe considerar la ergonomía de estas personas.

Se ha comprobado que el software SolidWorks 2018 es una herramienta completamente válida para verificar los criterios de cálculo de elementos de máquinas, por lo que se recomienda seguir utilizando este sistema de diseño para diferentes aplicaciones en la trituración y tamizado de material, puesto que significa un ahorro de tiempo y dinero en construcción de máquinas.

Una vez realizado el trabajo se puede recomendar que grupos como los artesanos de La Victoria realicen convenios con universidades u ONGs para obtener ayudas técnicas que puedan mejorar sus condiciones de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Emilio Andrea Blanco, “Trituración,” *Optim. procesos en plantas Ind. Trituración y Clasif.*, pp. 1–80, 2011.
- [2] E. Vyhmeister, L. Reyes-Bozo, R. Rodriguez-Maecker, C. Fúnez-Guerra, F. Cepeda-Vaca, and H. Valdés-González, “Modeling and energy-based model predictive control of high pressure grinding roll,” *Miner. Eng.*, vol. 134, pp. 7–15, 2019.
- [3] O. Espin and C. Rodriguez, “Metodología Para Un Scoring De,” *Cuad. Econ.*, pp. 137–162, 2013.
- [4] “Grupo Eumed.net.” [Online]. Available: <https://www.eumed.net/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [5] “I. ¿QUÉ SON LAS ARCILLAS?” [Online]. Available: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec\\_6.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_6.html). [Accessed: 18-Nov-2019].
- [6] J. Linares, F. Huertas, and J. Capel Martínez, “La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento,” *Cuad. Prehist. y Arqueol. la Univ. Granada*, vol. 8, pp. 479–490, 1983.
- [7] G. Z. Jorge Hernández Díaz, “Artesanas y artesanos: creación, innovación y tradición en la producción de ...” [Online]. Available: [https://books.google.com.ec/books?id=x9-RzFZmdp8C&pg=PA143&lpg=PA143&dq=secado+en+sombra+de+artesania&source=bl&ots=Ur\\_tU\\_SpHf&sig=ACfU3U3fxpN-tD6Q3QHM0a7V-y9EBW7EMQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiLuP3U9NrlAhWKnFkKHQDJBhAQ6AEwA3oECAkQAQ#v=onepage&q=secado en som.](https://books.google.com.ec/books?id=x9-RzFZmdp8C&pg=PA143&lpg=PA143&dq=secado+en+sombra+de+artesania&source=bl&ots=Ur_tU_SpHf&sig=ACfU3U3fxpN-tD6Q3QHM0a7V-y9EBW7EMQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiLuP3U9NrlAhWKnFkKHQDJBhAQ6AEwA3oECAkQAQ#v=onepage&q=secado en som.) [Accessed: 08-Nov-2019].
- [8] “La Alfarería entre cultura y naturaleza :,” 2010.
- [9] A. FLOREZ ARENAS, “Caracterización De Arcillas Y Preparación De Pastas Cerámicas Para La Fabricación De Ladrillos En La Ladrillera Mariscal Robledo S.a,” *Fac. Tecnol. Química Ind. Univ. tecnológica Pereira, Colomb.*, no. C, pp. 1–19, 2016.
- [10] R. R. Rodríguez *et al.*, “Dolor de espalda y malas posturas , ¿ un problema para la salud ? Back pain and bad posture , a problem for health care ?,” pp. 833–838.

- [11] B. M. D. Carolina., “diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas,” vol. 2014, no. 2014-05, pp. 1–4.
- [12] I. É. Rica, C. D. E. E. D. E. Posgrado, P. La, V. Del, and C. Pujilí, “Universidad tecnológica ‘indoam é rica.’”
- [13] “Share and Discover Knowledge on SlideShare.” [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [14] “I. ¿QUÉ SON LAS ARCILLAS?” [Online]. Available: [http://www.cubaeduca.cu/media/www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros\\_3/ciencia3/109/htm/sec\\_6.htm](http://www.cubaeduca.cu/media/www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_3/ciencia3/109/htm/sec_6.htm). [Accessed: 15-Nov-2019].
- [15] “Comparta y descubra conocimientos - VDOKUMENTS.” [Online]. Available: <https://vdocuments.mx/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [16] I.- Quito, “Ley de Minería Ecuador,” 2009.
- [17] A. de R. y C. Minero, “Proyecto\_implementation del sistema de auditoria minera.” 2010.
- [18] “El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo - La alfarería, uno de los atractivos adicionales de Pujilí (Galería).” [Online]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/larga/1/la-alfareria-uno-de-los-atractivos-adicionales-de-pujili-galeria>. [Accessed: 12-Nov-2019].
- [19] L. Flores and J. Alcalá, “Manual de procedimiento analítico.,” p. 56, 2010.
- [20] U. D. E. E. L. Salvador, M. Cirilo, R. Avelar, P. Optar, and A. L. Titulo, “Desarrollo de modulos de simulacion de procesos en ingenieria quimica,” *Inst. Tec. Durango*, 2005.
- [21] “Picnómetro no calibrado Blaubrand Gay-Lussac – Científica Vela Quin S de R.L de C.V.” [Online]. Available: <https://www.velaquin.com.mx/products/picnometro-no-calibrado-blaubrand-gay-lussac-1>. [Accessed: 15-Nov-2019].
- [22] 김기용, Moon Seyeon, and Seung-IL Na, “Use of Instructional Designs, Teaching Methods and Strategies by Professors in College of Agriculture and Life Sciences,” *J. of Agricultural Educ. Hum. Resour. Dev.*, vol. 41, no. 1, pp. 191–210, 2009.
- [23] A. Álvarez and G. Chacho, “Sustitución Del Vidrio Crudo a Base De Óxido De Plomo Por Uno Fritado En La Elaboración De Tejas En El Sector San José De Balzay Y Racar.,” p. 190, 2015.

- [24] O. Rey Castelao and R. Castro Redondo, “The forgotten sacrament: Confirmation in the Archdiocese of Santiago, end of the 16th century to 1833,” *Studia Historica, Historia Moderna*, vol. 41, no. 2. Ediciones Universidad de Salamanca, pp. 35–69, 2019.
- [25] Á. M. Fajardo Ruilova and A. Guevara, “Diseño de unua planta de elaboración de pastas de moldeo y juguetes lúdicos con material arcilloso de Cotopaxi y Pastaza,” 2017.
- [26] D. J. G. M. GASCH, “DENSIFICACIÓN Y FLUJO DE LECHOS DE PARTÍCULAS DE CUARZO,” p. 299, 2005.
- [27] A. Sur, “EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No . 200 ( 75  $\square$  m ) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO,” no. 01, 1996.
- [28] “Héroe del curso | Haz que cada hora de estudio cuente.” [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [29] M. F. Cando Tandazo, “Desarrollo y caracterización de arcillas modificadas para aplicaciones industriales.,” 2010.
- [30] D. Y. Construcción and D. E. U. N. Molino, “Universidad san francisco de quito diseño y construcción de un molino de martillos,” 2009.
- [31] “Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas.” [Online]. Available: <http://geotecnia-sor.blogspot.com/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [32] A. E. A. C. B. F. J. P. P. Marchetti, *JORNADAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA*. 2010.
- [33] “Repositorio Digital - EPN: Página de inicio.” [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [34] “Intemperismo - EcuRed.” [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Intemperismo>. [Accessed: 18-Nov-2019].
- [35] “La importancia de algunos instrumentos de medición en el mantenimiento de nuestro jardín | La Rural Semillería.” [Online]. Available: <https://semillasrural.com.ar/la-importancia-de-algunos-instrumentos-de-medicion-en-el-mantenimiento-de-nuestro-jardin/>. [Accessed: 18-Nov-2019].
- [36] D. BERMEO, “Departamento de eléctrica y electrónica,” Universidad de las Fuerzas Armadas, 2014.
- [37] L. Atarama-valdiviezo, “PARA GRANO Luis Atarama-Valdiviezo,” Universidad de Piura, 2018.

- [38] “Pirhua - Universidad de Piura.” [Online]. Available: <https://pirhua.udep.edu.pe/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [39] G. K. P. Barrios and L. M. Tavares, “A preliminary model of high pressure roll grinding using the discrete element method and multi-body dynamics coupling,” *Int. J. Miner. Process.*, vol. 156, pp. 32–42, Nov. 2016.
- [40] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, “Fallas por fatiga resultantes de carga variable,” *Diseño en Ing. mecánica Shigley*, vol. 8, pp. 257–278, 2008.
- [41] P. Optar *et al.*, “FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y Autores :,” 2019.
- [42] “DINAMICA HIBBELER ED 12.pdf.” .
- [43] J. Martínez, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” *Tesis*, pp. 1–57, 2018.
- [44] Paul M. Muchinsky, “~~濟無~~No Title No Title,” *Psychol. Appl. to Work An Introd. to Ind. Organ. Psychol. Tenth Ed. Paul*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2012.
- [45] J. M. Gere and B. J. Goodno, *James M. Gere • Barry J. Goodno.* .
- [46] “DSpace Principal.” [Online]. Available: <http://repositorio.uss.edu.pe/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [47] INTERMEC, “Tensión de las correas,” pp. 16–18, 2013.
- [48] “Motor Electrico Trifasico 2hp 1750 Rpm.” [Online]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423981298-motor-electrico-trifasico-2hp-1750-rpm-motor-cerrado-weg-\\_JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking\\_id=8100314e-81a4-43f3-ae2e-8077e18ac2e5](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423981298-motor-electrico-trifasico-2hp-1750-rpm-motor-cerrado-weg-_JM?quantity=1#position=6&type=item&tracking_id=8100314e-81a4-43f3-ae2e-8077e18ac2e5). [Accessed: 12-Feb-2020].
- [49] “When we share, everyone wins - Creative Commons.” [Online]. Available: <https://creativecommons.org/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [50] “Valor actual neto (VAN) - Qué es, definición y significado | Economipedia.” [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>. [Accessed: 13-May-2020].
- [51] “Tasa interna de retorno (TIR) - Qué es, definición y concepto | Economipedia.” [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>. [Accessed: 13-May-2020].
- [52] “Ayuda de Estudio Cálculo de la TMAR.”
- [53] E. Áviles Pino, “Enciclopedia del Ecuador.” .



## ANEXOS

### ANEXO 1. Parámetros en el factor de la condición superficial.

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S<sub>utr</sub></i> kpsi	<i>S<sub>utr</sub></i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

### ANEXO 2. Factor de tamaño

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual:

$$k_A = 1$$

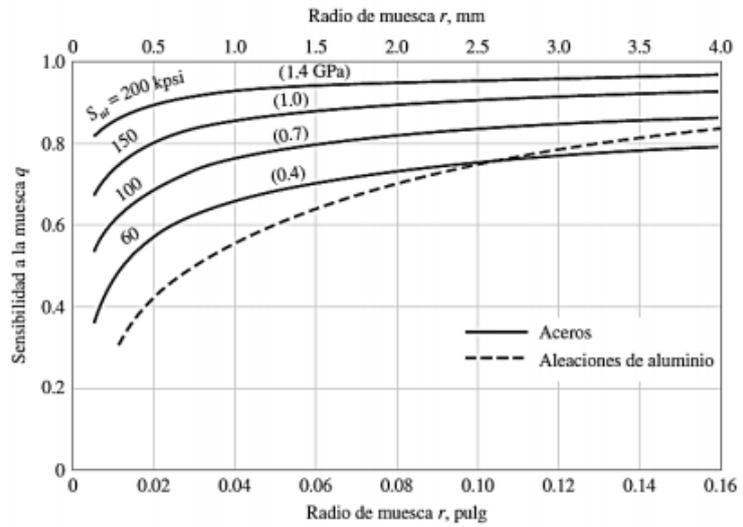
### ANEXO 3. Factor de confiabilidad.

Confiabilidad (%)	Variación de transformación <i>z<sub>a</sub></i>	Factor de confiabilidad <i>k<sub>e</sub></i>
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

## ANEXO 4. Sensibilidad a la muesca q

**Figura 6-20**

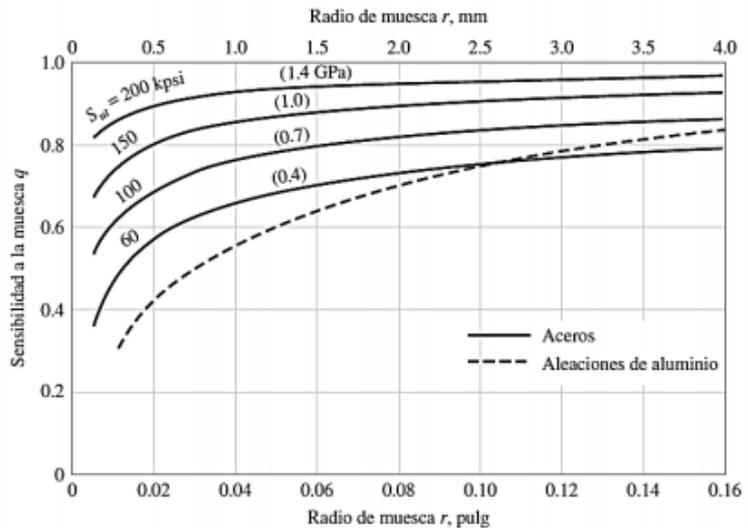
Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de  $q$  correspondientes a la ordenada  $r = .16$  pulg (4 mm). [De George Sines y J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill. Nueva York, Copyright © 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]



## ANEXO 5. Sensibilidad a la muesca q<sub>s</sub>

**Figura 6-20**

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de  $q$  correspondientes a la ordenada  $r = .16$  pulg (4 mm). [De George Sines y J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill. Nueva York, Copyright © 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]



## ANEXO 6. Índice de trabajo $w_i$ .

Material	Dens. rel. Índice de trabajo, $W_i$	
Bauxita	2,20	8,78
Clinker de cemento	3,15	13,45
Materias primas de cemento	2,67	10,51
Arcilla	2,51	6,30
Carbón	1,4	13,00
Coque	1,31	15,13
Granito	2,66	15,13
Grava	2,66	16,06
Yeso	2,69	6,73
Mineral de hierro (hematites)	3,53	12,84
Piedra caliza	2,66	12,74
Roca fosfática	2,74	9,92
Cuarzo	2,65	13,57
Pizarra	2,63	15,87
Esquisto	2,57	14,30
Roca volcánica	2,87	19,32

† Para molienda seca, multiplicar por 4/3.

‡ Tomada de **Allis-Chalmers**, Solids Processing Equipment Div., Appleton, Wis., con autorización.

## ANEXO 7. Tabla para elección de factor de trabajo de la máquina

CLASE DE TRABAJO	EJEMPLOS DE MÁQUINAS ACCIONADAS	TIPOS DE MÁQUINAS MOTRICES					
		Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Normal			Motores de Corriente Alterna con par de Arranque Elevado		
		Horas de Servicio Diarias			Horas de Servicio Diarias		
		Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16	Menos de 10	De 10 a 16	Más de 16
Ligero	Agitadores para líquidos. Aspiradores. Bombas y compresores centrifugos. Transportadores de cinta para carga ligera. Ventiladores y bombas hasta 7,5 Kw.	1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Mediano	Amasadoras. Cizallas y prensas. Cribas rotativas y vibrantes. Generadores y excitatrices. Máquinas herramientas. Maquinaria para artes gráficas. Maquinaria para lavanderías. Transportadores de cinta para carga pesada. Ventiladores y bombas a partir de 7,5 Kw.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Pesado	Ascensores. Bombas de desplazamiento positivo. Centrifugadores. Compresores de pistón. Maquinaria para labrar madera. Maquinaria para cerámicas. Maquinaria para papeleras. Maquinaria Textil. Molinos de martillos. Sierras alternativas. Elevadores de cangilones. Transportadores de Tornillo.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Extra Pesado	Grúas Montacargas. Machacadoras y molinos (mandíbulas, conos, bolas, barras, etc). Maquinaria para caucho y plásticos.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

## ANEXO 8. Tabla de factor de corrección K1

Tabla 17-13

Factor de corrección del ángulo de contacto  $K_1$  para transmisiones de banda plana VV\* y en V

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	VV	$K_1$ Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

\*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de  $\theta$  es  
 $K_1 = 0.143543 + 0.007468\theta - 0.000015052\theta^2$   
 en el intervalo de  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ .

## ANEXO 9. Tabla del factor de corrección de longitud de K2

Tabla 17-14

Factor de corrección de longitud de banda  $K_2$ \*

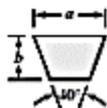
Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

\*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

## ANEXO 10. Tabla para elección des sección de la banda

Tabla 17-9

Secciones de bandas en V estándar



Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{2}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Ilustración 13. Selección de bandas.

Fuente: shigley 9na edición.2012

## ANEXO 11. Tabla para elección de bandas

**Tabla 17-10**

Circunferencias interiores de bandas en V estándar

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

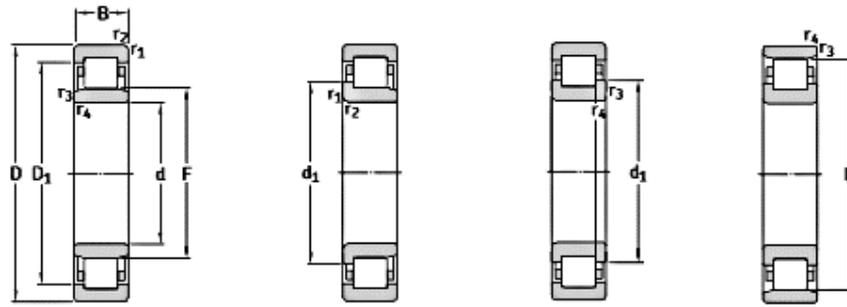
## ANEXO 12. Tabla para elección de bandas

**Tabla 17-10**

Circunferencias interiores de bandas en V estándar

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

### ANEXO 13. Catalogo sfk para la elección de rodamientos



Dimensiones principales		Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	Jaula estándar	
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	P <sub>e</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite	Rodamiento con jaula estándar	alternativa <sup>1)</sup>	
mm			kN	kN	kN	r. p. m.	kg	-		
15	35	11	12,5	10,2	1,22	22 000	26 000	0,047	NU 202 ECP	PHA
	35	11	12,5	10,2	1,22	22 000	26 000	0,048	NJ 202 ECP	PHA
17	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,068	NU 203 ECP	PHA
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,07	NJ 203 ECP	PHA
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,072	NUP 203 ECP	PHA
	40	12	17,2	14,3	1,73	19 000	22 000	0,066	N 203 ECP	PH
40	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,087	NU 2203 ECP	=	
	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,093	NJ 2203 ECP	=	
	16	23,8	21,6	2,65	19 000	22 000	0,097	NUP 2203 ECP	=	
47	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	NU 303 ECP	=	
	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	NJ 303 ECP	=	
	14	24,6	20,4	2,55	15 000	20 000	0,12	N 303 ECP	=	
20	47	14	25,1	22	2,75	16 000	19 000	0,11	NU 204 ECP	ML,PHA
	47	14	25,1	22	2,75	16 000	19 000	0,11	NJ 204 ECP	ML,PHA
	47	14	25,1	22	2,75	16 000	19 000	0,12	NUP 204 ECP	ML,PHA
	47	14	25,1	22	2,75	16 000	19 000	0,11	N 204 ECP	=
	47	18	29,7	27,5	3,45	16 000	19 000	0,14	NU 2204 ECP	=
	47	18	29,7	27,5	3,45	16 000	19 000	0,14	NJ 2204 ECP	=
	52	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,15	* NU 304 ECP	=
	52	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,15	* NJ 304 ECP	=
52	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,16	* NUP 304 ECP	=	
	15	35,5	26	3,25	15 000	18 000	0,15	* N 304 ECP	=	
	21	47,5	38	4,8	15 000	18 000	0,21	* NU 2304 ECP	=	
52	21	47,5	38	4,8	15 000	18 000	0,22	* NJ 2304 ECP	=	
52	21	47,5	38	4,8	15 000	18 000	0,22	* NUP 2304 ECP	=	
25	47	12	14,2	13,2	1,4	18 000	18 000	0,083	NU 1005	=
	52	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,13	NU 205 ECP	J, ML,PHA
	52	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,14	NJ 205 ECP	J, ML,PHA
	52	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,14	NUP 205 ECP	J, ML,PHA
	52	15	28,6	27	3,35	14 000	16 000	0,13	N 205 ECP	=

## ANEXO14. Planchas laminadas en caliente acero ASTM A36

### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro

## ANEXO 15. Fuerza de tensión de la banda V

Fuerza de deflexión requerida para medir la tensión de instalación en transmisiones con correas trapecoidales en V							
Corte de sección	Rango de diámetro de poleas pequeñas (mm)	Condición 1 - Deflexión de 0,02 por milímetro del largo del tramo si el largo del tramo es de 500 mm o menor			Condición 2 - Deflexión de 0,01 por milímetro del largo del tramo si el largo del tramo supera los 500 mm		
		Fuerza F de deflexión requerida en el centro del tramo para velocidad de correas de:			Fuerza F de deflexión requerida en el centro del tramo para velocidad de correas de:		
		De 0 m/s a 10 m/s (Nw)	De 10 m/s a 20 m/s (Nw)	De 20 m/s a 30 m/s (Nw)	De 0 m/s a 10 m/s (Nw)	De 10 m/s a 20 m/s (Nw)	De 10 m/s a 30 m/s (Nw)
<b>Z</b>	56 a 100 arriba de 100	8 a 12 12 a 17	7 a 9,5 10 a 14	6 a 7,5 9 a 12	4 a 6 6 a 8,5	3,5 a 5 5,5 a 7	3 a 4 4,5 a 6
<b>A</b>	80 a 140 arriba de 140	16 a 24 24 a 35	13 a 19 19 a 28	10 a 16 16 a 24	8 a 12 12 a 18	6,5 a 9,5 9,5 a 14	5,5 a 8 8 a 12
<b>B</b>	125 a 200 arriba de 200	32 a 48 48 a 70	26 a 38 38 a 58	20 a 32 32 a 48	16 a 24 24 a 35	13 a 19 19 a 29	10 a 16 16 a 24
<b>C</b>	200 a 400 arriba de 400	62 a 92 92 a 140	52 a 76 72 a 116	40 a 62 62 a 92	31 a 46 46 a 70	26 a 38 38 a 58	20 a 31 31 a 46
<b>D</b>	355 a 600 arriba de 600	124 a 180 180 a 268	164 a 152 152 a 230	84 a 124 124 a 180	62 a 90 90 a 134	52 a 76 76 a 115	42 a 62 62 a 90

## ANEXO 16. Fotos de la Máquina



Ensamble de los martillos y ejes.  
Elaborado por: Garcia O., Guayasamin V.



**Ensamble del rotor de la trituradora-tamizadora**

Elaborado por: García O., Guayasamín V.



**Máquina ensamblada**

Elaborado por: Garcia O., Guayasamin V.



Prueba de funcionamiento con el tutor

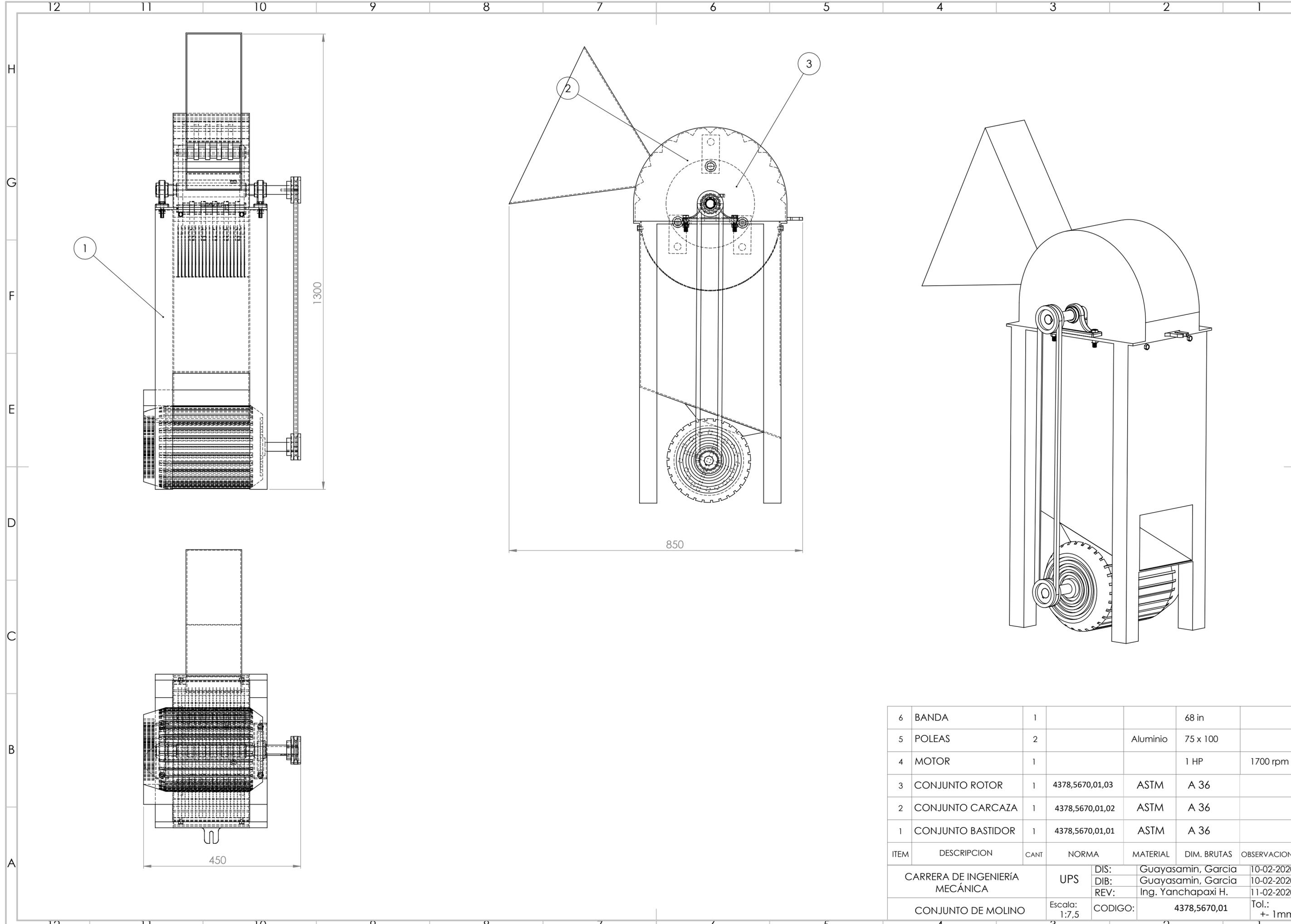
Elaborado por: Garcia O., Guayasamin V.

## **ANEXO 17**

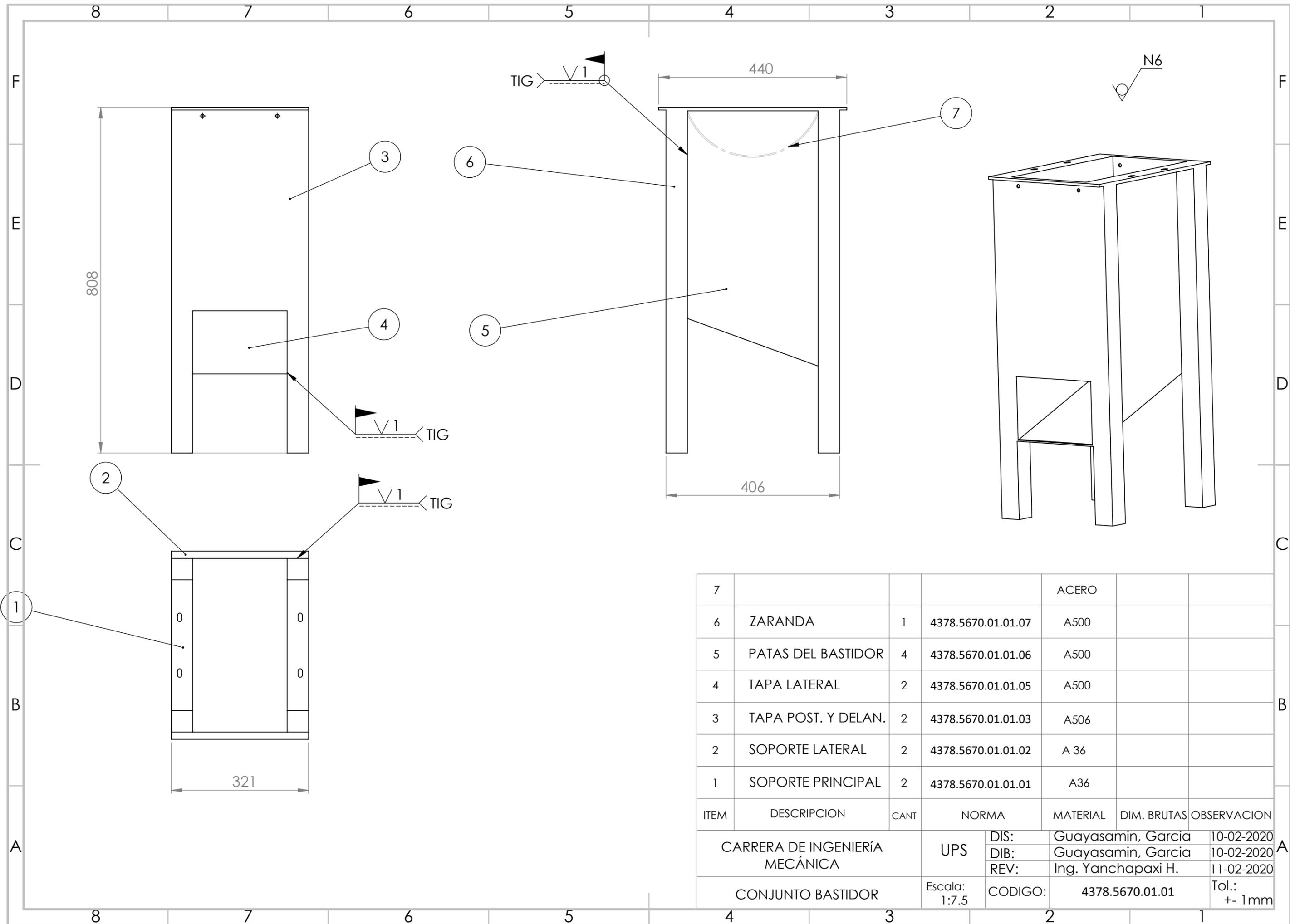
PLANOS DE LA TRITURADORA-TAMIZADORA

## **ANEXO 18**

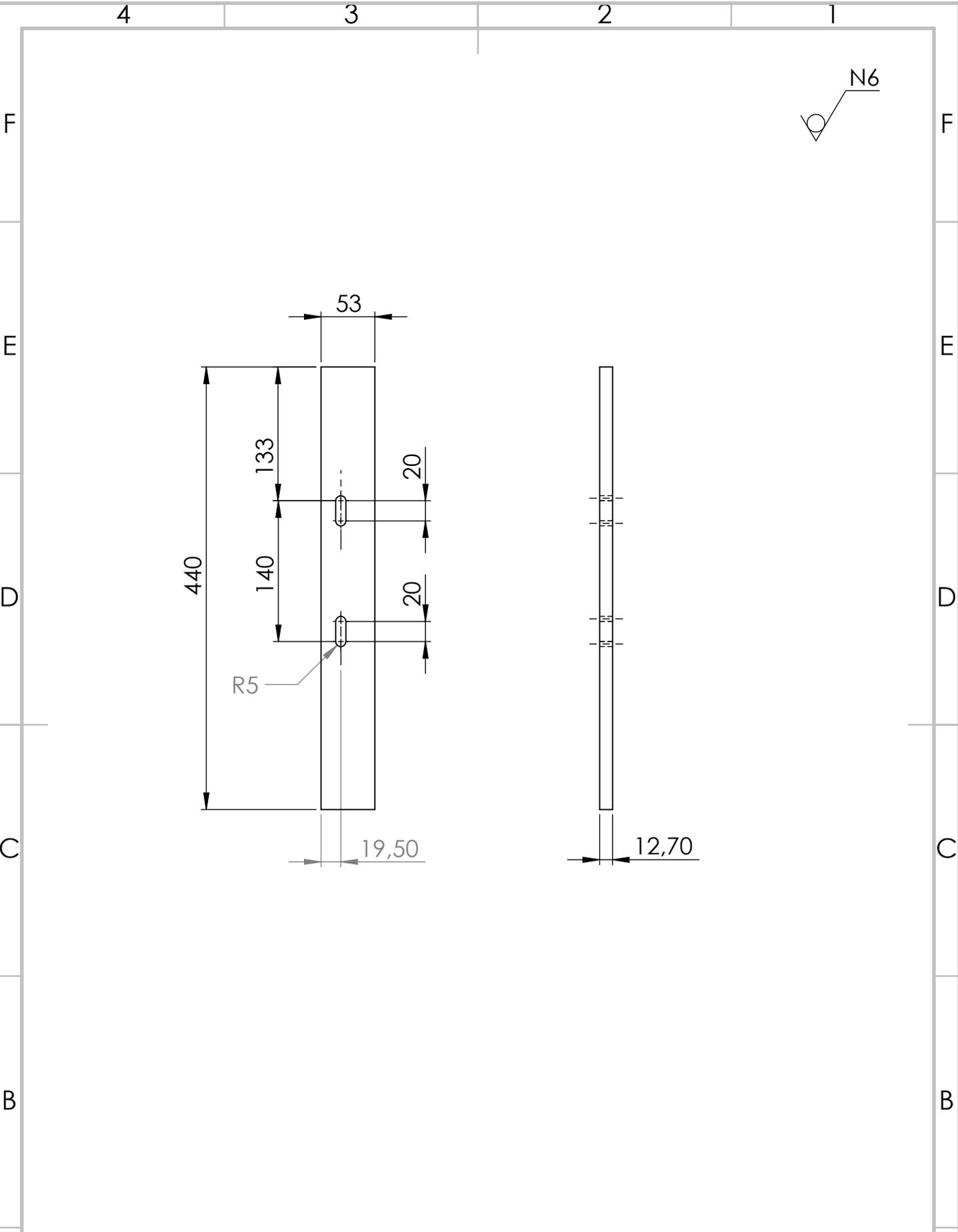
MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA



ITEM	DESCRIPCION	CANT	NORMA	MATERIAL	DIM. BRUTAS	OBSERVACION
6	BANDA	1			68 in	
5	POLEAS	2		Aluminio	75 x 100	
4	MOTOR	1			1 HP	1700 rpm
3	CONJUNTO ROTOR	1	4378,5670,01,03	ASTM	A 36	
2	CONJUNTO CARCAZA	1	4378,5670,01,02	ASTM	A 36	
1	CONJUNTO BASTIDOR	1	4378,5670,01,01	ASTM	A 36	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	DIS: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				DIB: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				REV: Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
CONJUNTO DE MOLINO		Escala: 1:7,5	CODIGO:	4378,5670,01	Tol.: +/- 1mm	



7				ACERO		
6	ZARANDA	1	4378.5670.01.01.07	A500		
5	PATAS DEL BASTIDOR	4	4378.5670.01.01.06	A500		
4	TAPA LATERAL	2	4378.5670.01.01.05	A500		
3	TAPA POST. Y DELAN.	2	4378.5670.01.01.03	A506		
2	SOPORTE LATERAL	2	4378.5670.01.01.02	A 36		
1	SOPORTE PRINCIPAL	2	4378.5670.01.01.01	A36		
ITEM	DESCRIPCION	CANT	NORMA	MATERIAL	DIM. BRUTAS	OBSERVACION
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	DIS: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				DIB: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				REV: Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
CONJUNTO BASTIDOR			Escala: 1:7.5	CODIGO: 4378.5670.01.01	Tol.: +/- 1mm	

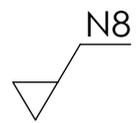


Tratamiento termico:		NA		Material:		A36		Dim. Brutas:		444 X 53 X 13	
Recubrimiento:		NA		DIS:		Guayasamin, Garcia		10-02-2020		A	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		DIB:		Guayasamin, Garcia		10-02-2020			
SOPORTE PRINCIPAL		Escala: 1:5		REV:		Ing. Yanchapaxi H.		11-02-2020			
				CODIGO:		4378.5670.01.01.01		Tol.: +/- 1mm			

4 3 2 1

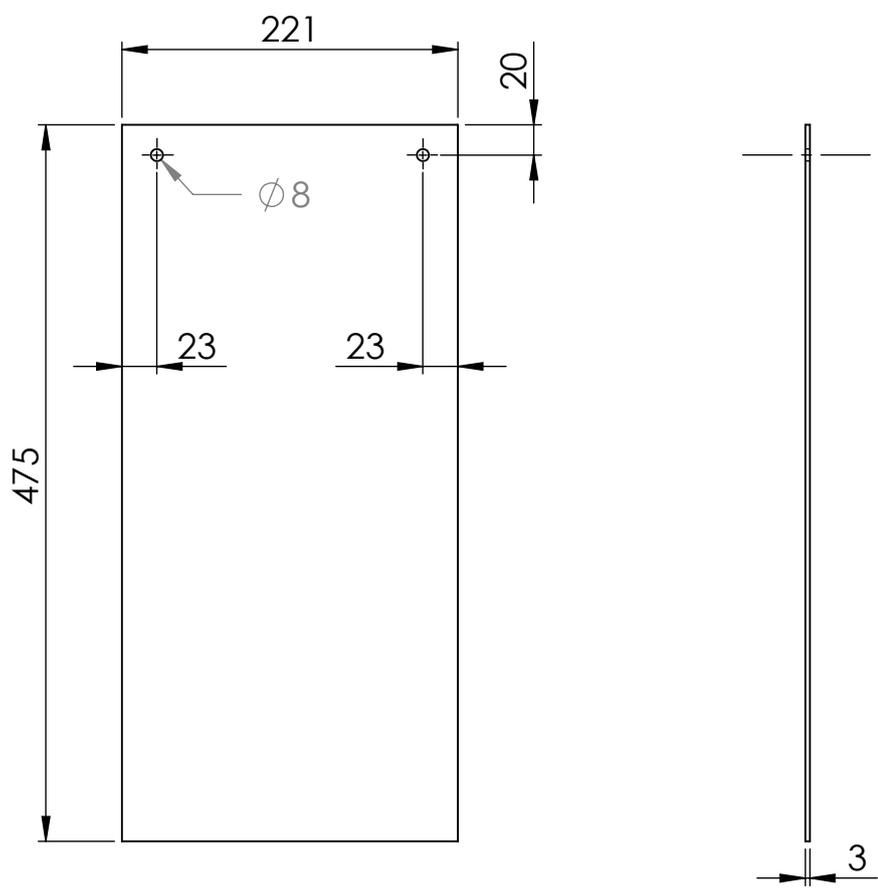
F

F



E

E



D

D

C

C

B

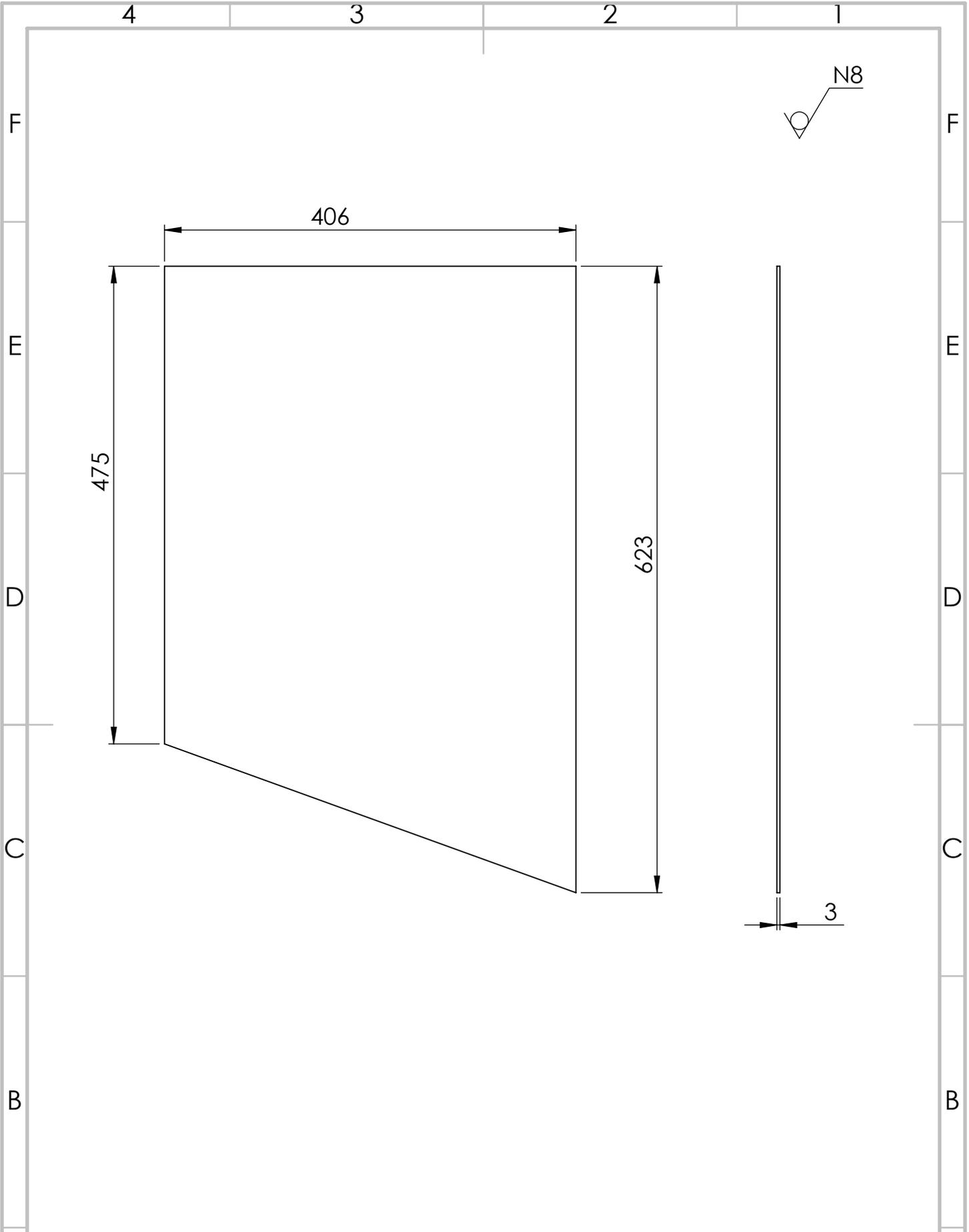
B

A

A

Tratamiento termico:	NA	Material:	A506	Dim. Brutas:	475 * 221* 3
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
TAPA POSTERIOR Y DELANTERA	Escala: 1:5	CODIGO:	4378.5670.01.01.03	Tol.: +- 1mm	

4 3 2 1



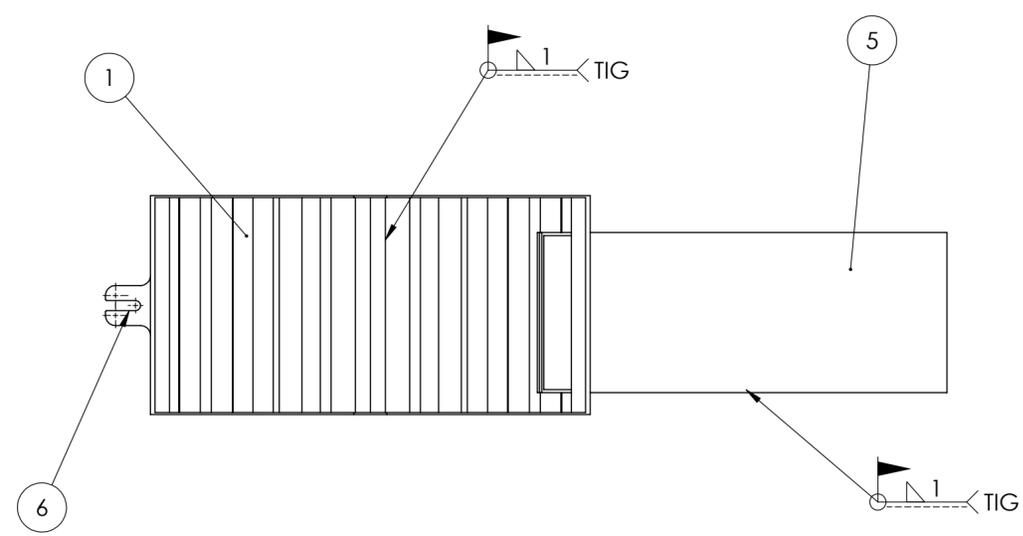
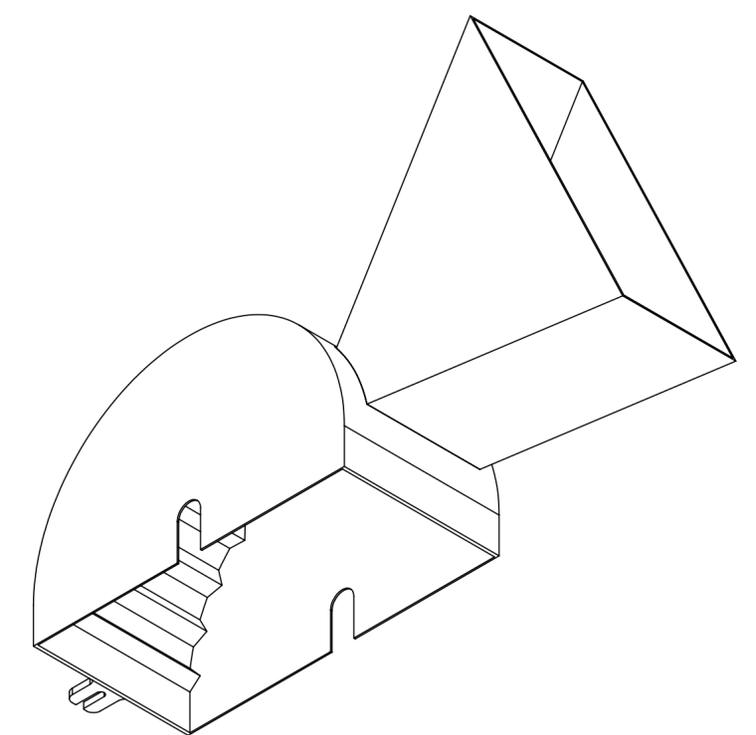
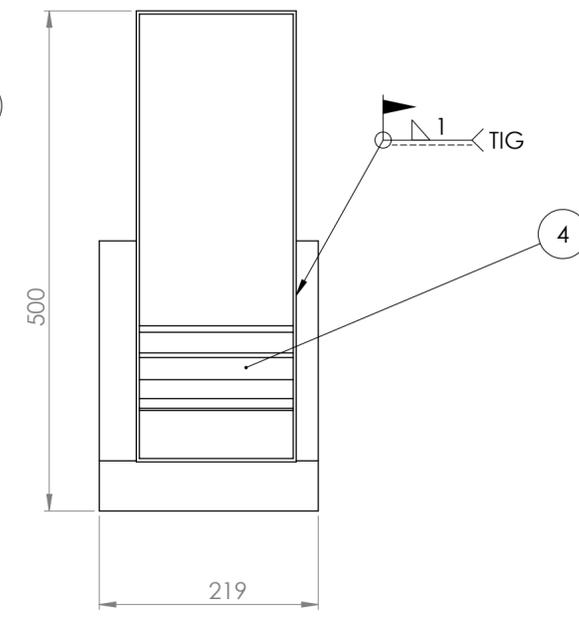
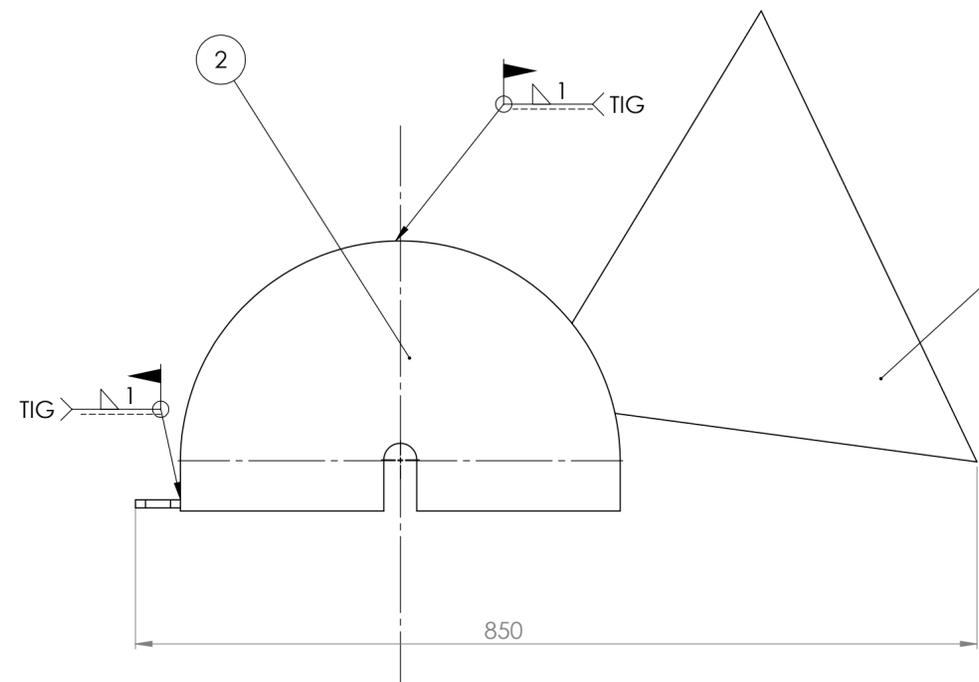
Tratamiento termico:		NA		Material:		A500		Dim. Brutas:		630 X 406 X 3	
Recubrimiento:		NA		DIS:		Guayasamin, Garcia		DIB:		Guayasamin, Garcia	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		REV:		Ing. Yanchapaxi H.		CODIGO:		4378.5670.01.01.05	
TAPA LATERAL		Escala:		Tol.:		+/- 1mm					
		1:5									

A

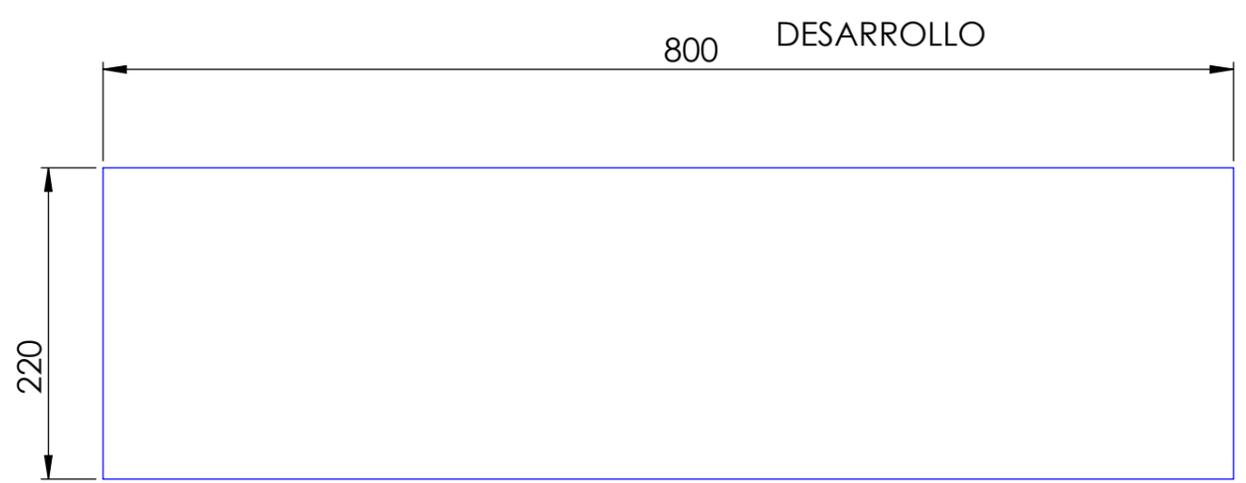
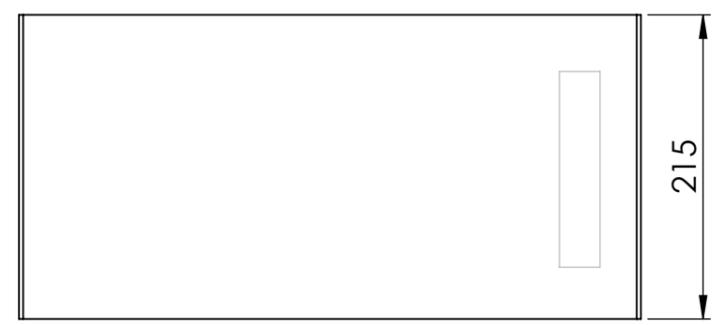
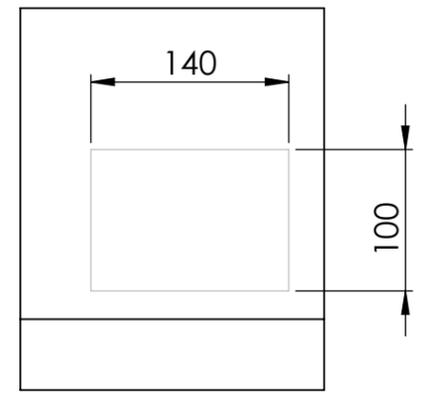
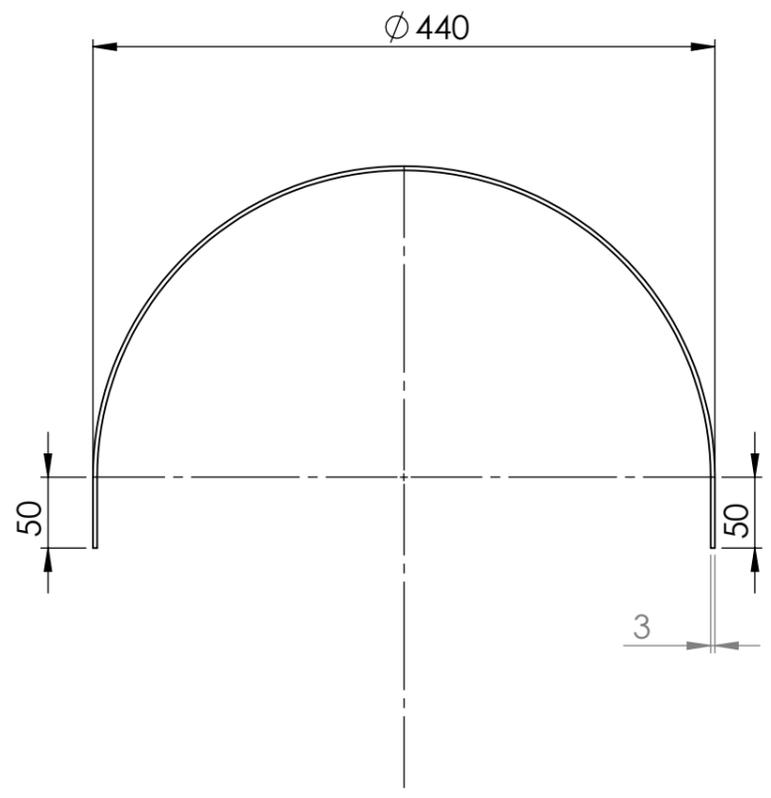
A

4 3 2 1

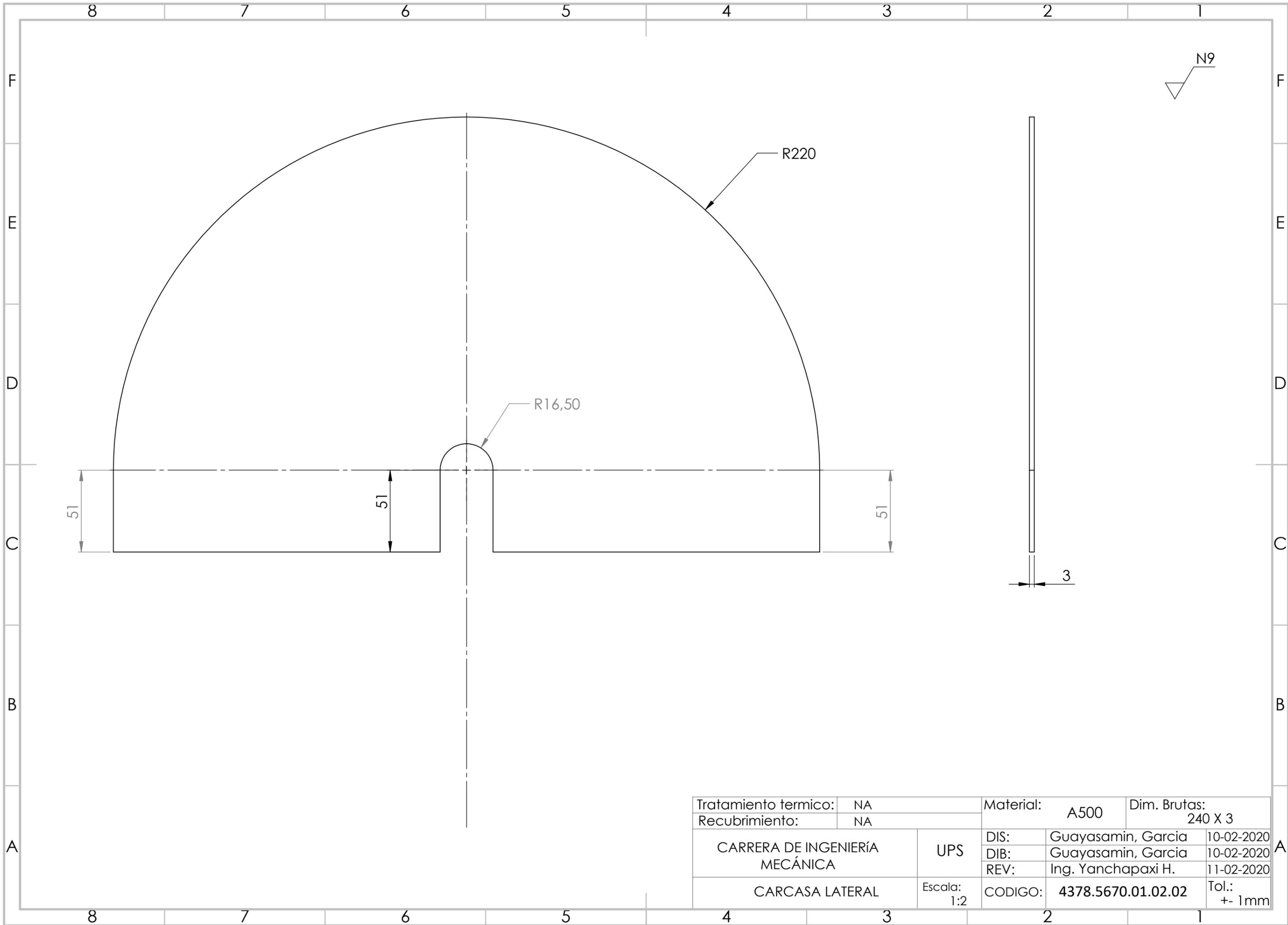




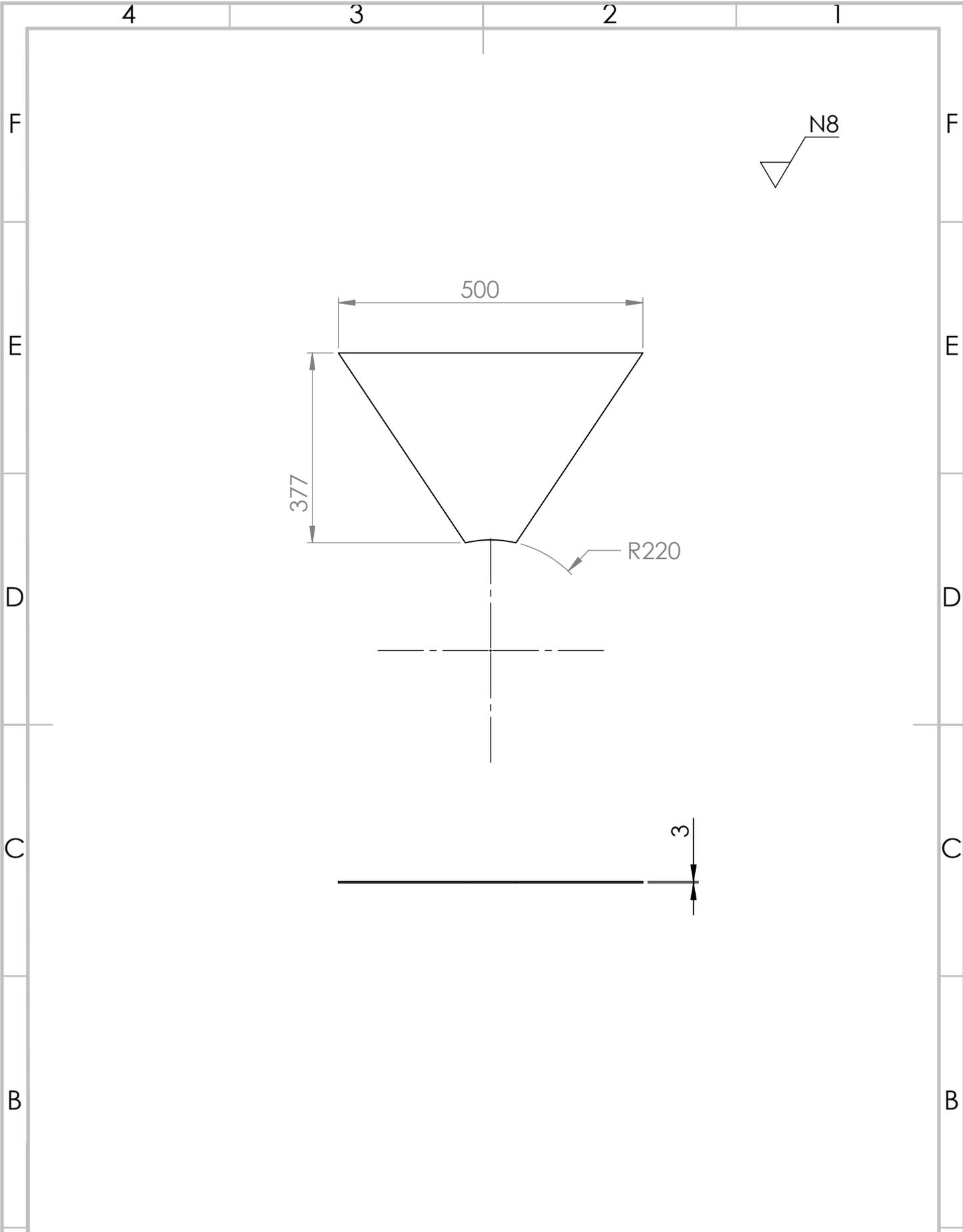
6	CERRADURA	1	4378.5670.01.02.06	A36	0.5*0.5*0.1	
5	CARCASA INF. SUP. TOL.	2	4378.5670.01.02.05	A500	2,4*1,2*0,3	
4	ANGULO TRITURACION	10	4378.5670.01.02.04	A500	6*0,25*0,3	
3	CARCASA LAT. TOLVA	2	4378.5670.01.02.03	A500	2,4*1,2*0,3	
2	CARCASA LATERAL	2	4378.5670.01.02.02	A 500	2,4*1,2*0,05	
1	CARCASA SUPERIOR	1	4378.5670.01.02.01	A500	2,4*1,2*0,05	
ITEM	DESCRIPCION	CANT	NORMA	MATERIAL	DIM. BRUTAS	OBSERVACION
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	DIS: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				DIB: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				REV: Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
CONJUNTO DE CARCASA			Escala: 1:5	CODIGO: 4378.5670.01.02	Tol.: +/- 1mm	



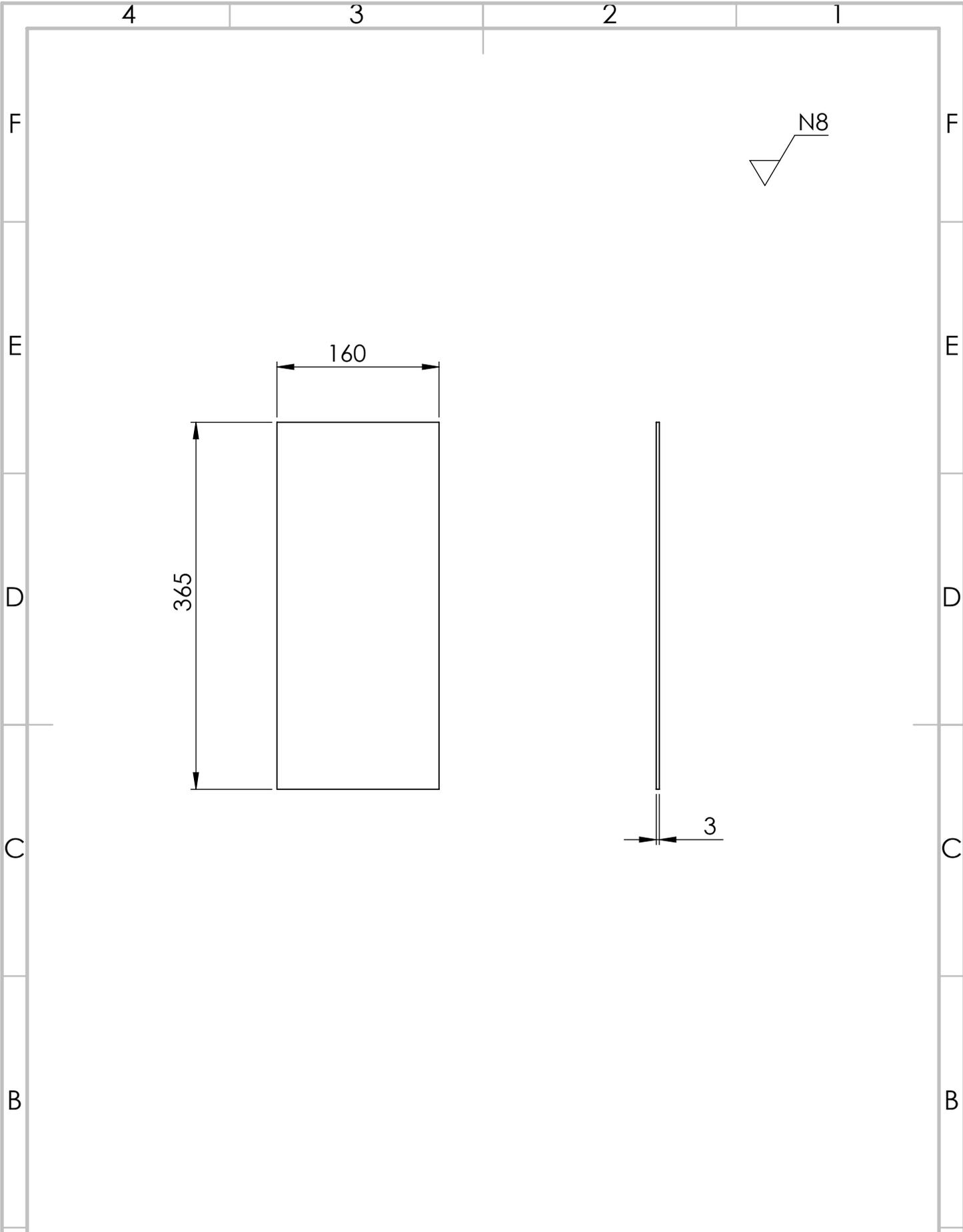
Tratamiento termico:	NA	Material:	A500	Dim. Brutas:	900 X 220 X 3
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
CARCASA SUPERIOR		Escala: 1:5	CODIGO:	4378.5670.01.02.01	Tol.: +- 1mm



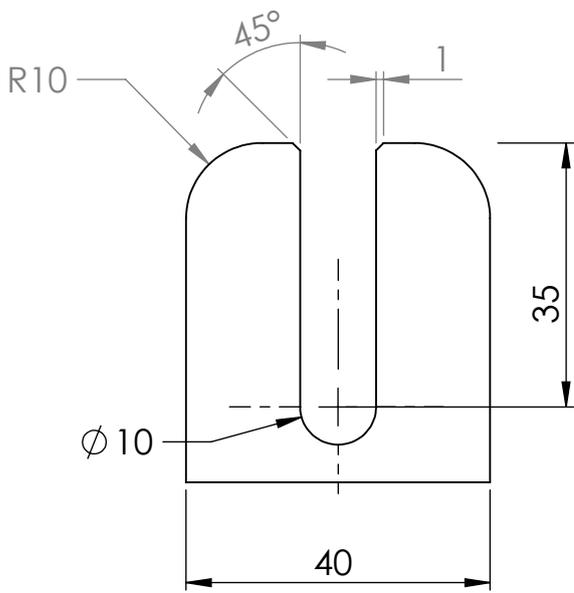
Tratamiento termico:	NA	Material:	A500	Dim. Brutas:	240 X 3
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
CARCASA LATERAL		Escala: 1:2	CODIGO:	4378.5670.01.02.02	Tol.: +- 1mm



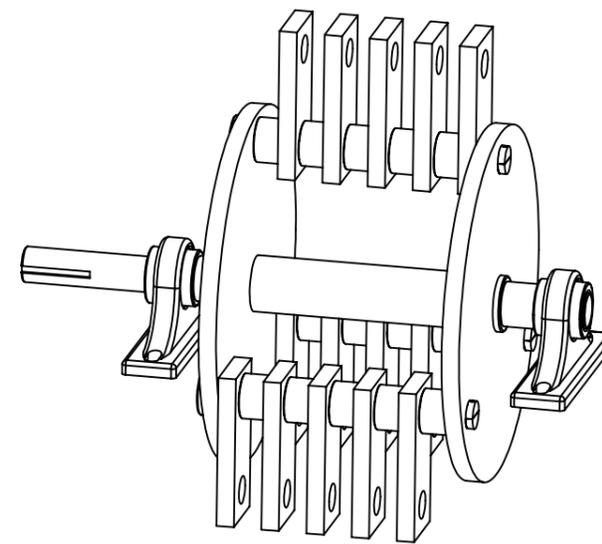
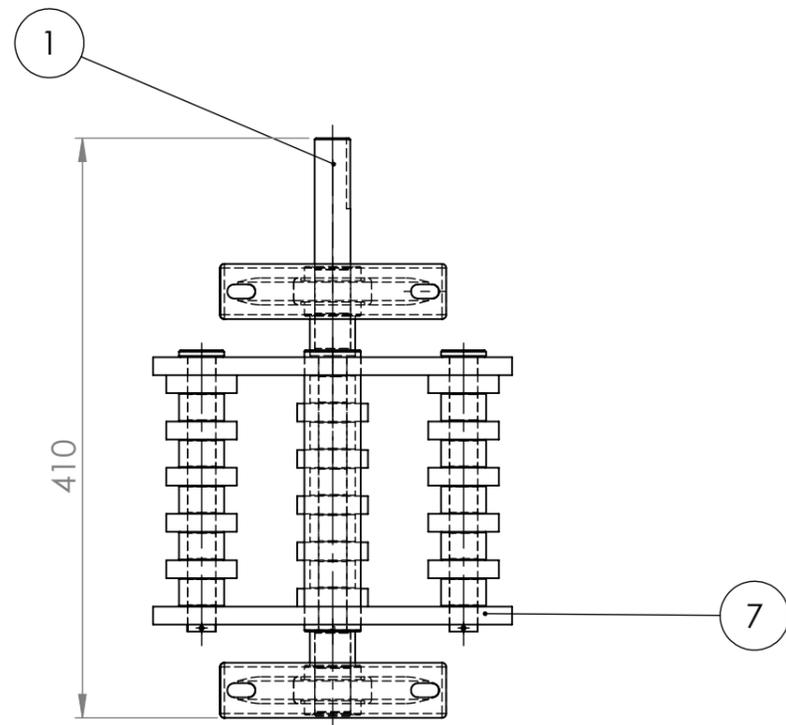
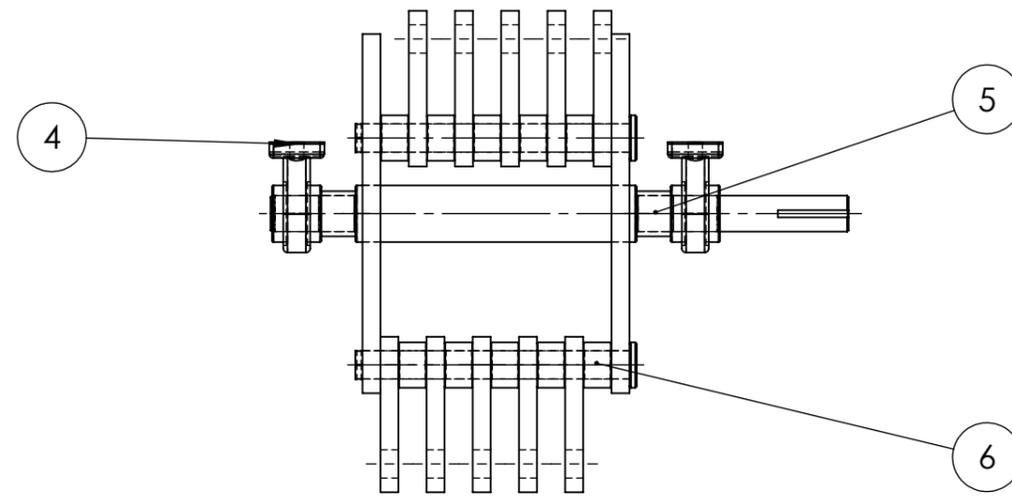
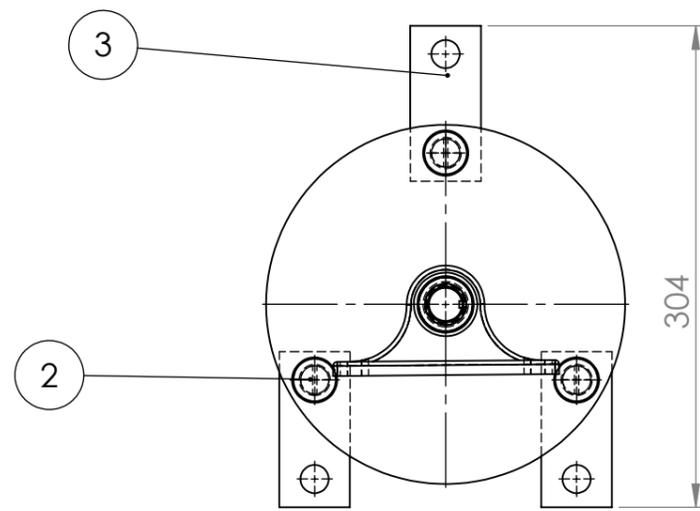
Tratamiento termico: NA		Material: A500		Dim. Brutas: 500 X 380 X 3	
Recubrimiento: NA					
A	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
CARCASA LATERAL TOLVA		Escala: 1:10	CODIGO: 4378.5670.01.02.03	Tol.: +/- 1mm	



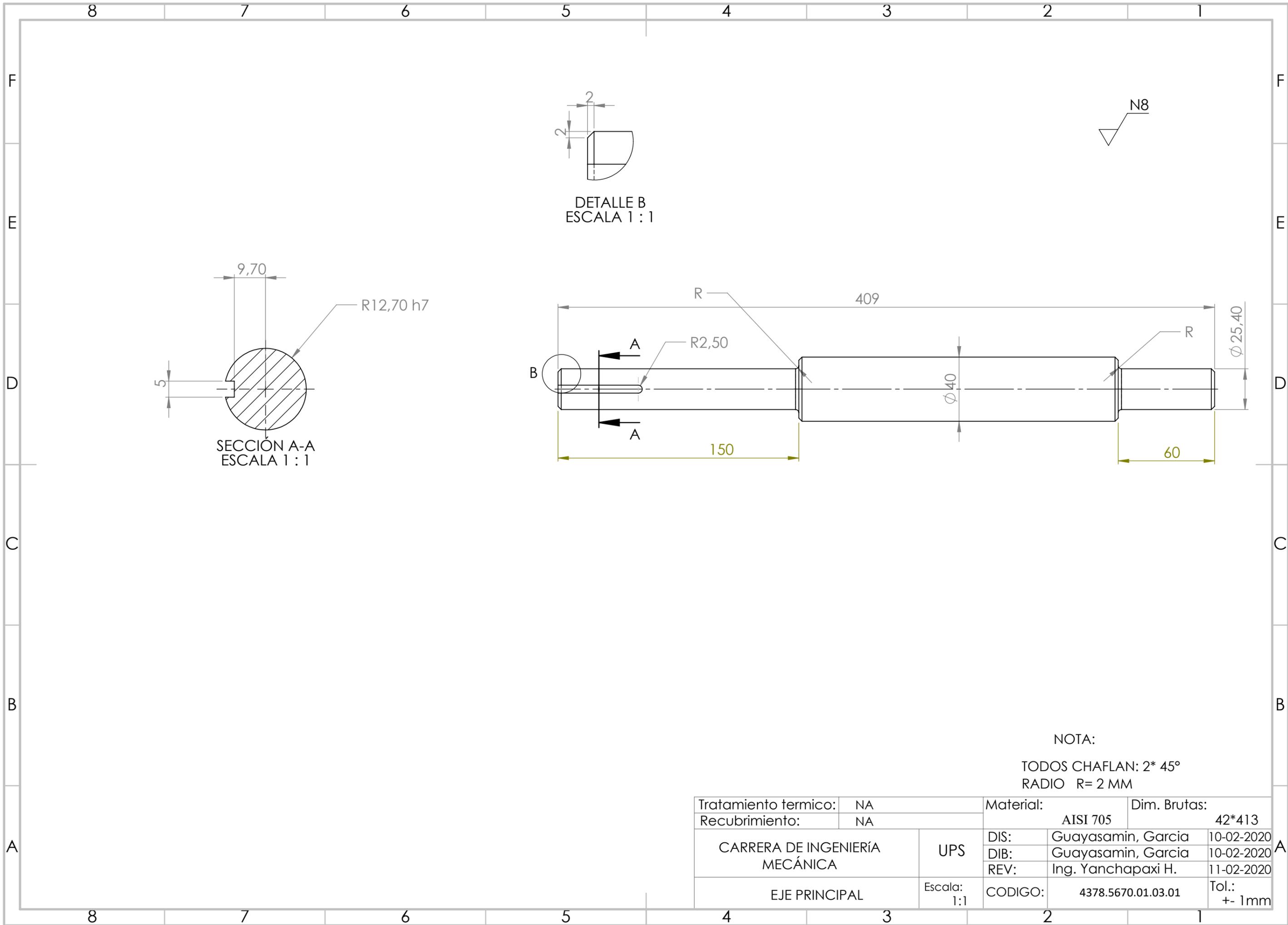
Tratamiento termico: NA		Material: A500		Dim. Brutas: 370 X 160 X 3			
Recubrimiento: NA							
A	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
					DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
					REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
CARCASA INF.SUP.TOLVA		Escala: 1:5	CODIGO:	4378.5670.01.02.05	Tol.: +/- 1mm		



Tratamiento termico:		NA		Material:		A36		Dim. Brutas:		48 X 40 X 8	
Recubrimiento:		NA		DIS:		Guayasamin, Garcia		DIB:		Guayasamin, Garcia	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		REV:		Ing. Yanchapaxi H.		CODIGO:		4378.5670.01.02.06	
CERRADURA		Escala: 1:1		Tol.:		+- 1mm					



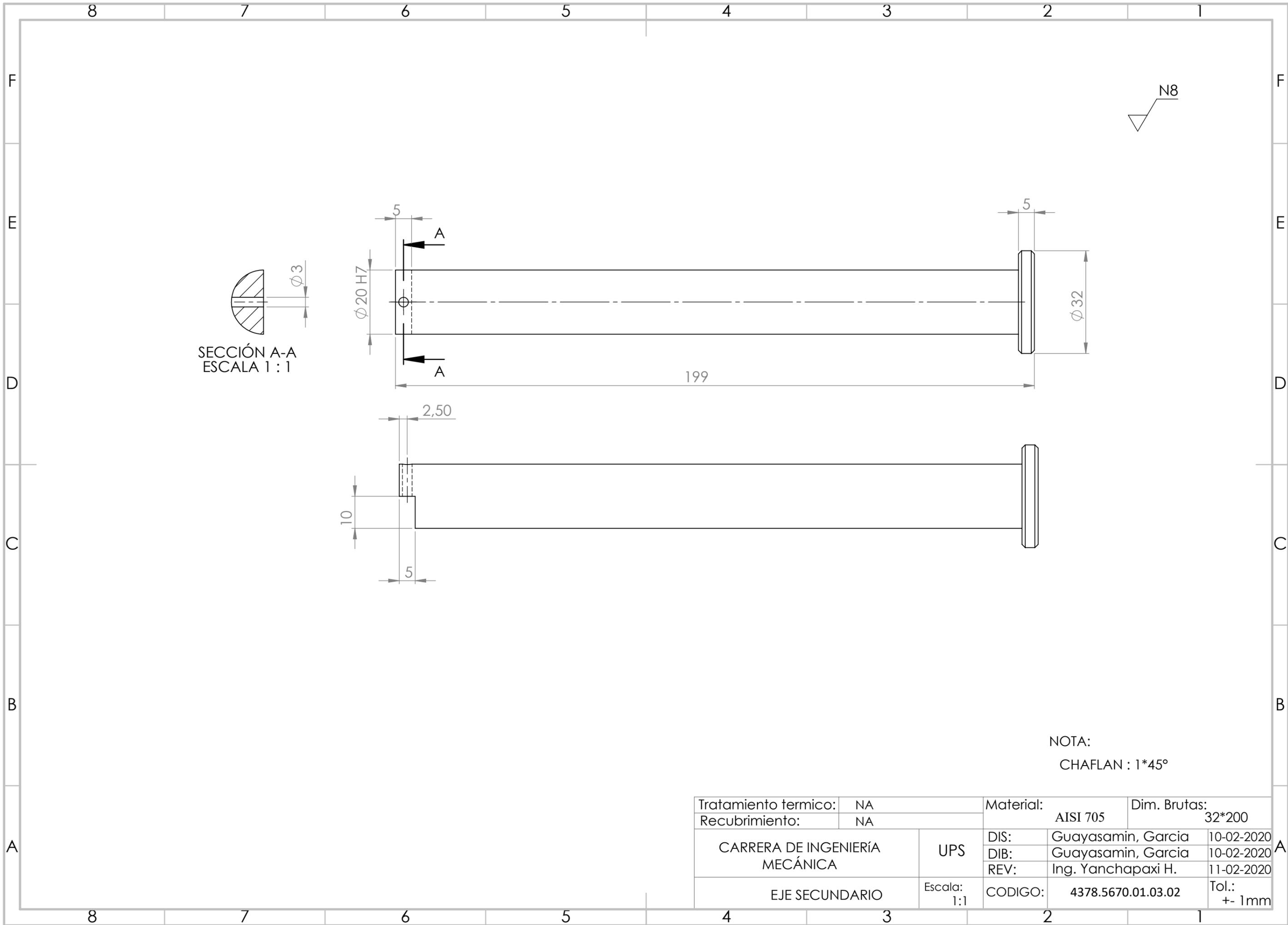
7	PLATOS PORTA M	2	4378.5670.01.03.07	400	2,4*1,2*0,05	
6	SEPARADOR EJE SEC	16	4378.5670.01.03.06	1018		
5	SEPARADOR EJE P	2	4378.5670.01.03.05	1018	2,4*1,2*0,3	
4	CHUMACERAS	2	4378.5670.01.03.04			NORMALIZADO
3	MARTILLOS	15	4378.5670.01.03.03	D2	2,4*1,2*0,3	
2	EJE SECUNDARIO	3	4378.5670.01.03.02	705	2,4*1,2*0,05	
1	EJE PRINCIPAL	1	4378.5670.01.03.01	705	6*0,5*0,3	
ITEM	DESCRIPCION	CANT	NORMA	MATERIAL	DIM. BRUTAS	OBSERVACION
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			UPS	DIS: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				DIB: Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
				REV: Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
CONJUNTO DE ROTOR			Escala: 1:5	CODIGO: 4378.5670.01.03	Tol.: +/- 1mm	



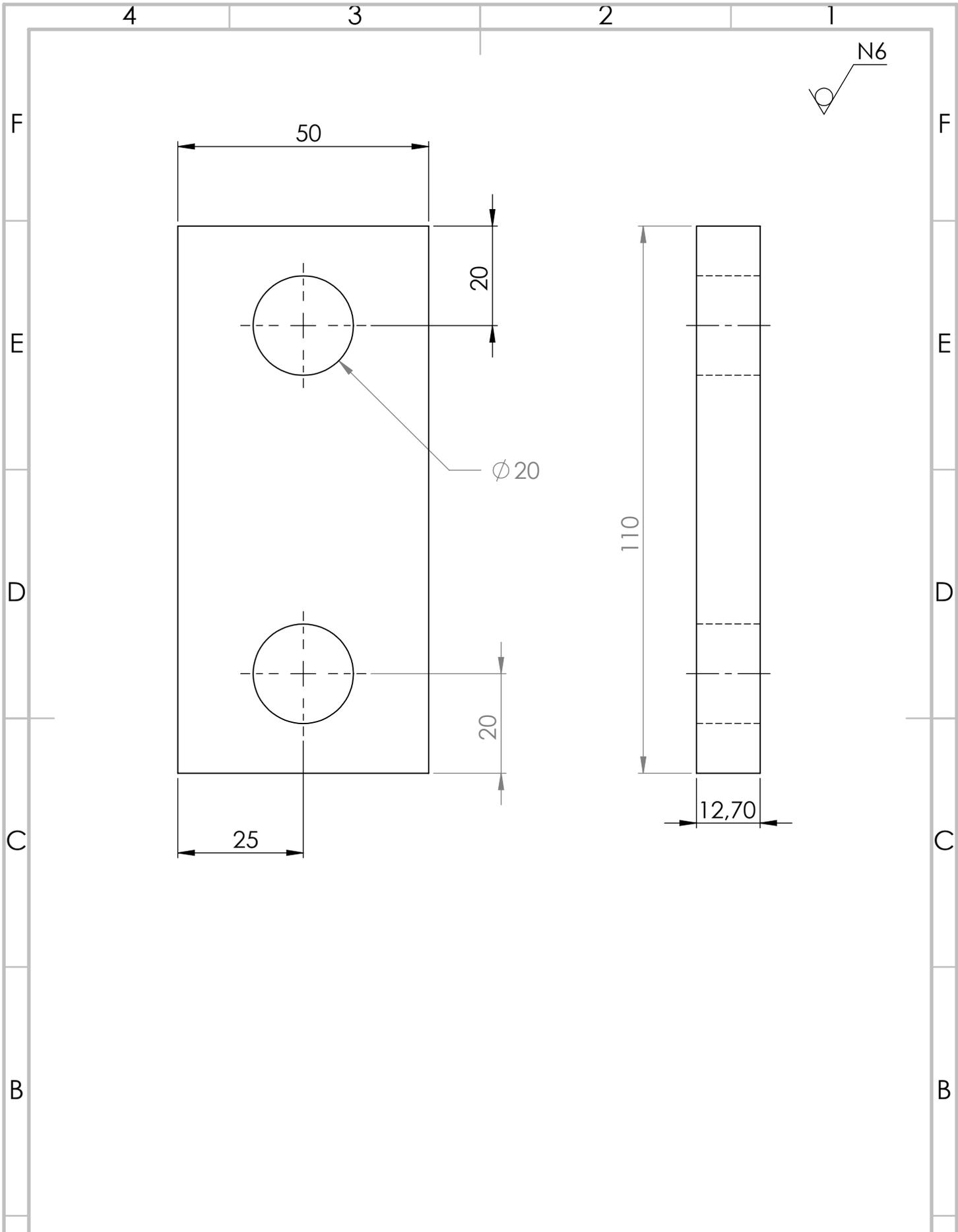
NOTA:

TODOS CHAFLAN: 2\* 45°  
RADIO R= 2 MM

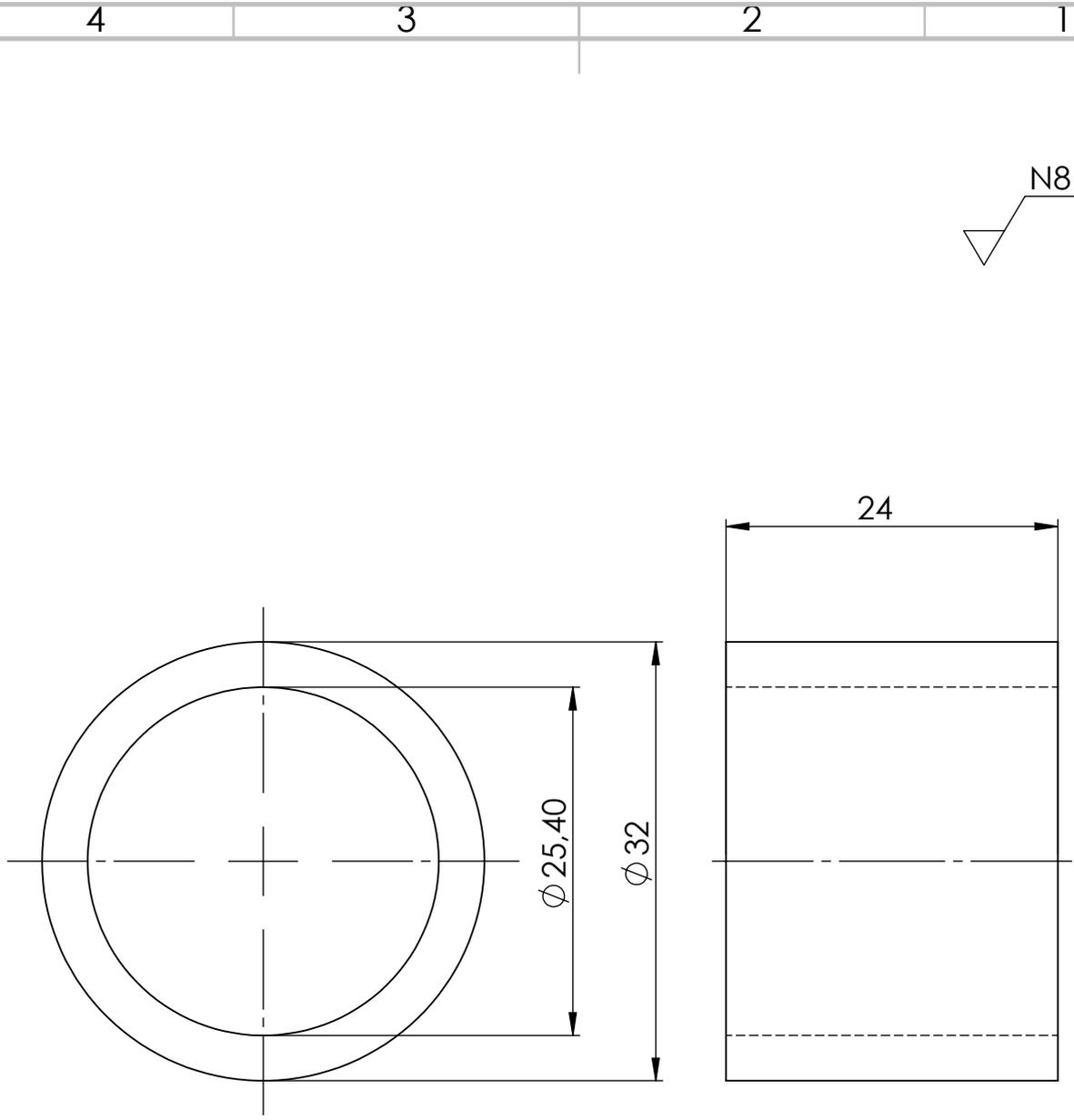
Tratamiento termico:	NA	Material:	AISI 705	Dim. Brutas:	42*413
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
EJE PRINCIPAL	Escala: 1:1	CODIGO:	4378.5670.01.03.01	Tol.:	+/- 1mm



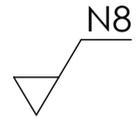
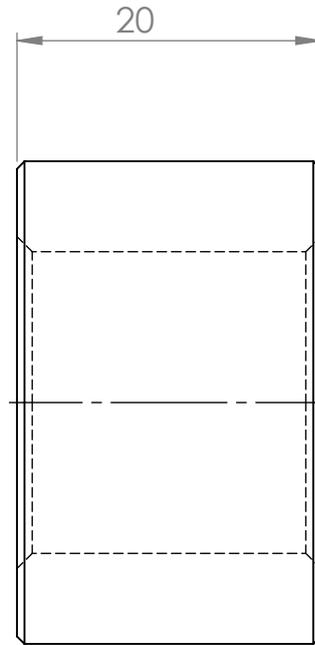
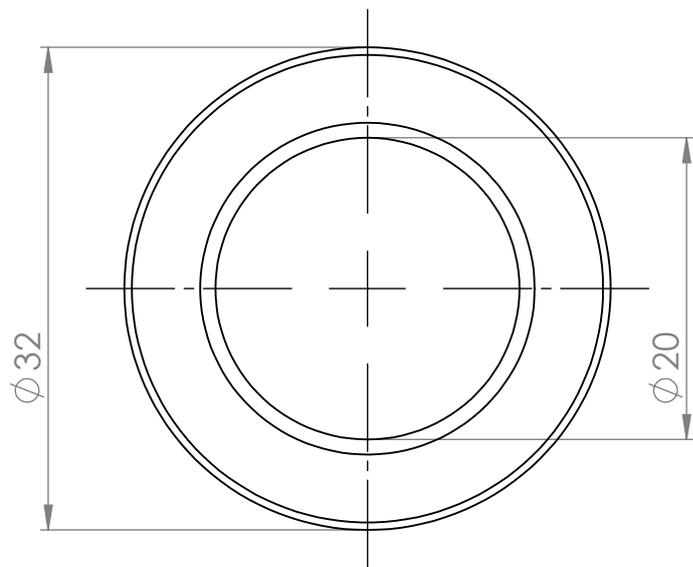
Tratamiento termico:	NA	Material:	AISI 705	Dim. Brutas:	32*200
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
		REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020	
EJE SECUNDARIO	Escala: 1:1	CODIGO:	4378.5670.01.03.02	Tol.:	+/- 1mm



Tratamiento termico:	NA	Material:	Dim. Brutas:
Recubrimiento:	NA	IBCA XW41= AISI D2	115 * 55 * 12.7
A CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia 10-02-2020
		DIB:	Guayasamin, Garcia 10-02-2020
		REV:	Ing. Yanchapaxi H. 11-02-2020
MARTILLO	Escala: 1:1	CODIGO:	4378.5670.01.03.03 Tol.: +- 1mm



Tratamiento termico: NA		Material: AISI 1018		Dim. Brutas: 35*30	
Recubrimiento: NA					
A	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
SEPARADORES DE CHUMACERA		Escala: 1:1	CODIGO:	4378.5670.01.03.05	Tol.: +- 0,25



NOTA  
CHAFLAN 1\*45°

Tratamiento termico:	NA	Material:	AISI 1018	Dim. Brutas:	32*25
Recubrimiento:	NA	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020	
A	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
	SEPARADOR MARTILLOS	Escala: 1:1	CODIGO:	4378.5670.01.03.06	Tol.: +- 0,25

4 3 2 1

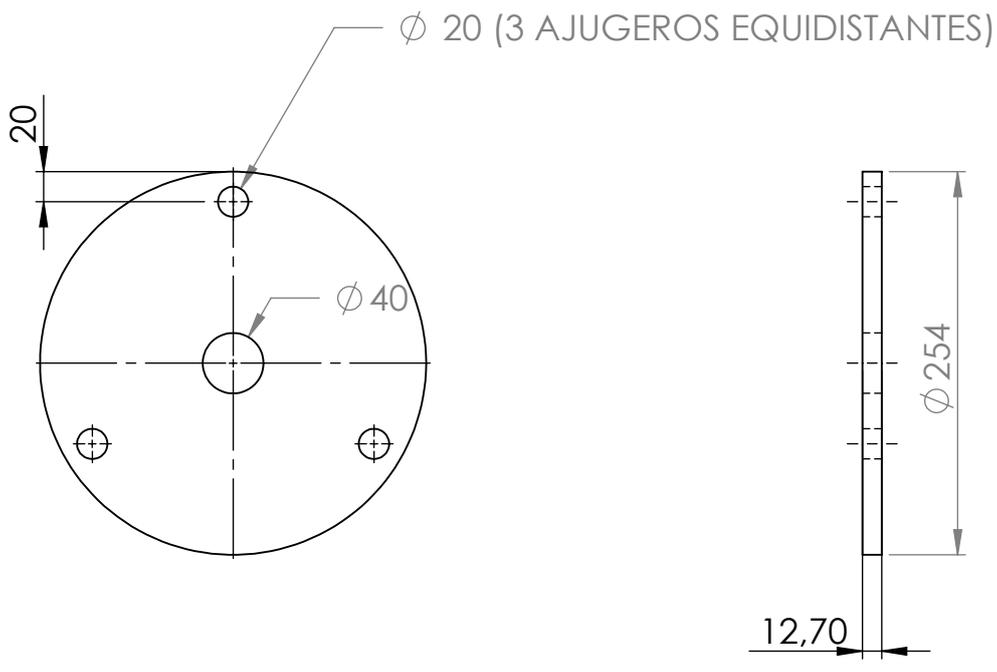
F

F



E

E



D

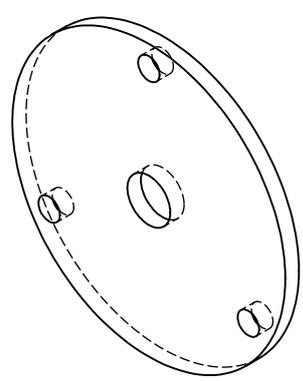
D

C

C

B

B



Tratamiento termico: NA		Material: FORA 400		Dim. Brutas: 275*14	
Recubrimiento: NA					
A	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			DIB:	Guayasamin, Garcia	10-02-2020
			REV:	Ing. Yanchapaxi H.	11-02-2020
PLATO PORTA EJES		Escala: 1:5	CODIGO: 4378.5670.01.03.07	Tol.: +/- 1mm	
4 3		2 1			

A

4 3 2 1

# MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA TRITURADORA-TAMIZADORA

- Leer las instrucciones antes de su uso.
- Lea las instrucciones para su correcto mantenimiento.



Fabricado por:

Oscar García

Víctor Guayasamín

## Contenido

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	3
CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA.....	3
Componentes de la máquina.....	4
INSTALACIÓN .....	4
Espacio .....	4
Conexión.....	5
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD .....	5
OPERACIÓN .....	7
Inspección.....	7
Encendido .....	7
MANTENIMIENTO .....	8
Limpieza .....	8
Martillos .....	8
Chumaceras .....	9
Bandas de distribución .....	10

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de la máquina se basa en el giro de un eje principal impulsado por un motor mediante una banda y poleas, este a su vez sostiene platos y martillos que

giran haciendo que impacten con el material y lo trituren, el proceso continúa hasta que las partículas sean capaces de atravesar los orificios de la criba y caigan por acción de la gravedad.

## CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

Dimensiones generales de la máquina: largo 0.78m, ancho 0.32m y altura de 1.30m

Potencia eléctrica 2 Hp

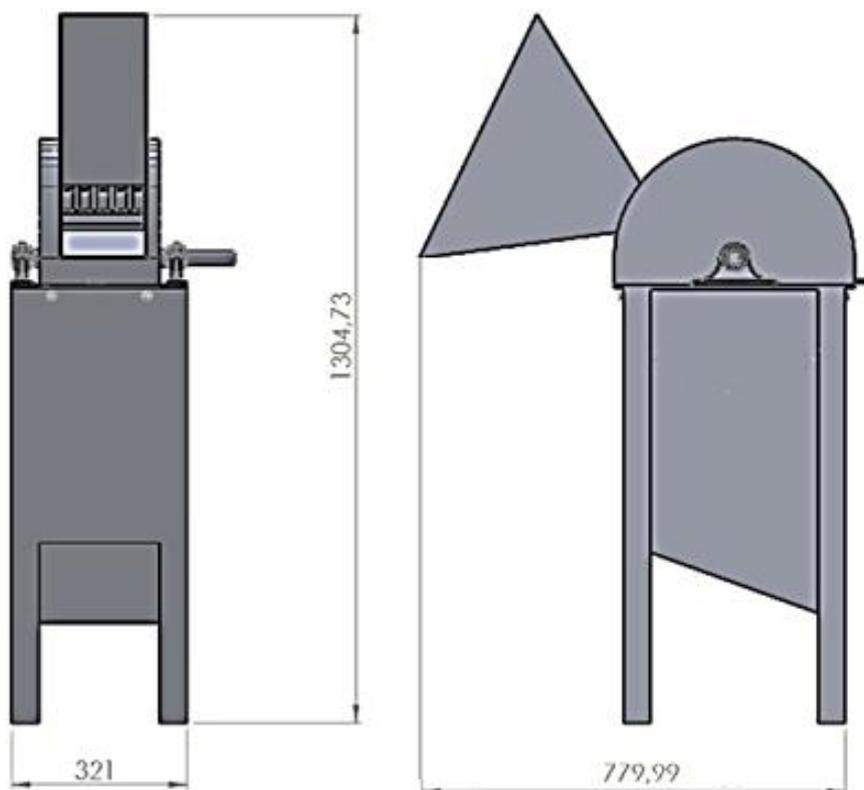
Velocidad de giro 1700 rpm

Peso 163 Kg

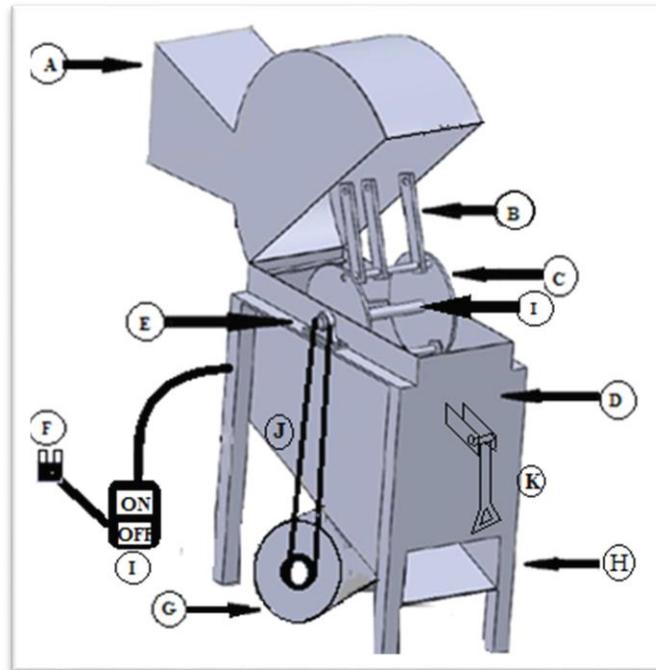
Capacidad de producción 100 kg/h

Interruptor de encendido y apagado instalado en el cable de conexión

Tamiz para preparación de arcilla para alfarería desmontable.



## Componentes de la máquina



- A:** tolva de entrada
- B:** martillos
- C:** plato porta martillos
- D:** estructura
- E:** chumacera
- F:** enchufe
- G:** motor
- H:** tolva de salida
- I:** interruptor encendido/apagado
- J:** banda
- K:** seguro de la compuerta

## INSTALACIÓN

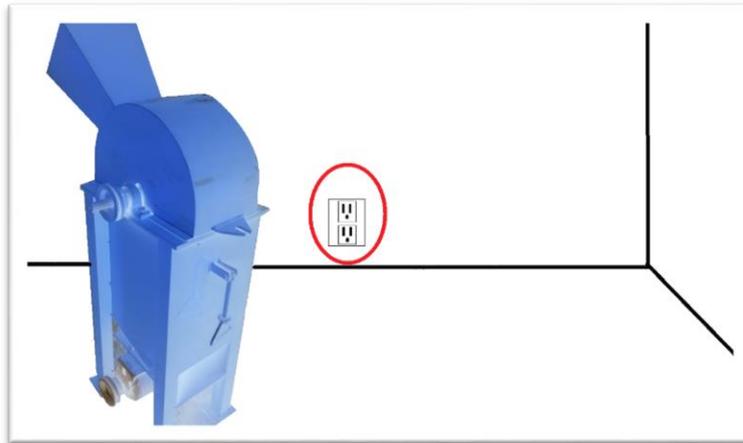
Para una instalación correcta es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

### Espacio

La máquina debe ser colocada sobre una superficie regular (plana) para evitar grandes vibraciones. No instalar en suelo húmedo.

## Conexión

Necesita tener instalada una toma de corriente con una alimentación de 220V (voltios) y 15 A(amperios). Tipo B (NEMA 5-15, NEMA 5-20).

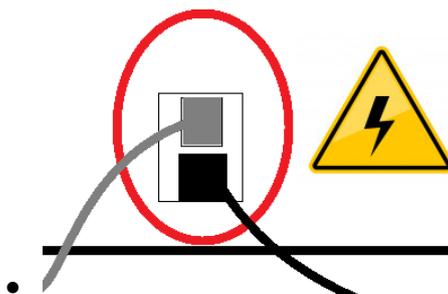


Instalación de tomacorriente

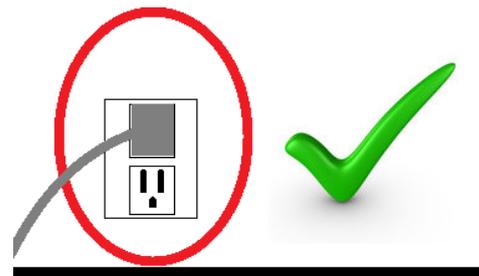
## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Antes de poner en marcha la máquina es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No utilizar cables de extensión, ni sobrecargar con más aparatos el tomacorriente mientras la máquina está trabajando, esto puede causar que el cableado se sobrecaliente, causando variaciones de voltaje, lo que provocaría mal funcionamiento o daño en la máquina.

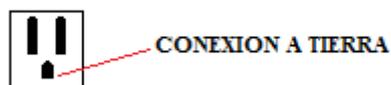


Incorrecto



Correcto

- Asegurarse que el tomacorriente tenga conexión a tierra, en caso de falla eléctrica se minimizaría el choque eléctrico.



- La máquina debe estar en un sitio lejos de elementos explosivos como benceno, alcohol, etc.
- El tomacorriente debe estar ubicado en un lugar de fácil acceso, en caso de que exista una falla sea fácil desconectar la máquina.
- El operador de la máquina siempre debe utilizar las protecciones de antes de manipular la máquina:
  - Guantes protectores.



- Gafas protectoras (antiparras)



- Calzado correcto (punta de acero)



- Además de llevar el cabello corto o recogido
- No usar cadenas, anillos y objetos que puedan atascarse en la máquina.
- Cuando la máquina no esté en operación debe ser desconectada para una mayor seguridad.
- Trabajar en un área bien iluminada que facilite el trabajo del operario.

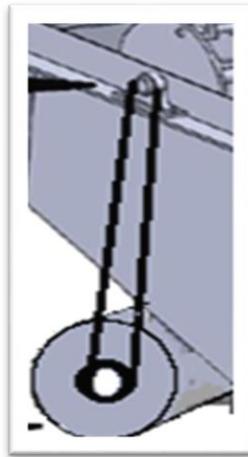
## OPERACIÓN

Siempre antes de encender la máquina hay q realizar una inspección general.

### Inspección

Antes de conectar la máquina:

- Abrir la cámara de trituración y la tolva, revisar que no existen materiales extraños.
- Observar que el interruptor-pulsador este apagado (OFF).
- Abrir la cámara del conjunto banda y poleas y verificar que la banda se encuentre colocada en las poleas.



Conjunto motor banda chumacera

### Encendido

- Una vez conectado, presione el botón de encendido (ON).
- Después de unos segundos de correcto funcionamiento (sin ruidos extraños). Vierta el material en la tolva hasta que se llene completamente 20kg aproximadamente.



Interruptor de botón encendido/apagado

## MANTENIMIENTO

### Limpieza

Después de concluir el trabajo de preparación de la arcilla, realizar una limpieza. Para realizar la limpieza:

1. Desconectar la máquina.
2. Limpiar toda la arcilla acumulada en la cámara de trituración. Utilizar un cepillo de alambre sobre las partes más adheridas de ser el caso.
3. Verificar que no exista obstrucciones en la criba o tamiz. Puede utilizar agua a presión para zonas de difícil alcance.
4. Una vez concluida la limpieza cierre la tapa y asegure correctamente.

### Martillos

Verificar siempre el estado de los martillos. En caso de que alguno tenga desgaste realizar el siguiente procedimiento:

1. Una vez que la máquina este desconectada. Hay que remover el eje que contiene el martillo desgastado, para esto se extrae la cimbra con ayuda de una pinza para anillos de retención.

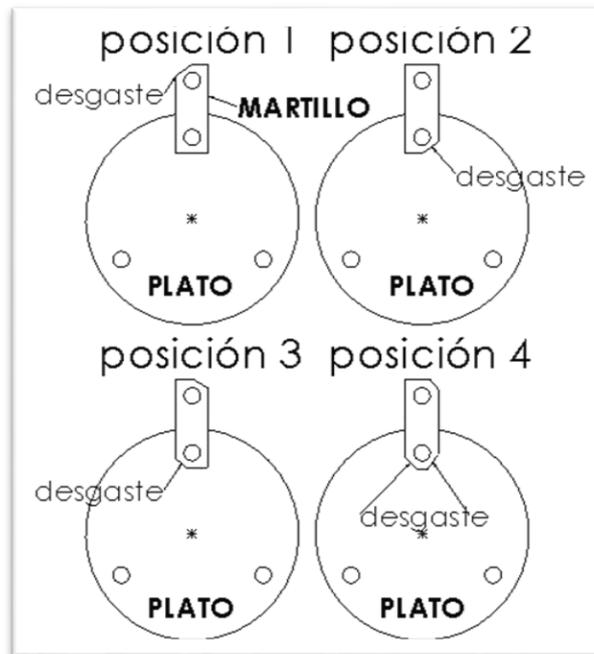


Cimbra



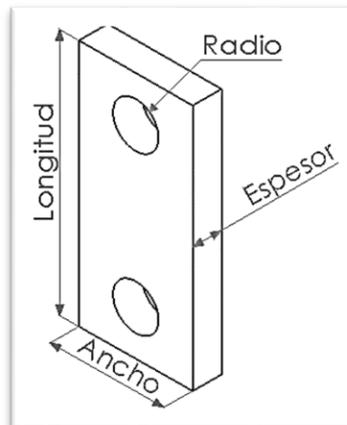
pinza para anillos de retención

2. Saque el martillo desgastado, luego cámbielo de posición para introducirlo nuevamente al eje como se muestra en la figura. Cada martillo tiene 4 posiciones, una vez desgastados los 4 filos este requiere cambio de martillo.



Posiciones de los martillos

- Una vez que el martillo ha cumplido las 4 posiciones expuestas anteriormente, se procede a reemplazarlo por otro con las siguientes dimensiones: largo 110mm, 28 mm, ancho 55mm y dos agujeros de 10mm de diámetro. El material del martillo es de acero IBCA XW41= AISI D2 del catálogo de aceros de Ivan Bohman.



Dimensiones del martillo

### Chumaceras

Verificar que el aceite este en el límite indicado y no tenga fugas. También revisar que el rodamiento gire correctamente, de no ser así debe ser reemplazado de la siguiente forma:

- Cerrar la tapa y asegurarla correctamente para q el eje permanezca fijo.
- Con una llave de 12mm, aflojas los 2 pernos de la chumacera que presente algún daño.
- Reemplazar la chumacera con un modelo NU1005 del catálogo SFK de rodamientos.

4. Fijar los pernos y hacer una prueba corta para comprobar el giro correcto de la chumacera.



**PERNO**

chumacera

### **Bandas de distribución**

Para una revisión simple se debe verificar que la banda no se encuentre desgastada y floja. Para una revisión más profunda se debe pellizcar, apretar y girar manualmente buscando grietas, desgaste y fracturas.

Si la banda es tiene uno de estas fallas es necesario cambiarla. Para el cambio se necesita una banda de tipo B de 5.4 plg de diámetro, 21/32 ancho y 7/16 de espesor.