



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE
CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO.”

AUTOR: Jaime Esteban Cepeda Lascano.

TUTOR: Ing. Mg. Cesar Arroba.

AMBATO – ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO” desarrollado por el estudiante Jaime Esteban Cepeda Lascano, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que este ha sido concluido en su totalidad, y por tanto puede continuar con el respectivo tramite de graduación.

Ambato, 15 de septiembre, 2016

.....

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Mg. Cesar Arroba

AUTORIA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO” así como también las ideas, análisis, conclusiones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente proyecto.

Ambato, Septiembre de 2016

EL AUTOR

.....

Sr. Jaime Cepeda L.

CI: 180460185-2

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o de parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de la regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre de 2016

AUTOR

.....

Sr. Jaime Esteban Cepeda Lascano

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, dándome fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las diversidades saliendo adelante.

A mi familia quien por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos más duros, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Han sabido convertirme en la persona que soy, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanas que a pesar de la distancias siempre han estado presentes con su apoyo y optimismo, a mis sobrinos que han sido mi motivación, a mis tíos José Mejía y Mercedes Lascano por el apoyo incondicional, a mis abuelitos y a mis tías/os por sus oraciones, bendiciones y mejores deseos, a mi enamorada que me inspiro sin dejarme reclinar y la felicidad que supo transmitir, y amigos que fueron un pilar fundamental en mi vida universitaria. One y Done att. Sandra, Bob and Cristian.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar” *Thomas Chalmers*

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO por brindarme la oportunidad de estudiar y llegar a ser un profesional.

A mi director de trabajo experimental, Ingeniero Mg. Cesar Arroba por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia, y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Al Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero por la apertura y asesoramiento técnico ingenieril de la utilización del laboratorio y prestación de servicios con la licencia del programa Ansys.

También agradezco a mis profesores: Ing. Luis Escobar, Ing. Santiago Cabrera, Ing. Cristian Castro durante mi vida universitaria que compartieron su experiencia laboral y académica en cada una de sus ambientes, dándome lecciones de vida profesional.

Son muchas las personas que han formado parte en mi vida académica a las que les doy las gracias por su amistad, consejos, apoyos, ánimos y compañía en los momentos más difíciles de la vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación	II
Autoria de trabajo	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenidos	VII
Índice de gráficos y tablas	X
Resumen ejecutivo	XV
I. CAPÍTULO: EL PROBLEMA	1
1.1 Tema	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específico	2
II. CAPÍTULO: FUNDAMENTACIÓN	3
2.1. Investigaciones Previas	3
2.2 Fundamentación Legal	4
2.3 Fundamentación Teórica	5
2.3.1 Concepto de Polietileno	5
2.3.2 Estructura del Polietileno	5
2.3.3 Clasificación del Polietileno	5
2.3.4 Polietileno de baja densidad	6
2.3.5 Propiedades	7
2.3.6 Aplicaciones:	9
2.3.7 Diseño de maquinaria	10
2.3.8 Selección de materiales para máquinas	12
2.3.9 Diseño de partes:	14
2.3.10 Esfuerzos	17
2.3.11 Ecuaciones de Diseño	21

2.3.12. Diseño de Rodamientos	28
2.3.13 Clasificación de un Rodamiento	29
2.3.14 Tolerancias y ajustes de los Rodamientos	29
2.3.15. Selección de Rodamiento	30
2.3.16. Teoría de vida de un rodamiento:	31
2.3.17. Lubricación de rodamientos:	33
2.3.18 Selección de pernos:	33
2.3.19. Vibraciones del elemento mecánico:	34
III. CAPÍTULO: DISEÑO DEL PROYECTO	35
3.1 Selección de alternativas	35
3.1.1 Tipos de trituradoras	35
3.1.2 Máquinas cortadoras rotativas	35
3.1.3 Máquinas molinos:	35
3.1.4 Máquinas trituradoras:	37
3.2 Cálculos	42
3.2.1 Diseño del cilindro	42
3.2.2 Selección del motor	44
3.2.3 Potencia De motor	45
3.2.4 Diseño Del eje	49
3.2.5 Diseño a fatiga	52
3.2.6 Selección Del rodamiento	59
3.2.7 Diseño de la estructura	65
3.2.8 Diseño de la base del motor	73
3.2.9 Diseño de chapas de sujeción de cilindro	75
3.2.10 Diseño de cuchillas	76
3.2.11 Diseño de portacuchilla	83
3.2.12 Diseño de espesor de cilindro	85
3.2.13 Selección de pernos	87
3.2.14 Análisis de vibraciones	94
3.2.15 Análisis de soldadura	99

3.2.16. Análisis mediante simulación por un Software de elementos finitos (FEM) __	103
3.3 Presupuesto _____	112
3.3.1 Costos directos _____	112
3.3.2 Costos de indirectos _____	115
3.3.3 Costo total del equipo _____	117
3.4 Especificaciones técnicas _____	117
3.4.1 Operaciones de construcción de la máquina _____	120
3.4.2 Montaje de elementos _____	121
3.4.3 Pruebas de funcionamiento y obtención de material triturado _____	121
IV: CAPÍTULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	124
4.1. Conclusiones _____	124
4.2. Recomendaciones _____	125
MATERIAL DE REFERENCIA _____	126
Bibliografía _____	126
Anexos _____	129
Planos _____	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°2. 1: Propiedades Eléctricas del polietileno de baja densidad.....	7
Tabla N°2. 2: Propiedades Físicas del polietileno de baja densidad.....	7
Tabla N°2. 3: Propiedades Mecánicas del polietileno de baja densidad.....	8
Tabla N°2. 4: Propiedades de la película LDPE.....	8
Tabla N°2. 5: Propiedades de la película LDPE.....	9
Tabla N°2. 6: Propiedades del polietileno de baja densidad.....	9
Tabla N°2. 7: Referencias de familia de los materiales de aleación.....	13
Tabla N°2. 8: Tolerancia del alojamiento del soporte.....	29
Tabla N° 3. 1: Tabla de ponderación.....	40
Tabla N° 3. 2: Valor de ponderaciones.....	41
Tabla N° 3. 3: Peso de componentes.....	65
Tabla N° 3. 4: Esfuerzo obtenidos.....	102
Tabla N° 3. 5: Probeta del material.....	112
Tabla N° 3. 6: Costo de materiales.....	113
Tabla N° 3. 7: Costo de prefabricados.....	114
Tabla N° 3. 8: Costo de mano de obra.....	115
Tabla N° 3. 9: Costo de diseño.....	116
Tabla N° 3. 10: Costos varios.....	116
Tabla N° 3. 11: Costo total.....	117
Tabla N° 3. 12: Ficha técnica.....	118
Tabla N° 3. 13: Ficha de componentes.....	119
Tabla N° 3. 14: Ficha de construcción.....	120
Tabla N° 3. 15: Montaje de elementos.....	121
Tabla N° 3. 16: Producto final obtenido.....	122

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura N°2. 1: Tipo de trituradora y aglutinadora de plástico.....	3
Figura N°2. 2: Tipo de trituradora y aglutinadora de plástico.....	4
Figura N°2. 3: Molécula de polietileno lineal (HDPE)	6
Figura N°2. 4: Metalografía de un polietileno ramificado (HDPE)	6
Figura N°2. 5: Imagen de utilización del polietileno de baja densidad.	9
Figura N°2. 6: Procedimiento para el diseño de máquina.	10
Figura N°2. 7: Distribución de esfuerzos en una placa según el método de MEF.	15
Figura N°2. 8: Distribución de los esfuerzos en una placa.....	15
Figura N°2. 9: Concentración de esfuerzos.	16
Figura N°2. 10: Esfuerzo estático	18
Figura N°2. 11: Esfuerzo completamente invertido	18
Figura N°2. 12: Esfuerzo repetitivo.....	19
Figura N°2. 13: Esfuerzo de tensión.....	19
Figura N°2. 14: Curva de esfuerzos, número de ciclos (curva Wohler) para acero y aleaciones de aluminio.	21
Figura N°2. 15: Superficies de fallas generalizadas para un material ferroso.....	22
Figura N°2. 16: Criterios de falla.	22
Figura N°2. 17: Diagrama para vida finita.	27
Figura N°2. 18: Relación entre esfuerzo necesario para causar la falla y el número de ciclos.	27
Figura N°2. 19: Representación del posicionamiento del rodamiento.	28
Figura N°2. 20: Representación de un rodamiento y sus partes.....	29
Figura N°2. 21: Rodamiento de rígido de bolas.	31
Figura N°2. 22: Correlación entre porcentaje de fallo y carga relativa.	31
Figura N°2. 23: Esquema e identificación de pernos.	33
Figura N°3. 1: Cortadora rotativa de cuchillas rotativas.	35
Figura N°3. 2: Molino de Martillos.	36
Figura N°3. 3: Molino de Discos.....	36
Figura N°3. 4: Molino de Cuchillas.....	37
Figura N°3. 5: Trituradora de martillos.	38
Figura N°3. 6: Trituradora de cuchillas.	38

Figura N°3. 7: Trituradora de cuchillas.....	39
Figura N°3. 8: Trituradora de cuchillas.....	42
Figura N°3. 9: Esquema de cuchillas.....	44
Figura N°3. 10: Factores de servicio	49
Figura N°3. 11: Diagrama de eje	50
Figura N°3. 12: Esquema de eje	50
Figura N°3. 13: Diagrama fuerza cortante de eje	51
Figura N°3. 14: Diagrama momento flector de eje.....	51
Figura N°3. 15: Límites de resistencia	53
Figura N°3. 16: Factor de superficie.....	54
Figura N°3. 17: Factor de tamaño.....	54
Figura N°3. 18: Factor de confiabilidad	55
Figura N°3. 19: Factor de temperatura	55
Figura N°3. 20: Factor de concentración de esfuerzos	56
Figura N°3. 21: Factor de concentración de esfuerzos	56
Figura N°3. 22: Esfuerzos.....	57
Figura N°3. 23: Simulación eje - Factor de seguridad.....	58
Figura N°3. 24: Factor fl.....	59
Figura N°3. 25: Factor para vida amplia.	60
Figura N°3. 26: Viscosidad relativa.....	62
Figura N°3. 27: Viscosidad de servicio	63
Figura N°3. 28: Viscosidad relativa.....	64
Figura N°3. 29: Horas de vida	64
Figura N°3. 30: Diagrama de viga de estructura	66
Figura N°3. 31: Diagrama de cuerpo libre de viga de estructura	66
Figura N°3. 32: Diagrama de superposición de viga.....	67
Figura N°3. 33: Diagrama de fuerza cortante-Estructura.	68
Figura N°3. 34: Diagrama de Momento flector-Estructura.	68
Figura N°3. 35: Simulación de estructura.....	70
Figura N°3. 36: Columna de estructura.	70
Figura N°3. 37: Base del motor	73

Figura N°3. 38: Simulación de base del motor.....	75
Figura N°3. 39: Esquema de cuchillas.....	76
Figura N°3. 40: Fuerza presente en cuchillas.....	77
Figura N°3. 41: Diagrama de cuerpo libre de cuchillas.....	78
Figura N°3. 42: Diagrama de fuerza cortante – Cuchillas.....	79
Figura N°3. 43: Diagrama de momento flector – Cuchillas.....	79
Figura N°3. 44: Simulación cuchilla-Esfuerzos.....	81
Figura N°3. 45: Simulación cuchilla-Factor de seguridad.....	82
Figura N°3. 46: Simulación cuchilla-Deformación.....	82
Figura N°3. 47: Datos técnicos acero AISI M42.....	83
Figura N°3. 48: Diagrama de cuerpo libre de portacuchillas.....	84
Figura N°3. 49: Simulación Portacuchillas - Deformación.....	85
Figura N°3. 50: Esquema tanque.....	86
Figura N°3. 51: Simulación-Tanque.....	87
Figura N°3. 52: Esquema e identificación de pernos.....	88
Figura N°3. 53: Pernos de bancada.....	91
Figura N°3. 54: Fuerza cortante.....	92
Figura N°3. 55: Aplastamiento.....	92
Figura N°3. 56: Fuerza cortante.....	93
Figura N°3. 57: Diagrama de cuerpo libre de estructura.....	94
Figura N°3. 58: Diagrama simplificado de estructura.....	95
Figura N°3. 59: Amplitud vs. Distancia.....	98
Figura N°3. 60: Esquema de junta soldada.....	99
Figura N°3. 61: Área de garganta.....	100
Figura N°3. 62: Hoja técnica de electrodo E7018.....	101
Figura N°3. 63: Esfuerzos permisibles.....	102
Figura N°3. 64: Proceso de simulación.....	103
Figura N°3. 65: Generación de la geométrica.....	105
Figura N°3. 66: Generación del proceso matemático (mallado).....	106
Figura N°3. 67: Generación de contactos en la geometría.....	107
Figura N°3. 68: Generación del movimiento en la geometría.....	108

Figura N°3. 69: Generación de la prueba final.	110
Figura N°3. 70: Generación de curva de energía interna.....	111
Figura N°3. 71: Tiempo vs. Tamaño de pellets. Producto final	123

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo de este proyecto técnico se partió desde un punto de vista ecológico, con el fin de dar un nuevo uso a las fundas (Polietileno de baja densidad) que actualmente son un gran porcentaje de basura en nuestros rellenos sanitarios.

Para que el polietileno de baja densidad tenga un nuevo uso, debe poseer ciertas características físicas que permitan su reinsertión en la industria manufacturera, la característica de más importancia es que el material vuelva a su estado de pellets, por lo que una máquina de triturado juega un papel importante en el reciclaje de este producto.

En el presente proyecto se realizó un análisis de todos los parámetros que interviene en el triturado del polietileno de baja densidad (fundas), siendo estos; el ángulo de filo de corte de las cuchillas, velocidad del husillo, tiempo de triturado, tipo de funda a reciclarse entre las más importantes. Identificado las características que intervienen en el proceso de triturado se consideró varias alternativas de diseño, siendo la seleccionada la trituradora de cuchillas de eje vertical por la facilidad de construcción, la facilidad de mantenimiento y el tamaño que abarca la misma.

En el proceso de diseño se consideraron todos los esfuerzos a los que está sometida la trituradora, seleccionándose materiales y dimensiones que cumplan factores de seguridad, realizándose a su vez un análisis por elementos finitos para comprobar los cálculos realizados analíticamente.

Luego se construye la máquina de acuerdo a las especificaciones detalladas anteriormente, realizándose pruebas físicas que arrojaron tamaños de pellets de 3 mm máximo con tiempos de triturado de 20 minutos, aplicados a polietileno (fundas) grueso a partir de espesores superiores a los 0,35 mm. Elaborándose pellets destinados a prácticas de termo conformado para la elaboración de artículos varios.

SUMMARY

The development of this technical project was started from an ecological point of view, in order to give a new use for the covers (Low Density Polyethylene) that are currently a large percentage of waste in our landfills sanitaria's. El development of this project technical departed from an ecological point of view, in order to give a new use for the covers (low density Polyethylene) that are currently a large percentage of waste in our landfills.

For what the low density polyethylene has a new use , must possess certain physical characteristics that allow their reintegration into the manufacturing industry , the characteristic most important is that the material returns to its state of pellets , so a machine grinding plays a role important in recycling this product.

In project present analysis of all the parameters involved in the crushing of low density polyethylene (cases), and these occurred; the angle of the cutting edge of the blades, spindle speed, grinding time, founded a type of recycled among the most important. Identified the characteristics involved in the shredding process several design alternatives consider, being the selected crusher blade vertical axis, the facility ease of construction, facility maintenance and covering same size.

The design process all stresses to which the crusher is subjected considered, selected materials and dimensions that meet safety factors, performing itself a finite element analysis to check calculations performed analytically.

Then machine according to the specifications detailed above is constructed, performing physical tests that yielded pellets sizes of 3 mm up with crushed times 20 minutes, applied to thick covers from greater than 0.35 mm thickness. Pellets being elaborated for thermoforming practices for the development of various items.

I. CAPÍTULO: EL PROBLEMA

1.1 Tema

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE CAPACIDAD 2,5 Kg DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECICLADO.

1.2 Justificación

En esta época de globalización el excesivo consumismo y la escasa cultura de reciclaje han hecho que el medio ambiente se contamine cada vez más y de una manera acelerada, agotando así los recursos disponibles para el manejo de desechos existentes en la ciudad y en todo el mundo, cada vez va de aumento, puesto así los rellenos están siendo llenados de una forma indiscriminada y fuera del control público. [1]

En la ciudad de Ambato existe gran cantidad de desechos de polietileno de baja densidad (fundas), debido al abundante intercambio de comercio, ya que la localización está en el centro del país, lo cual provoca que sea sede de intercambio comercial nacional y afluencia de la ciudadanía. [2]

El problema ha existido durante mucho tiempo, pero en los últimos años se ha acentuado y va de aumento sin medida, ya que no existe la conciencia ambiental de las personas en el medio en que viven, a más de que procesos de reutilización de desechos implica mayores costos y nuevas fuentes de trabajo para la ciudadanía en el ámbito del reciclaje y de una reutilización. [1]

El estudio se presenta para nuevas alternativas de materia prima para un posterior reciclaje tienda hacer mucho más útil si se lo utiliza reemplazando a un material con nuevas características y de mayor facilidad al momento de conseguir la materia prima,

conociendo los costos elevados de materia primordial en algunos casos se podrá reemplazar con material de fácil obtención. [2]

Mediante este prototipo se busca mejorar e industrializar el reciclaje del plástico en nuestro medio, en este aspecto el diseño y construcción de maquinaria especializada hace posible que este proceso se realice de una forma muy eficiente y el plástico se convierta en una fuente inagotable de recursos. [2]

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar y construir una máquina trituradora de capacidad 2,5 kg de polietileno de baja densidad reciclado.

1.3.2. Objetivos Específico

- Seleccionar el material adecuado para cada una de las partes que constituyen la trituradora.
- Diseñar la geometría del filo de las cuchillas apropiadas para el triturado del polietileno de baja densidad.
- Determinar la altura óptima para un correcto corte y triturado de polietileno de baja densidad.
- Simular el proceso de cortado del polietileno de baja densidad mediante un software.

II. CAPITULO: FUNDAMENTACIÓN

2.1. Investigaciones Previas

Construcción de una trituradora aglutinadora de plástico, su objetivo es generar una fuente de ingresos económicos a aquellas personas que desean incursionar en el proceso de reciclaje del plástico y ayudar a la descontaminación del planeta, figura 2.1. [3]



Figura N°2. 1: Tipo de trituradora y aglutinadora de plástico.

Fuente: [3]

El objetivo primordial de este proyecto es diseñar y construir una trituradora y aglutinadora de plástico, para aumentar el reciclado mecánico en la industria nacional y con ella fomentar el reciclaje del plástico contaminante, para el cálculo del factor de seguridad se tomó en cuenta el material con el que se iban a fabricar cada uno de los componentes de la máquina ya que cada material posee su propio esfuerzo último. Para la fabricación de los componentes de esta máquina se usó varios tipos de acero como: ASTM A36, AISI 1018, AISI 1045, A705, A760. No se puede evitar que un porcentaje de las fundas se introduzcan al fondo de la trituradora, entre mayor sea la velocidad de alimentación de la fundas el tiempo de aglutinado será menor. El amperaje del motor puede dar un aviso general si se está excediendo la carga de plástico dentro de la máquina. Una vez que el plástico ha sido reducido a pequeñas partículas la vibración de la máquina disminuye. El eje no debe sobresalir más de 7 cm desde la base del cilindro. Los porta

cuchillas fijas no deben introducirse más de 3 mm al interior de cilindro por que las fundas se atascan. La distancia entre las cuchillas fijas y móviles no debe ser mayor a 3 mm. [3]

En el proyecto diseñado permite preservar el medio ambiente, mejorar el proceso de tratamiento del plástico. La construcción de la máquina parte del diseño y el cálculo. Las principales: cámara de molienda, cuchillas de acero, las poleas, las cribas y la tolva. [4]



Figura N°2. 2: Tipo de trituradora y aglutinadora de plástico.

Fuente: [4]

Se inicia con el estudio y selección del material a procesar, se empleará las propiedades físicas para seleccionar el polímero que por sus características es la mejor. En este capítulo se procederá a escribir el fundamento teórico y la formulación necesaria para el diseño de los elementos que conforman tanto la trituradora. En el capítulo se desarrollará el diseño estático y dinámico, basado en esfuerzos y deformaciones. El reducido tamaño de las máquinas y el empleo de materiales no convencionales en su construcción se redujeron hasta un 30%. El redimensionamiento de cuchillas y la máquina trituradora obtuvieron partículas con un volumen no mayor a 125%. [5]

2.2 Fundamentación Legal

La norma IRAM 13610 trata de requisitos y métodos de ensayos para bolsas plásticas, tipo camisetas, fue puesta en vigencia en octubre del 2010, los objetivos de esta; La esta norma específica las características y los métodos de ensayos para las bolsas de plástico tipo camiseta. [6]

2.3 Fundamentación Teórica

2.3.1 Concepto de Polietileno

Es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino. [7]

2.3.2 Estructura del Polietileno

La estructura química del Polietileno es $(CH_2 - CH_2)$. Esta molécula está compuesta en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces de tipo covalente. La fuerza de los enlaces C-C y C-H es 347 y 414 KJ/m. [7]

2.3.3 Clasificación del Polietileno

Se puede clasificar tres tipos diferentes de Polietileno de acuerdo a la densidad que presentan ya que esta es un indicativo del tipo de estructura que posee el polímero. [7]

- Polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE).
- Polietileno lineal de baja densidad (PELBD o LLDPE).
- Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE).
- Polietileno de alta densidad alto peso molecular (HMW o HDPE).
- Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE).

Contiene sustituyentes alquilo, o pequeñas ramificaciones en la estructura de la cadena, dichas ramificaciones se producen durante el proceso de síntesis. Es un polímero con una densidad comprendida entre $0.910 - 0.925 \text{ gr/cm}^3$; es incoloro, inodoro y no tóxico. El Polietileno de baja densidad se divide en: Polietileno de baja densidad, Polietileno lineal

de baja densidad, Polietileno de muy baja densidad y Etil - Vinil – Acetato. El Polietileno de media densidad, es un polímero con densidad comprendida en $0.930 - 0.940 \text{ gr/cm}^3$, que se emplea especialmente en la fabricación de tuberías, es un polímero con densidad comprendida entre $0.941 - 0.954 \text{ gr/cm}^3$ es incoloro, inodoro, no tóxico. [8]

2.3.4 Polietileno de baja densidad

El polietileno tiene asociadas largas cadenas de polietileno. Esto se llama polietileno ramificado, o de baja densidad, o LDPE. Cuando no hay ramificación, se llama polietileno lineal Fig. 2.3, o HDPE. El polietileno lineal es mucho más fuerte que el polietileno ramificado Fig. 2.4, pero el polietileno ramificado es más barato y más fácil de hacer. [8]

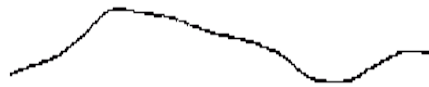


Figura N°2. 3: Molécula de polietileno lineal (HDPE)
Fuente: [8]



Figura N°2. 4: Metalografía de un polietileno ramificado (LDPE)
Fuente: [8]

Se trata de un material plástico que por sus características y bajo costo se utiliza mucho. Los objetos fabricados con LDPE se identifican fig. 2.5, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry) [7]:



Figura N°2.5: Identificación.

Fuente: [7]

2.3.5 Propiedades

2.3.5.1 Propiedad Eléctrica del polietileno de baja densidad

Termoplástico comercial, blanquecino, blando, flexible y tenaz, incluso a temperaturas bajas, excelentes propiedades eléctricas pero baja resistencia al calor, Su resistencia química también es muy buena, tiene propiedades de protección débiles, la tabla 2.1. [8]

Tabla N°2. 1: Propiedades Eléctricas del polietileno de baja densidad. [8]

Propiedades Eléctricas	
Constante Dieléctrica MHz	2,2- 2,35
Factor de Disipación MHz	$1-10 \times 10^{-4}$
Resistencia Dieléctrica Kv mm	27
Resistencia Superficial (Ohm/sg)	10^{13}
Resistividad de Volumen (Ohm*cm)	$10^{13} - 10^{14}$

2.3.5.2 Propiedad Física del polietileno de baja densidad

Estas propiedades se refieren a un producto con peso molecular aproximado, algunas de las propiedades son relativamente insensibles al peso molecular, entre ellas la densidad, el punto de fusión, el calor específico; en tabla 2.2. [8]

Tabla N°2. 2: Propiedades Físicas del polietileno de baja densidad. [8]

Propiedades Físicas	
Absorción de agua en 24 horas %	< 0,015
Densidad gr/cm^3	0,92
Índice refractivo	1,51
Índice de Oxígeno límite %	Alto
Resistencia a los Ultra-violeta	aceptable

2.3.5.3 Propiedad Mecánica del polietileno de baja densidad

Varias propiedades son directamente afectadas por la cristalización, como en la dureza, el punto de reblandecimiento y el punto de cedencia por la fuerza de tracción, si este se somete a grandes fuerzas se comporta similar a un metal dúctil y maleable, tabla 2.3 [8]

Tabla N°2. 3: Propiedades Mecánicas del polietileno de baja densidad. [8]

Propiedades Mecánicas	
Alargamiento a la Rotura (%)	100-400
Dureza - Rockwell	41 – 46 Shore
Módulo de Tracción (Gpa)	0,1 – 0,3
Resistencia a la ruptura Sut (Mpa)	5 - 25
Resistencia al Impacto (J/m)	> 1000

2.3.5.4 Propiedad para películas LDPE (PEBD)

Ingenierilmente, el polietileno (PEBD), a bajas temperaturas tiene mayor resistencia que los metales, pero son muy senciles al momento de estar a la luz del sol; las creaciones de recubrimientos de películas en diversos materiales tabla 2.4: [8]

Tabla N°2. 4: Propiedades de la película LDPE. [8]

Propiedades para películas de LDPE (PEBD)		
Alargamiento a la Rotura	%	100-700
Resistencia al desgarro Inicial	g/um	1,2-10,3

2.3.5.5 Propiedad para la magnitud del cizallado

En la tabla 2.5; se muestra el orden de magnitud típica de la viscosidad de cizalla para polímeros fundidos y se ha incluido la de otros materiales a efectos comparativos. [8]

Tabla N°2. 5: Propiedades de la película LDPE. [8]

Máaterial	M (Pa.s)
Polimeros Fundidos	10^3
Glicerol	10^{-1}

2.3.5.6 Propiedad del Polietileno de baja densidad virgen versus Reciclado

El producto reciclado si bien lo dice es de fácil obtención debido al uso y desecho que se puede encontrar hoy en día pero en la tabla 2.6, se toman los parámetros principales. [8]

Tabla N°2. 6: Propiedades del polietileno. [8]

Propiedades	Virgen	Reciclado	Variación %
Tracción (Kg/cm^2)	0,87	0,34	60,92
Flexión	1,01	0,85	15,84
Dureza (shore D)	10	15	-50
Densidad (gr/cm^3)	0,95	0,941	--

2.3.6 Aplicaciones:

Los polímeros de polietileno de baja densidad (LDPE) utilizados en la industria, se tratan de polímeros con procesabilidad y resistencia al impacto; podemos encontrar varios tipos de bolsas fabricadas de polietileno de baja densidad se muestra en la figura 2.5. [7]



Figura N°2. 5: Imagen de utilización del polietileno de baja densidad.

Fuente: [7]

2.3.7 Diseño de maquinaria

La palabra diseño viene del latín designar que da significado a cada uno de los componentes o partes, en un sentido más amplio se traduce como delinear, trazar, planear, una máquina se define como un aparato formado de partes de elementos de máquina, están dispuestas con el objeto de transformar movimientos y fuerzas. Relación entre fuerzas y movimiento distingue el diseño de máquina; incluye análisis de las cargas dinámicas. [9]

2.3.7.1 Diseño mecánico

En la manufactura: procesos para la creación de máquinas o partes de máquinas. En el ensamble: piezas comerciales con o sin piezas manufacturadas. Rediseño ergonómico: mejoramiento a la comodidad. En de mantenimiento: procedimientos, frecuencias. [9]

2.3.7.2 Proceso de diseño

Es una secuencia lógica de pasos que sigue el diseñador a partir de ciertos datos de entrada, para obtener la solución de ingeniería más práctica y funcional que satisfaga un problema particular, una secuencia de pasos se quiere señalar un orden lógico y cronológico. [10]

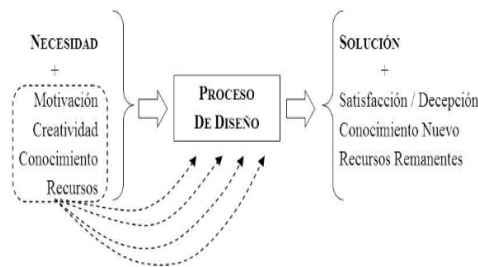


Figura N°2. 6: Procedimiento para el diseño de máquina.

Fuente: [9]

2.3.7.3 Requerimientos

Los requerimientos básicos y esenciales para iniciar un proyecto de diseño se pueden agrupar en cinco aspectos: [11]

2.3.7.3.1 Necesidad

El primer paso consiste, en identificar una necesidad básica que requiera solución por medio del diseño mecánico; luego se debe complementar este planteamiento inicial. [11]

2.3.7.3.2 Motivación

Justifique el esfuerzo de emprender la solución de un problema; (explotación comercial de productos, innovación, mejoramiento, productividad, eficiencia, etc.). [11]

2.3.7.3.3 Creatividad

Un importante componente y necesaria para hallar soluciones alternativas e innovadoras a viejos y nuevos problemas; no olvidarse que ingeniería viene de ingenio capacidad de crear. [11]

2.3.7.3.4 Conocimiento

Se agrupan los conocimientos científicos (teóricos), ingenieriles (aplicados) y técnicos (prácticos y operativos) problema particular; indispensable, saber todo lo necesario. [11]

2.3.7.3.5 Recursos

Materiales (materias primas, insumos, máquinas herramientas, procesos, servicios industriales.), humanos (equipo interdisciplinario de ingenieros y técnicos, operarios), tiempo (cronograma) y dinero para el financiamiento. [11]

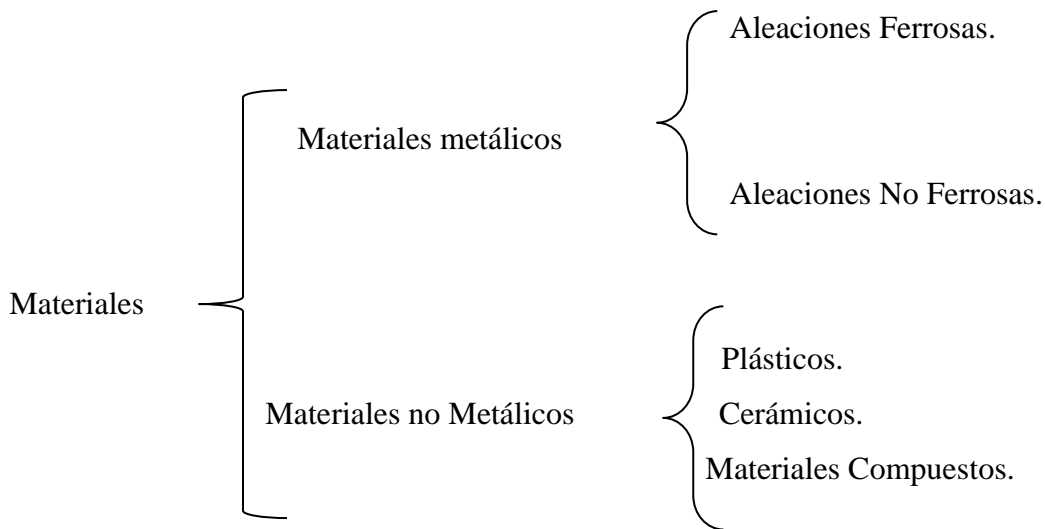
2.3.7.3.6 Resultados Esperado

a) Solución.- El diseño final aprobado, producto, máquina o proceso productivo; incluye planos, prototipo virtual, construcción y prueba de al menos un prototipo real y especificaciones del proceso de manufactura. [11]

b) Conocimiento Nuevo.- El diseño deja información que antes no se tenía a nivel científico, ingenieril, técnico y comercial, se llama experiencia y know how, se respalda con documentos: memorias de cálculo, operación y mantenimiento, bibliografía. [11]

c) Pasos Del Proceso De Diseño.- Recolección de datos cuantitativos y cualitativos, definición del problema, diseño básico, selección de elementos comerciales, síntesis y análisis de manufactura, integración de elementos, planos de ensamble y de taller, prototipos & pruebas: virtuales (CAD 3D, CAE, CAM) y reales, pruebas estáticas y dinámicas, diseño definitivo, planos definitivos: detalle, taller, ensamble y explosión, especificación de acabados, memorias de cálculo y planos, mantenimiento. [11]

2.3.8 Selección de materiales para maquinas



2.3.8.1 Materiales Metálicos:

2.3.8.1.1 Aleaciones ferrosas

Aceros y fundiciones de hierro (hierros colados).- Los aceros dependiendo de su contenido de carbono y de otros elementos de aleación se clasifican en: Aceros simples, Aceros aleados, Aceros alta aleación. [9]

a) Aceros Simples:

Aleación hierro con carbono con un contenido en el rango de 0.02 hasta el 2% con pequeñas cantidades de otros elementos como: P, S, Mn, Cu, Si. Se clasifican: Aceros de bajo carbono, Aceros de medio carbono y Aceros de alto carbono: Aceros de bajo carbono ($0.02 < \%C < 0.3$) Son dúctiles, soldables, no se pueden tratar térmicamente, poseen una resistencia mecánica moderada, maquinables, baratos. Aceros de medio carbono ($0.3 < \%C < 0.65$) Son templables (Se pueden someter a temple y revenido), poseen buena resistencia mecánica, ductilidad moderada, baratos. Aceros de alto carbono ($\%C > 0.8$) Son templables, duros y resistentes al desgaste, difíciles de soldar, poco tenaces. Estos son utilizados: elementos de máquinas. [12]

b) Aceros aleados

Son aceros simples: Cromo, Molibdeno, Níquel, Tungsteno, Vanadio, Silicio, Manganeseo. Menor o igual al 5 % y aleados se utiliza un sistema de identificación de 4 dígitos desarrollado por AISI (American Iron and Steel Institute) y SAE (Society of Automotive Engineers). La Tabla 2.7 se muestra: [12]

Tabla N°2. 7: Referencias de familia de los materiales de aleación. [12]

Familia	Principales elementos de aleación
1xxx	Carbono
2xxx	Níquel
3xxx	Níquel-Cromo
4xxx	Cromo-Molibdeno
5xxx	Cromo

Aceros para Herramienta.- Grupo importante de aceros, utilizan fundamentalmente para la fabricación de herramientas que se utilizan para darle forma a otros materiales son: Carbono, Tungsteno, Molibdeno, Manganeso, Vanadio, Níquel, Cobalto etc. [13]

Fundiciones de Hierro.- Son aleaciones de hierro y carbono con un contenido de este último en el rango de 2 hasta 6.7 % con cantidades adicionales de silicio o manganeso. Su diferencia con los aceros es que no se les puede dar forma mediante deformación plástica ni en frío ni en caliente: Hierros fundidos blancos.- El carbono se encuentra en forma de carburo de hierro. Hierros fundidos grises.- El carbono se encuentra en forma de hojuelas de grafito. Hierros fundidos nodulares o dúctiles.- El carbono se encuentra en forma de nódulos de grafito, Hierros fundidos maleables.- Donde el carbono se encuentra en forma de rosetas de grafito. [13]

2.3.8.2 Materiales No Metálicos:

- a) **Materiales Plásticos.-** Los plásticos se dividen para su estudio en tres grandes grupos, a saber: Termoplásticos, Termofijos, Elastómeros. Los primeros son aquellos que se pueden ablandar por medio de calor, esto significa que son fáciles de reciclar. Los plásticos termofijos no se pueden ablandar por medio calor, aumenta mucho su temperatura se queman y los elastómeros experimentar una gran cantidad de deformación elástica a temperatura ambiente. [9]

2.3.9 Diseño de partes:

En la sección transversal de un elemento produce un esfuerzo mayor que el predice la resistencia de materiales elementales, eso no significa que las ecuaciones básicas no tengan algún valor, el valor de dicho factor ha sido obtenido ya por técnicos y científicos utilizando técnicas como fotoelasticidad, barnices, y en los últimos años el análisis mediante el elemento finito (MEF), figura 2.7, y los resultados obtenidos. [14]

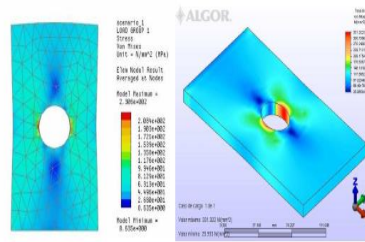


Figura N°2. 7: Distribución de esfuerzos en una placa según el método de MEF.

Fuente: [14]

En el caso de una placa semi-infinita de área transversal uniforme sometida a una carga axial (como se muestra en la Figura 2.8). Se espera que el esfuerzo se distribuya; dichas líneas pueden verse en los análisis esfuerzos. La magnitud del esfuerzo nominal será: [14]

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} \quad \text{o} \quad \frac{Sy}{n} \quad (\text{Ecuación 2.1}) [14]$$

Dónde:

- F: Carga axial distribuida
- A: Área transversal.
- Sy: Resistencia a la tracción.

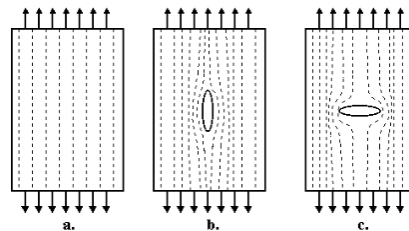


Figura N°2. 8: Distribución de los esfuerzos en una placa.

Fuente: [14]

Existen gráficas y ecuaciones empíricas como el de la Figura 2.9, para las combinaciones más comunes de geometrías y tipos de cargas; tomando datos de entrada los parámetros geométricos. Si no existe datos se puede recurrir al Análisis por Elementos Finito. [14]

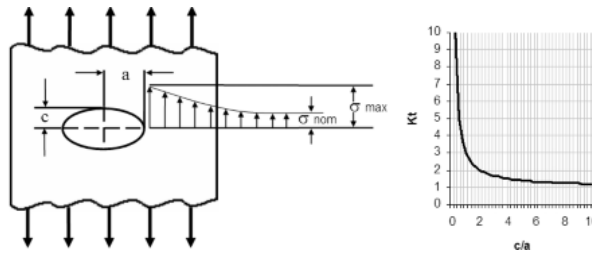


Figura N°2. 9: Concentración de esfuerzos.

Fuente: [14]

Por lo tanto, las ecuaciones básicas de la resistencia de materiales se pueden escribir de la siguiente manera, ya tomando en cuenta el factor K_t : [14]

Carga Axial $\sigma = K_t \frac{P}{A}$ (Ecuación 2.2) [14]

Torsión $\tau = K_t \frac{M.D}{2P}$ (Ecuación 2.3) [14]

Flexión $\sigma = K_t \frac{M.C}{E}$ (Ecuación 2.4) [14]

Flexión y torsión $\sigma = K_t \frac{M.C}{E} + \frac{M.D}{2P}$ (Ecuación 2.5) [14]

Dónde:

- $P =$ Fuerza.
- $Ea =$ Área.
- $M =$ Momento crítico.
- $D =$ Diámetro.
- $C =$ Distancia de eje neutro.
- $E =$ Módulo de elasticidad.
- $K_t =$ Factor geométrico.

Para esfuerzos presentes en áreas cilíndricas:

$$\text{Torsión} \quad \tau = \frac{16.T}{\pi d^3} \quad (\text{Ecuación 2.6}) [14]$$

$$\text{Flexión} \quad \sigma = \frac{32.M}{\pi d^3} \quad (\text{Ecuación 2.7}) [14]$$

Dónde:

- $T = \text{Torque.}$
- $M = \text{Momento flector crítico.}$
- $D = \text{Diámetro.}$

Una pieza con concentradores de esfuerzos puede fallar bajo cargas cuyo valor sea inferior al valor nominal de diseño, para el cálculo de factores de seguridad no cuenta el esfuerzo nominal sino el esfuerzo máximo inducido por el concentrador de esfuerzos. Gracias a que la falla no se produce de inmediato, se puede detectar la deformación de la pieza a tiempo, retirarla, rediseñarla y reemplazarla. [15]

2.3.10 Esfuerzos

Se ha estudiado ya el efecto que tienen los diferentes tipos de cargas cuando actúan sobre un cuerpo, considerando que son estáticas, no cambian con respecto al tiempo, la mayor parte de máquinas y elementos estructurales están sometidos a cargas que no son estáticas, este tipo de aplicaciones se produce en los elementos cíclicos o de fatiga. Expertos estiman que entre el 80% y 90% de todas las fallas sin servicio son causadas por fatiga. Para un elemento sometido a cargas variables debe conocerse o aproximarse la variación del esfuerzo con respecto del tiempo. Lo que sí es importante es determinar el valor de los esfuerzos máximo y mínimo va a estar, variación senoidal del esfuerzo: [16]

$$\sigma = \sigma_m \pm \sigma_r \text{ sen } wt \quad (\text{Ecuación 2.8}) [16]$$

$$\tau = \tau_m \pm \tau_r \text{ sen } \omega t \quad (\text{Ecuación 2.9}) [16]$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (\text{Ecuación 2.10}) [16]$$

De la ecuación anterior se pueden obtener comportamientos básicos de los elementos: [16]

a) Esfuerzo estático

$$\sigma_r = 0$$

$$R = 1$$

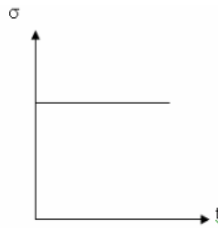


Figura N°2. 10: Esfuerzo estático

Fuente: [16]

b) Esfuerzo completamente invertido

$$\sigma_m = 0$$

$$R = -1$$

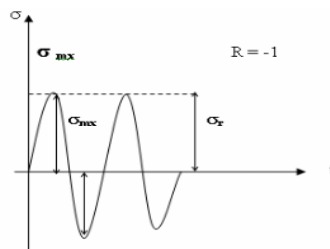


Figura N°2. 11: Esfuerzo completamente invertido

Fuente: [16]

c) **Ciclo repetitivo**

$$\sigma_m = \sigma_r \neq 0$$

$$R = 0$$

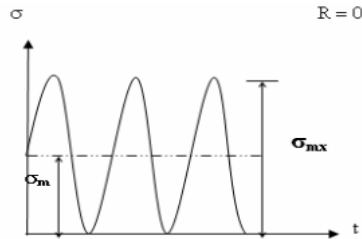


Figura N°2. 12: Esfuerzo repetitivo

Fuente: [16]

d) **Esfuerzo de Tensión o Compresión**

$$\sigma_r < \sigma_m$$

$$0 < R < 1 \text{ Tensión}$$

$$-1 < R < 0 \text{ Compresión}$$

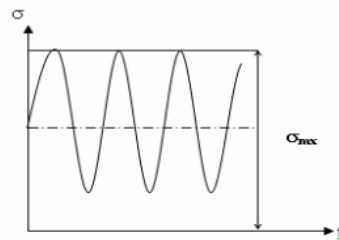


Figura N°2. 13: Esfuerzo de tensión

Fuente: [16]

Las máquinas herramientas, algunas de sus piezas o partes también están sometidas a compresión, deformación y esbeltez como se representó en las gráficas anteriores se debe tomar en cuenta, la compresión que sufren las partes les quita parte mínima de área de resistencia, la deformación de un elemento mecánico está directamente involucrado a la

características del material su longitud y para la esbeltez es la relación de su longitud y las dimensiones de la sección transversal, el pandeo local no será crítico debido a que no están en sobre carga, después de estas aclaraciones presentamos las ecuaciones: [16]

$$\sigma = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ecuación 2.11}) [16]$$

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (\text{Ecuación 2.12}) [16]$$

$$\varepsilon = \frac{L}{K} \quad (\text{Ecuación 2.13}) [16]$$

Dónde:

- $P = \text{Fuerza. } N$
- $L = \text{Longitud efectiva. Metro}$
- $I = \text{Inercia del cuerpo.}$
- $A = \text{Área. Metros}$
- $\varepsilon = \text{Esbeltez. Metros}$
- $E = \text{Módulo de elasticidad. MPa}$
- $K = \text{Dimensión del área transversal.}$

Debe mencionarse que solo las aleaciones ferrosas (aceros y hierros fundidos) como en la figura 2.14 así como las aleaciones de titanio, muestran un límite a la fatiga bien definido, los demás materiales no. Si no se dispone el valor exacto del límite a la fatiga, se puede hacer uso de las relaciones que se muestran en la tabla del manual, obteniéndose en la figura por énfasis en que esas aleaciones consideran una confiabilidad del 50%. [16]

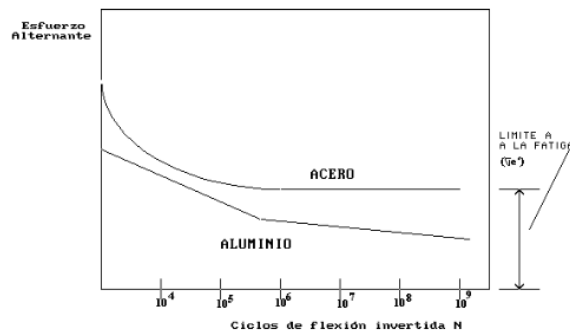


Figura N°2. 14: Curva de esfuerzos, número de ciclos (curva Wohler) para acero y aleaciones de aluminio.

Fuente: [16]

Flexión.- Se denomina al tipo de deformación que se presenta en un elemento sujeto a sus dos extremos aplicando una fuerza perpendicular a su eje longitudinal, el esfuerzo que provoca la flexión se lo llama momento flector. [16]

Carga Axial.- Se involucran en el eje centroidal de la sección del elemento cargado ya esté sometido a la tensión o de compresión. [16]

Torsión.- Se presenta en un elemento mecánico sujeto uno de sus extremos al someterlo a un momento torsor sobre el eje, se presentan tensiones tangenciales y radiales. [16]

2.3.11 Ecuaciones de Diseño

El diagrama de Wöhler analizado muestra el comportamiento de la resistencia a la fatiga relacionando la magnitud de los esfuerzos alternantes con el número de ciclos, un caso particular donde los esfuerzos medios son nulos. Como se muestra en la Figura 2.15, el diagrama es en realidad un plano de corte de la superficie de falla generalizada para $\sigma_m = 0$. Muestra la proyección de planos de corte para diferentes valores de σ_m de donde puede deducirse que a mayor valor de σ_m la resistencia a la fatiga disminuye. [17]

$$\sigma_{max} = \sigma_r + \sigma_m \Rightarrow \sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_m \quad (\text{Ecuación 2.14}) [17]$$

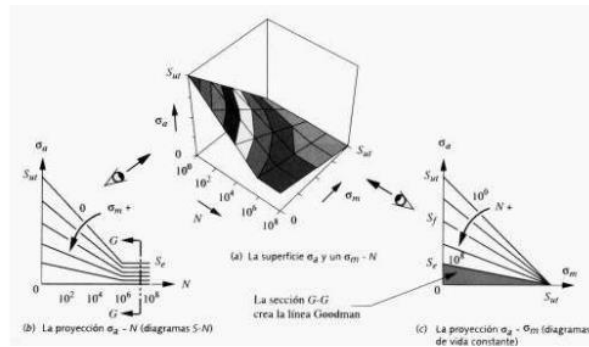


Figura N°2. 15: Superficies de fallas generalizadas para un material ferroso.

Fuente: [17]

Resulta importante la interacción entre esfuerzos medios, alternantes y su incidencia sobre la resistencia para un instante de tiempo, en particular, analizar que sucede más allá del rango de alto ciclaje ($N > 10^6$ ciclos), especial cuando se desea diseñar a vida infinita bajo esfuerzos fluctuantes. La Figura muestra 2.16 diferentes líneas de falla, las cuales corresponden $N \leq 10^6$ ó $N = 10^8$ (material ferroso o no ferroso respectivamente). [17]

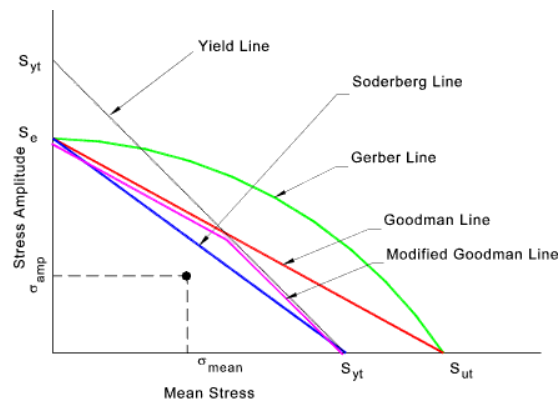


Figura N°2. 16: Criterios de falla.

Fuente: [17]

A menor área, más conservador es el criterio de falla. Normalmente se acepta la línea de Soderberg como el criterio más práctico; en materiales dúctiles el criterio de falla no es solamente la rotura sino también la deformación plástica, hay que tener también en cuenta la línea de fluencia. Las ecuaciones siguientes: [14]

a) Parábola de Gerber:

$$\frac{1}{F.S} = \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{max}} \right)^2 + \frac{\sigma}{\sigma_e} \quad (\text{Ecuación 2.15}) [14]$$

b) Línea de Goodman:

$$\frac{1}{F.S} = \frac{\sigma_m}{\sigma_{max}} + \frac{\sigma}{\sigma_e} \quad (\text{Ecuación 2.16}) [14]$$

c) Línea de Soderberg:

$$\frac{1}{F.S} = \frac{\sigma_m}{s_y} + \frac{\sigma}{s_e} \quad (\text{Ecuación 2.17}) [14]$$

Para elementos sometidos a esfuerzos cortantes

$$\frac{1}{F.S} = \frac{\tau_m}{\tau_f} + \frac{\tau}{\tau_e} \quad (\text{Ecuación 2.18}) [14]$$

Dónde:

- $F = \text{Fuerza. } N$
- $S = \text{Longitud efectiva. Metros}$
- $\sigma_m = \text{Esfuerzo medio. MPa}$
- $\sigma = \text{Esfuerzo del material. MPa}$
- $\sigma_{max} = \text{Esfuerzo máximo. MPa}$
- $\sigma_e = \text{Esfuerzo último. MPa}$
- $\tau = \text{Torque sometido al elemento. } N.m$

2.3.11.1 Diseño a fatiga.- Es una carga dinámica cíclica que se presenta en los elementos denominado ciclo de cargas repetitivas, en esfuerzos máximo y mínimos que son asimétricos con respecto al nivel de carga, se presentaran las ecuaciones que serán en su mayoría revisadas por tablas. [17]

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (\text{Ecuación 2.19}) [17]$$

$$S_e' = 0,5 S_y \quad (\text{Ecuación 2.20}) [17]$$

Dónde:

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánica. MPa

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de la viga rotatoria. MPa

k_a = Factor de superficie diagrama.

k_b = Factor de tamaño diagrama.

k_c = Factor de confiabilidad tabla.

k_d = Factor de temperatura diagrama.

k_e = Factor de modificación por concentración de esfuerzos diagrama.

k_f = Factor de efectos diversos diagrama.

2.3.11.2 Momento de inercia de elementos mecánicos.- Se origina siempre que tenga reacción la fuerza normal o a la presión (fuerza por unidad de área con el momento), consideramos una área adimensional en el eje X y Y, donde se tiene un centroide puesto que para cada figura rectangular, cuadrada o circular después de la deducción por integrales y derivadas se manifiesta una fórmula que a continuación se describen: [10]

$$I = \frac{m}{12} (l^2 + b^2) \quad (\text{Ecuación 2.21}) [10]$$

$$I = \frac{m d^2}{12} \quad (\text{Ecuación 2.22}) [10]$$

$$I = \frac{b h^2}{12} \quad (\text{Ecuación 2.22}) [10]$$

$$I = \frac{M}{\alpha} \quad (\text{Ecuación 2.23}) [10]$$

Dónde;

- $m = \text{Masa. Kg}$
- $l = \text{Largo. Metros}$
- $b = \text{Sncho. Metros}$
- $d = \text{Diámetro. Metros}$
- $h = \text{Altura. Metros}$
- $M = \text{Momento flexor N.m}$
- $\alpha = \text{Aceleración angular. rad/s}^2$

2.3.11.3 Aceleración y velocidad angular.- La velocidad es una medida de rotación que se presenta en rad/s se define como el ángulo de giro por una unidad de tiempo, la aceleración se define como el cambio que se experimenta la velocidad angular por unidad de tiempo, tiene carácter vectorial y se lo expresa en rad/s^2 . [14]

$$w = \frac{2.\pi.N}{60} \quad (\text{Ecuación 2.24}) [14]$$

$$\alpha = \frac{W}{t} \quad (\text{Ecuación 2.25}) [14]$$

Dónde;

- $W = \text{Velocidad angular. rad/s}$
- $\alpha = \text{Aceleración angular. rad/s}^2$

- $N = \text{Número de revoluciones por minuto}$
- $t = \text{Tiempo. Segundos}$

2.3.11.4 Método de superposición.- En este método usa una teoría de la elasticidad lineal, consiste en descomponer el problema inicial de cálculo de vigas en casos más simples, que sumados o superpuesto son equivalentes al problema original, en casos muy simples después de la descomposición existen tablas que se pueden ayudar para la fácil solución, para el método debe cumplir la Ley Hooke, la deflexión y rotación en la viga sean pequeñas, las deflexiones no alteren las cargas. [16]

$$\theta_1 = \frac{PL^2}{16EI} \quad (\text{Ecuación 2.26}) [16]$$

$$\theta_2 = \frac{PL^2}{2EI} \quad (\text{Ecuación 2.27}) [16]$$

$$\theta_3 = \frac{M_b L}{EI} \quad (\text{Ecuación 2.28}) [16]$$

Dónde;

- $P = \text{Reacción en A}$
- $L = \text{Longitud de vida. Metros}$
- $E = \text{Módulo de elasticidad. MPa}$
- $I = \text{Inercia. Kg. m}^2$

2.3.11.5 Diseño para vida finita

Los elementos sometidos a la acción de esfuerzos variables ocurren después de un número de ciclos trabajando a un determinado nivel de esfuerzos, como se muestra en la figura 2.17 [14]

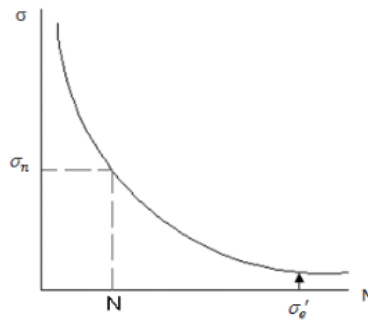


Figura N°2. 17: Diagrama para vida finita.

Fuente: [14]

Los elementos de máquinas trabajan solo unos cuantos miles de ciclo, se acentúa la importancia de contar con una herramienta de diseño que permite el dimensionamiento de ciclos que realmente va a soportar, especialmente válido cuando se diseña un equipo para una duración predeterminada. En la práctica no ocurre así, los ingenieros encontraron que para los aceros y fundiciones de hierro, relación entre el esfuerzo necesario para causar falla (σ_n) para un cierto número de ciclos N y la resistencia máxima, en la figura 2.18 [14]

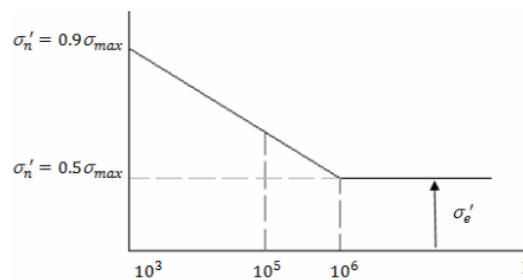


Figura N°2. 18: Relación entre esfuerzo necesario para causar la falla y el número de ciclos.

Fuente: [14]

2.3.11.6 Potencia del motor eléctrico

El momento de fuerza que ejerce un motor sobre su eje de transmisión de potencia, esto es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, se desplaza al sistema a un punto de equilibrio entre la fuerza y la resistencia, es decir, que el mismo sistema generar la fuerza del motor de oposición a la resistencia que este presenta. [26]

$$H = \frac{2 \times \pi \times n \times M}{60} \quad (\text{Ecuación 2.29}) [26]$$

$$M = I \alpha \quad (\text{Ecuación 2.30}) [26]$$

Dónde;

- $H = \text{Potencia de motor Watts}$
- $M = \text{Momento torsor N.m}$
- $I = \text{Inercia necesaria para producir movimiento Kg.m}^2$
- $\alpha = \text{Aceleración angular rad/s}^2$

2.3.12. Diseño de Rodamientos

En las máquinas y mecanismos se utilizan órganos de transmisión del movimiento, en especial, del movimiento de rotación, se pueden destacar: árboles y ejes. Los árboles giran apoyados sobre unos soportes en sus extremos como se muestra en la figura 2.19: [18]

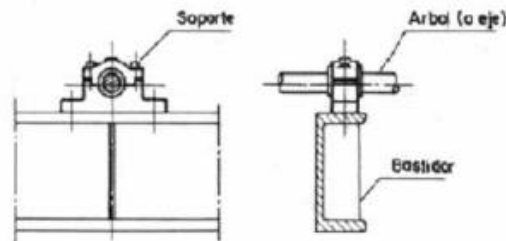


Figura N°2. 19: Representación del posicionamiento del rodamiento.

Fuente: [18]

2.3.12.1 Constitución de un Rodamiento

Los rodamientos están normalizados en dimensiones y tolerancias, repuestos de diferentes fabricantes, asegurando un correcto montaje. Están constituidos por dos o más aros concéntricos, uno de los cuales va alojado en el soporte (aro exterior) y el otro va montado en el árbol (aro interior), figura 2.20: [18]

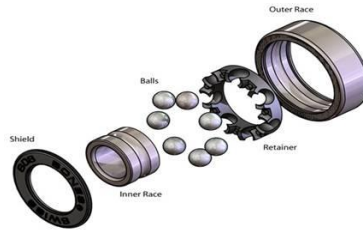


Figura N°2. 20: Representación de un rodamiento y sus partes.

Fuente: [18]

2.3.13 Clasificación de un Rodamiento

- a) **Rodamientos para cargas radiales.**- Soportar preferente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación. [19]
- b) **Rodamientos para cargas axiales.** Pueden soportar cargas que actúen únicamente en la dirección del eje de rotación. [19]
- c) **Rodamientos para cargas mixtas.** Pueden soportar esfuerzos radiales, axiales o ambos combinados. [19]

2.3.14 Tolerancias y ajustes de los Rodamientos

ISO prescribe tolerancias y límites de errores permisibles para las dimensiones (diámetros interior y exterior, ancho), necesarias para el montaje. El ajuste del rodamiento tiene tolerancias estrechas para garantizar un correcto funcionamiento. En la tabla 2.8 [14]

Tabla N°2. 8: Tolerancia del alojamiento del soporte [14]

Tipo de alojamiento	Condiciones de carga		Tolerancia del alojamiento
	Cargas estáticas al anillo exterior.	Todas las condiciones de carga.	H7
		Calor conducido a través del jefe	G7

Alojamiento sólido o partido.	Carga de dirección independiente.	Carga liviana a normal	Js7
		Carga normal a pesada	K7
		Carga pesada a choque.	M7
Alojamiento sólido.	Carga rotativo al anillo exterior.	Carga liviana o variable.	M7
		Carga normal a pesada.	N7
		Carga pesada (Alojamiento de pared delgada) carga pesada de choque.	P7

2.3.15. Selección de Rodamiento

Existen rodamientos en una gran variedad y dimensiones, propiedades y características. En la selección de un rodamiento es escoger aquel que se adapte. Espacio disponible, magnitud, dirección y sentido de la carga, desalineación, velocidad, ruido, rigidez. [20]

Designación de rodamientos.- La identificación de rodamientos hace referencia: diseño, dimensiones, precisión, constitución interna. La identificación está formada por el nombre del rodamiento, seguida de la denominación abreviada, la cual se compone de una serie de números y códigos de letras: serie dimensional (serie de diámetro exterior, serie de ancho, serie de ángulo de contacto) y diámetro interior del rodamiento. Por ejemplo: rodamiento rígido de bolas 6306 L1C3: 6= código de tipo de rodamiento correspondiente a los rodamientos rígidos de una hilera de bolas. 3= serie de diámetro exterior. 06= código de diámetro interior (para obtener el diámetro interior se multiplican estos dígitos por 5.) L1= código de jaula mecanizada de latón. C3= código de juego radial interno. [20]

a) Rodamiento Rígido de Bolas.- De uso general, absorben cargas radiales y axiales en ambos sentidos, como las fuerzas resultantes de estas cargas combinadas; pueden operar a elevadas velocidades. Estos rodamientos no son desmontables ni autoalienables, perfecta alineación del asiento del soporte, se muestra en la figura 2.21. [21]

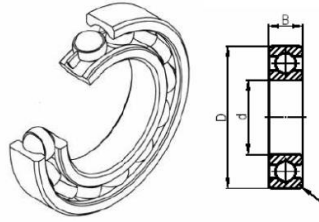


Figura N°2. 21: Rodamiento de rígido de bolas.

Fuente: [21]

2.3.16. Teoría de vida de un rodamiento:

Esta teoría y a la vez procedimiento de diseño, se basa en la siguiente fórmula. [14]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^2 \quad (\text{Ecuación 2.31}) [14]$$

- L_{10} Vida esperada en revoluciones por minutos con una confiabilidad del 90%.
- P Carga dinámica radial aplicada.
- n coeficiente; $n=3$ rodamiento de bolas, $n=10/3$ para rodillos.

Esta ecuación expresa que debido a defectos en su proceso estadísticamente se obtiene que el 10% de los rodamientos falla prematuramente antes del millón de ciclos cuando se aplica una carga $P / C=1$ (confiabilidad del 90%) según lo expresa la figura 2.22: [14]

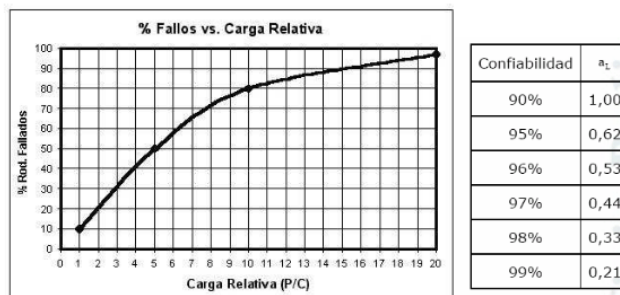


Figura N°2. 22: Correlación entre porcentaje de fallo y carga relativa.

Fuente: [14]

$$L = a_l \left(\frac{C}{P} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 2.32}) [14]$$

Dónde: La fórmula ya corregida para mayor confiabilidad:

- a_l Coeficiente de confiabilidad.
- L vida esperada en revoluciones por minuto corregida.

Cálculo del índice de carga estática básica C_o

$$C_o = f_s * P_o \quad (\text{Ecuación 2.33}) [14]$$

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}} \quad (\text{Ecuación 2.34}) [14]$$

$$a_{23} = a_{23 II} * s \quad (\text{Ecuación 2.35}) [14]$$

Dónde;

- $C_o =$ Carga estática básica.
- $f_s =$ Factor de servicios.
- $P_o =$ Carga equivalente estática.
- $C =$ Capacidad básica dinámica.
- $L_{10h} =$ Horas de funcionamiento.
- $n =$ Número de revoluciones por minuto.
- $a_1 =$ Confiabilidad del rodamiento.
- $a_{23} =$ Factor combinado para material y lubricante.
- $a_{23 II} =$ Factor para vida amplia.
- $s =$ Factor de limpieza.

2.3.17. Lubricación de rodamientos:

En los rodamientos es indispensable una buena lubricación: reduce el rozamiento de rodadura, protege las distintas partes del rodamiento de la herrumbre y el polvo, absorbe el calor que se desarrolla durante el funcionamiento y atenúa las vibraciones. [22]

2.3.18 Selección de pernos:

Los elementos roscados se usan extensamente en la fabricación en todos los diseños de ingeniería. Los tornillos suministran un método relativamente rápido y fácil para mantener unidas dos partes y para ejercer una fuerza que se pueda utilizar para ajustar partes móviles. **Rosca:** es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una elipse sobre la superficie exterior e interior de un cilindro. **Rosca Interna:** es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca. **Diámetro Exterior:** es el mayor diámetro de una rosca interna o externa. **Diámetro en los flancos (o medio):** es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa por los filetes en el punto en el cual el ancho de estos es igual al espacio. **Paso:** es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. Es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente. **Avance:** es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso. [23]

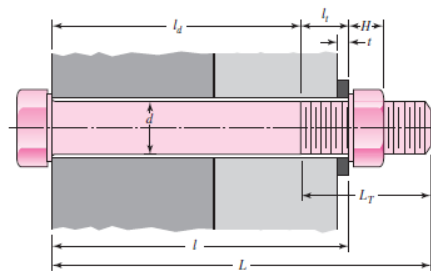


Figura N°2. 23: Esquema e identificación de pernos.

Fuente: [23]

$$n = \frac{A \times S_y \times F}{C \times P} \quad (\text{Ecuación 2.36}) [23]$$

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_c} \quad (\text{Ecuación 2.37}) [23]$$

Dónde;

- $K_b = \text{Rigidez del elemento.}$
- $A = \text{Área de la parte roscada.}$
- $F = \text{Fuerza aplicada.}$
- $P = \text{Número de pernos.}$
- $C = \text{Relación de rigidez.}$

2.3.19. Vibraciones del elemento mecánico:

En un sistema se considera que siempre tendrá vibraciones externas, este sistema tendrá que mantenerse en equilibrio para no tener el efecto de la resonancia mediante la comparación de frecuencia natural y la frecuencia externa, este puede tener sistema amortiguado y no amortiguado que contendrán movimientos armónicos. [23]

$$y_{max} = \frac{Fl^3}{192 EI} \quad (\text{Ecuación 2.38}) [23]$$

$$P = k \cdot x \quad (\text{Ecuación 2.39}) [23]$$

Dónde;

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_{total}}} \quad (\text{Ecuación 2.40}) [23]$$

- $y_{max} = \text{Deformación máxima en } y.$
- $x = \text{Deformación máxima.}$
- $F = P = \text{Fuerza aplicada.}$
- $\omega = \text{Frecuencia natural.}$
- $K = \text{Constante de rigidez del resorte.}$

III. CAPÍTULO: DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 Selección de alternativas

Tipos de trituradoras

Para el proceso de triturado se utilizan máquinas cortadoras, molinos y triturado; proceso primordial de corte, las trituradoras primarias, secundarias, y trituradoras giratorias. [25]

Máquinas cortadoras rotativas

Caracterizadas por cámara de corte amplia, que atraviesa por un eje de porta cuchillas, se encuentran distribuidas en su longitud, pequeño ángulo de inclinación, figura 3.1. [25]



Figura N°3. 1: Cortadora rotativa de cuchillas rotativas.

Fuente: [25]

Máquinas molinos:

Para reducir el volumen: medios mecánicos hasta el tamaño deseado. La reducción empleada en las máquinas: compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado: [25]

a) Molino de martillos

Trabaja por efecto de impacto, compresión y cizalladura del material entre dos cuerpos, serie de barras de libre movimiento o martillos que están sujetos a un eje rotatorio. [25]

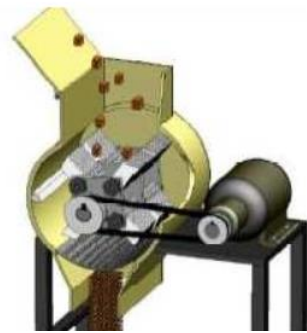


Figura N°3. 2: Molino de Martillos.

Fuente: [25]

b) Molino de discos

El molino posee uno o dos discos con una hilera de dientes concéntricos que trabajan a altas velocidades, en la figura 3.3. En caso de un solo disco, las hileras de dientes del plato se organizan de manera que encajan con las de la pared de la cámara de molienda. Puede ser estático o ambos girar pero en sentidos contrarios (600 – 1500 rpm). [25]

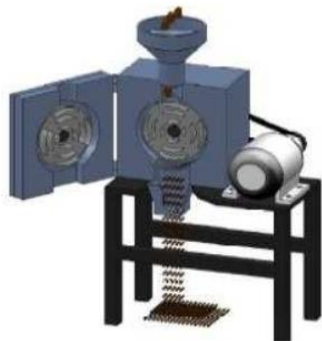


Figura N°3. 3: Molino de Discos.

Fuente: [25]

c) Molino de cuchillas

Es similar al molino de martillos, el eje se le puede colocar varios tipos de cuchillas; se encuentra un tamiz el cual controlar el tamaño de las partículas, figura 3.4. El tamaño depende de la distancia de las cuchillas del rotor hacia las cuchillas estáticas y de la velocidad de rotación (200 – 800 rpm). La eficiencia dependerá del mantenimiento. [25]



Figura N°3. 4: Molino de Cuchillas.

Fuente: [25]

Máquinas Trituradoras:

Molinos como las trituradoras guardan una relación, la diferencia radica en el tamaño de los materiales a procesar y la cantidad de fuerza que se necesita ejercer, influyen en el tamaño y robustez de la máquina. Se utilizan para ruptura de materiales duros; compresión lenta, cizallamiento, impacto. [25]

a) Máquinas Trituradoras de martillos:

Es similar al molino de martillos con una variante en el diseño, los martillos no pivotean en el eje porta martillos lo que le proporciona una mayor fuerza al impacto en la periferia de la cámara de trituración. La figura 3.5, la máquina se utiliza tanto para seco y húmedo: materiales duros y frágiles, metalúrgica, construcción de carreteras, energía térmica. [25]

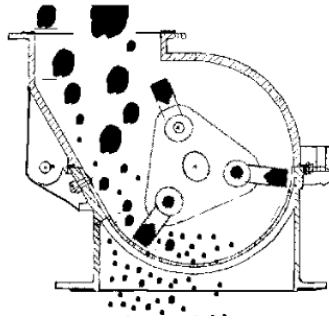


Figura N°3. 5: Trituradora de martillos.

Fuente: [25]

b) Máquina trituradora de cuchillas

Su funcionamiento es similar al molino de cuchillas, el número de discos que contienen a las cuchillas es variable de 1 a 20 dependiendo de la aplicación. Los discos presentan diferentes configuraciones tanto circulares como triangulares. Generalmente se ubican 2 o 3 cuchillas en la periferia de los discos se muestra en la figura 3.6. [25]



Figura N°3. 6: Trituradora de cuchillas.

Fuente: [25]

c) Máquina trituradora de eje vertical

La máquina herramienta poseen cuchillas fijas y móviles, movimiento de 1500 a 1800 rpm, será continuo sin cambio de velocidad, son 3 cuchillas fijas y 2 cuchillas móviles, se

podrá trabajar a cualquier capacidad (alta, media y baja), para el triturado de plástico de baja densidad (PEBD), la altura de cuchillas fijas y móviles. En la figura 3.7. [25]



Figura N°3. 7: Trituradora de cuchillas.

Fuente: [25]

Recomendación de corte y velocidades para el polietileno:

El estudio realizado en la de posgrado; en la Universidad Politécnica Nacional con el tema: “Efecto del tamaño de partícula en la fabricación de pellet y película de baja densidad (PEBD) reciclado, así como sus propiedades reológicas y mecánicas” recomendó una velocidad de 1750 para el polietileno de baja densidad, el documento fue elaborada por Ing. Juan Reséndiz Muñoz realizada en Quito en el 2007. En la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito en el año 2013, Carrera de Ingeniería Mecánica, realizado por; Cumbajin Arguero Bayron Rolando y Vásquez Lema Marco se realizó el estudio;” Diseño y construcción de una maquina peletizadora de polietileno de baja densidad PEBD de 25 Kg/h” un tamaño de pellets de 3 mm. [25]

En las siguientes tablas se explicará los beneficios y desventajas de cada una de las máquinas que se describió: con una breve calificación (0=malo, 1=regular, 2=bueno, 3=excelente) para cual será la mejor elección de máquinas, dando puntuaciones en parámetros como: cámara de corte, revoluciones, seguridad, proceso de corte, volumen de trabajo, costos y mantenimiento, se sumarán y se seleccionará la de cifra superior.

Tabla N° 3. 1: Tabla de ponderación

Modelo	Característica
Cortadora Rotativa	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara de corte cilíndrica larga. • Todas las cuchillas tiene el mismo ángulo de corte. • Las revoluciones son altas • Son más utilizadas para el área agrícola.
Molino de martillos	<ul style="list-style-type: none"> • La cámara de corte es compacta. • El corte es por medio del impacto de martillos. • Los ejes son rotativos. • El tamaño dependerá de la velocidad de revoluciones.
Molino de discos	<ul style="list-style-type: none"> • Altas velocidades. • La cámara de corte es compacta. • Doble disco de corte.
Molino de cuchillas	<ul style="list-style-type: none"> • Revoluciones altas y bajas. • Doble efecto de corte y triturado. • Cámara de corte compacta.
Trituradora de martillos	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara de corte cilíndrica larga. • Todas las cuchillas tiene el mismo ángulo de corte. • Las revoluciones son altas • Son más utilizadas para trabajo en húmedo y seco.
Trituradora de discos	<ul style="list-style-type: none"> • Altas velocidades. • La cámara de corte es compacta. • Doble disco de corte. • Alto costo de mantenimiento.
Trituradora de cuchillas	<ul style="list-style-type: none"> • Revoluciones altas y bajas. • Doble efecto de corte y triturado. • Poco uso para el corte en materiales duros.
Trituradora de cuchillas eje vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento en revoluciones alta, medias y bajas. • Puede tener un regulador de entrada de material continuo. • Rango de cuchillas amplias y movibles. • Cámara de corte amplia con facilidad de mantenimiento.

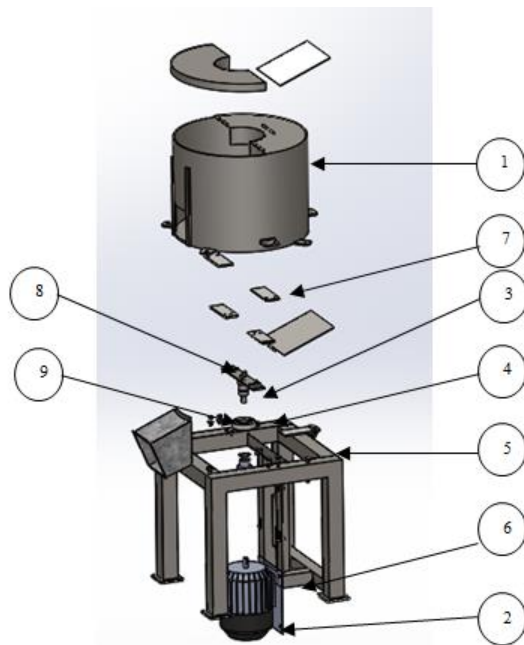
Tabla N° 3. 2: Valor de ponderaciones

Máquina/ característica	Cámara de corte	Revoluciones	Seguridad	Proceso de corte	Volumen de trabajo	Costos	Mantenimientos	Suma teórica
Cortadora Rotativa	2	2	2	3	2	1	2	14
Molino de martillos	2	3	2	3	2	1	2	15
Molino de discos	3	2	2	2	2	1	2	14
Molino de cuchillas	2	3	2	1	3	1	2	14
Trituradora de martillos	2	3	2	3	2	1	2	15
Trituradora de discos	3	2	2	2	2	1	2	14
Trituradora de cuchillas	2	3	2	1	3	1	2	14
Trituradora de cuchillas eje vertical	3	3	2	3	2	1	3	17
0 = malo 1 = regular 2 = bueno 3 = excelente	19	21	16	18	18	8	17	117

Fuente: Autor

3.2 Cálculos

Para el diseño de la máquina trituradora de plástico se realizó primero un prototipo en un programa CAD con la finalidad de ir manipulando componentes y alternativas de diseño, el prototipo se muestra en la figura 2.1 el mismo que posteriormente fue modificado de acuerdo a los cálculos que se desarrollaran a continuación.



Listado de componentes de la trituradora

- 1.- Cilindro.
- 2.- Motor.
- 3.- Eje.
- 4.- Rodamiento.
- 5.- Estructura bancada.
- 6.- Base del motor.
- 7.- Cuchillas.
- 8.- Porta cuchillas.
- 9.- Pernos.

Figura N°3. 8: Trituradora de cuchillas.

Fuente: autor

Diseño del Cilindro

El cilindro se diseña para la capacidad a ser triturada que es de 2.5 kg, tentativamente por condiciones de capacidad y de espacio se elige un diámetro de 400 mm, a continuación se realiza el cálculo de la altura del cilindro. Al ser un cilindro que no se encuentra sometido a presión interna y externa se elige una chapa de 4 mm por disponibilidad del material posteriormente se comprueba el espesor seleccionado.

Solución:

Se realiza el cálculo de volumen mediante fórmula geométrica (1) y la fórmula que relaciona la masa y el peso (2).

$$V = Ab \times h \quad (1)$$

$$V = m/\rho \quad (2)$$

$$Ab = \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \quad (3)$$

Dónde:

- $Ab = \text{Área de la base}$
- $h = \text{Altura}$
- $m = \text{Peso de material a triturarse} = 2,5 \text{ kg}$
- $\rho = \text{Densidad} = 0,93 \text{ gr/cm}^3$
- $Di = \text{Diámetro interno} = 396 \text{ mm}$

Igualando la ecuación 1 y 2

$$w/\rho = Ab \times h$$

$$h = \frac{w}{Ab \times \rho} \quad (4)$$

Reemplazamos la ecuación 3 en la 4

$$h = \frac{w}{\frac{\pi D^2}{4} \times \rho}$$

$$h = \frac{2,5 \text{ kg}}{\frac{\pi (39,6 \text{ cm})^2}{4} \times \frac{0,93 \text{ gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}}}$$

$$h = 21,834 \text{ cm aproximamos}$$

$$\mathbf{h = 22 \text{ cm}}$$

Selección del Motor

Para la selección del motor se considera la fuerza necesaria que necesita la cuchilla para cortar y posteriormente triturar el polietileno de baja densidad, existiendo un esfuerzo por cizallamiento entre las dos cuchillas (fija y móvil).

En la figura se puede observar el sistema de cuchillas y la distancia que existe entre las dos (línea roja = 4 mm) y la longitud útil de la cuchilla que es de 4 cm, considerándose a su vez una resistencia última de ruptura del polietileno de 25 MPa expresado en la Tabla 3.2.

- Longitud útil de cuchillas = 30 mm
- Espesor entre cuchillas = 4 mm
- Resistencia última a la ruptura del polietileno de baja densidad = 25 Mpa. Tabla 2.3

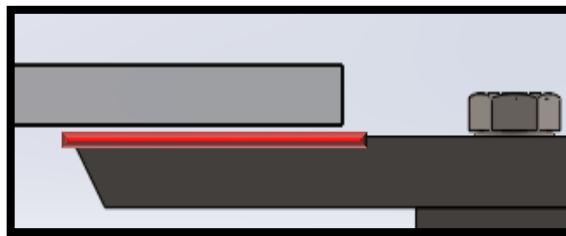


Figura N°3. 9: Esquema de cuchillas

Fuente: Autor

Solución:

Se utiliza la fórmula de esfuerzo por corte el que nos dice que es igual a la fuerza sobre el área de cizallamiento, teniéndose:

$$S_{ut} = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $S_{ut} = Resistencia\ última\ a\ la\ ruptura\ del\ polietileno = 25\ MPa.$ Tabla 2.3
- $A = Área$
- $F = Fuerza\ tangencial$

$$A = 30 \times 4mm = 120\ mm^2$$

$$A = 12.1 \times 10^{-5}\ m^2$$

$$F = S_{ut} * A$$

$$F = 12.1 \times 10^{-5}\ m^2 \times 25\ Mpa$$

$$F = 3000\ N$$

Potencia De Motor

$$H = \frac{2 \times \pi \times n \times M}{60}$$

$$M = Ix\alpha$$

Dónde;

- $H = Potencia\ de\ motor$
- $M = Momento\ torsor$

- $I = \text{Inercia necesaria para producir movimiento}$
- $\alpha = \text{Aceleracion angular}$

Solución;

Considerando que el motor va a girar a 1720 rpm, y va a tener una relación de transmisión de 1:1, y el tiempo necesario para que exista movimiento se considera de 2 segundos.

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = \frac{180,112 \text{ rad/s}}{2\text{s}}$$

$$\alpha = 90,05 \text{ rad/s}^2$$

$$M = I\alpha$$

Para el cálculo de la inercia se toma en cuenta de las cuchillas y de la carga de polietileno.

Inercia de las cuchillas

$$I_{\text{cuchillas}} = \frac{m}{12}(l^2 + b^2)$$

Dónde;

- $m = \text{Masa del brazo y porta cuchilla}$
- $l = \text{Largo}$
- $b = \text{Ancho}$

$$I_{cuchillas} = 2x \frac{0,9}{12} (0,08^2 + 0,04^2)$$

$$I_{cuchillas} = 1,2x10^{-3} \text{ Kg. m}^2$$

Inercia de la carga

$$I_{carga} = \frac{md^2}{8}$$

Dónde;

- $m = \text{Masa del brazo y porta cuchilla}$
- $d = \text{Diámetro}$

$$I_{carga} = \frac{2,5x0,4^2}{8}$$

$$I_{carga} = 0,05 \text{ Kg. m}^2$$

La inercia total para producir el movimiento sacamos sumando las anteriormente calculadas.

$$I_{total} = I_{cuchillas} + I_{carga}$$

$$I_{total} = 0,0512 \text{ Kg. m}^2$$

Para el cálculo del momento torsor se aplica la fórmula con la aceleración angular calculada anteriormente

$$M = Ix\alpha$$

$$M = 0,0512 \text{ Kg. m}^2 \times 90,05 \text{ rad/s}^2$$

$$M = 4,61 \text{ Nm}$$

Reemplazando en la fórmula de la potencia tenemos;

$$H = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60}$$

$$H = \frac{2 \times \pi \times 1720 \text{ rpm} \times 4,61 \text{ Nm}}{60}$$

$$H = 830,44 \text{ W}$$

$$H = H_d = 830,44 \text{ W}$$

$$H_n = \frac{H_d}{n} = \frac{830,44 \text{ W}}{0,7}$$

$$\mathbf{H_n = 1186,34W = 1,6 HP}$$

Tomando un $n = 0,7$ que es un factor de corrección para motor tres-trifásico eléctrico. Seleccionándose un motor de 2 HP con 1720 rpm, a partir de aquí se seleccionan los demás elementos con la potencia de 2 HP.

El efecto de la altura en la eficiencia del motor eléctrico, incide directamente en la altura de la instalación, y la temperatura siendo necesaria una potencia extra en ventilación de este.

- A mayor altura menor presión.
- Disminución de la densidad del aire.

Movimiento Primario (Entrada Transmisión)	Características de la Maquinaria			
	Duración del servicio	Carga Uniforme	Mediana mente Impulsiva	Altamente Impulsiva
	Horas / día			
<u>Motor Hidráulico, Eléctrico, Neumático, Turbinas de Vapor (Entrada Uniforme)</u>	Intermitente 3 horas/día máx.	0.90	1.00	1.50
	<u>3 - 10</u>	1.00	<u>1.25</u>	1.75
	más de 10	1.25	1.50	2.00
Motor de Combustión de varios Cilindros (Medianamente Impulsivo)	Intermitente 3 horas/día máx.	1.00	1.25	1.75
	3 - 10	1.25	1.50	2.00
	más de 10	1.50	1.75	2.25
Motor de Combustión de un solo Cilindro (Altamente Impulsivo)	Intermitente 3 horas/día máx.	1.25	1.50	2.00
	3 - 10	1.50	1.75	2.25
	más de 10	1.75	2.00	2.50

Figura N°3. 10: Factores de servicio

Fuente: [5]

Ha sido costumbre el aplicar factores de servicio de la potencia de los motores instalados en altura, considerando el factor de servicio (FD). Generalmente tiene los valores de 1.1 o de 1.75, seleccionándose 1,25.

$$Hn = 1,6 HP \times 1,25$$

$$Hn = 2 HP$$

Comprobándose lo mencionado anteriormente y seleccionándose el motor de la potencia mencionada.

Diseño Del Eje

Para el diseño del eje se tiene la longitud de 28 cm cual depende de la configuración de la máquina, así mismo la distancia a la que se encontrará el rodamiento. Como se muestra en siguiente esquema:

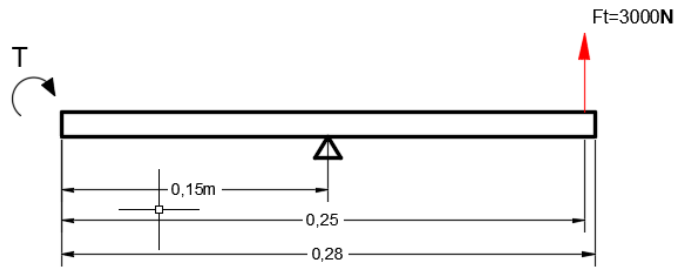


Figura N°3. 11: Diagrama de eje

Fuente: Autor

Se debe considerar que se crea un momento torsor (4,6 Nm), el mismo que es el que se origina debido al motor habiéndose calculado anteriormente, y que la fuerza que actúa sobre el eje es la necesaria para realizar el corte del polietileno. La reacción se origina debido a que ahí se encuentra alojado el rodamiento.

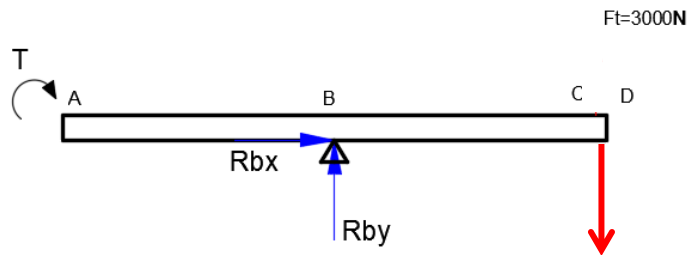


Figura N°3. 12: Esquema de eje

Fuente: Autor

$$\sum Fy = 0$$

$$F - Rby = 0$$

$$Rby = 3000 \text{ N}$$

Encontrada la reacción que corresponde a la que se origina en la articulación es decir en el rodamiento procedemos a graficar los diagramas de fuerza cortante y de momento flector. Como se en la figura 3.13 y 3.14 muestra a continuación:

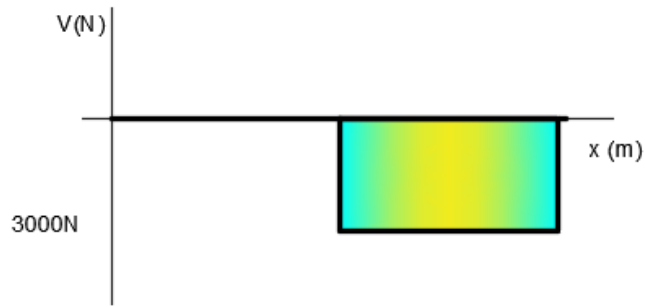


Figura N°3. 13: Diagrama fuerza cortante de eje

Fuente: Autor

Graficado el diagrama de fuerza cortante se procede a graficar el diagrama de momento flector mediante el procedimiento de áreas.

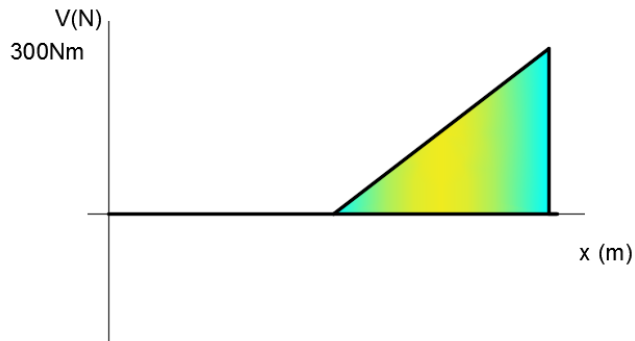


Figura N°3. 14: Diagrama momento flector de eje

Fuente: Autor

Se observa que el momento crítico se encuentra en C siendo este 300 Nm.

En el eje de transmisión se tiene esfuerzos combinados ocasionados por la flexión y la torsión, se usa la fórmula de esfuerzos combinados:

$$\sigma = \tau_{\text{torsión}} + \tau_{\text{flexión}}$$

$$\sigma = \frac{16T}{\pi.d^3} + \frac{32 x M}{\pi.d^3}$$

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

Dónde;

- $\sigma =$ Esfuerzo combinado
- $T =$ Torque transmitido por el motor
- $M =$ Momento flector crítico
- $d =$ Diámetro
- $n =$ Factor de seguridad = 2
- $S_y =$ Resistencia a la tracción de Acero AISI 1018 = 220 MPa. Anexo 15

$$\frac{S_y}{n} = \frac{16T}{\pi \cdot d^3} + \frac{32 \times M}{\pi \cdot d^3}$$

$$\frac{220 \times 10^6 \text{ Pa}}{2} = \frac{16 \times 4,6 \text{ Nm}}{\pi \cdot d^3} + \frac{32 \times 300 \text{ N}}{\pi \cdot d^3}$$

$$d = 0,02354 \text{ m} = 23,54 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d = 23,54 \approx 1'' = d = 25,4 \text{ mm}}$$

Diseño a fatiga

Para el diseño a fatiga se procede a encontrar los factores que determinan la vida útil del elemento a diseñar.

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

Dónde:

$S_e =$ Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánica.

$S_e' =$ Límite de resistencia a la fatiga de la muestra de la viga rotatoria.

$k_a =$ Factor de superficie.

$k_b =$ Factor de tamaño.

$k_c =$ Factor de confiabilidad.

$k_d =$ Factor de temperatura.

$k_e =$ Factor de modificación por concentración de esfuerzos.

$k_f =$ Factor de efectos diversos.

Límite de resistencia a la fatiga de viga rotatoria

El límite de resistencia se determina mediante los siguientes intervalos:

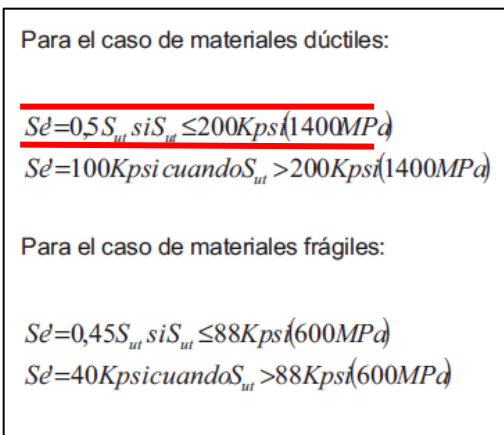


Figura N°3. 15: Límites de resistencia

Fuente: [13]

Como se selecciona un acero AISI 1018 la resistencia de este es 341 MPa. Teniéndose;

$$S_e' = 0,5 S_y$$

$$S_e' = 0,5 (220 \times 10^6) \text{ Pa}$$

$$S_e' = 110 \text{ MPa}$$

Factor de superficie (k_a)

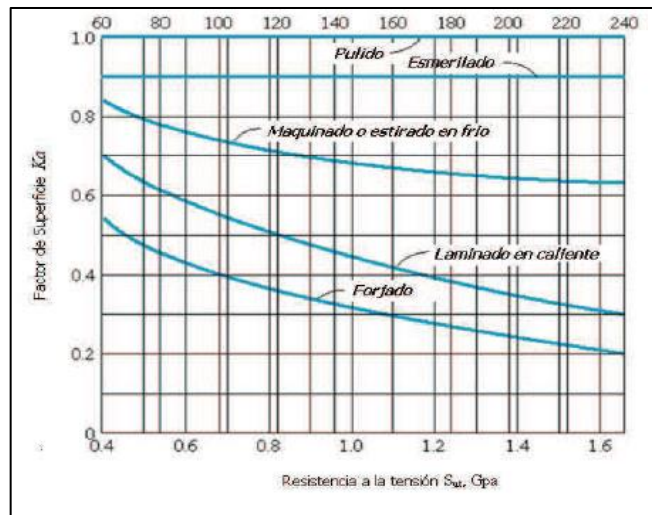


Figura N°3. 16: Factor de superficie

Fuente: [13]

El componente a ser maquinado con una resistencia de 0,220 GPa, se tiene un:

$$k_a = 0,9$$

Factor de tamaño (k_b)

Para elegir el factor de tamaño se lo hace dentro de las siguientes condiciones:

$$k_b = 0.869 \cdot d^{-0.097} \text{ si } 0.3'' < d < 10''$$

$$k_b = 1 \text{ si } d \leq 0.3''$$

$$k_b = 1.189 \cdot d^{-0.097} \text{ si } 8\text{mm} < d < 250\text{mm}$$

Figura N°3. 17: Factor de tamaño

Fuente: [13]

Se tenía un diámetro de 25 mm

$$k_b = 1,189 (25)^{-0,097}$$

$$k_b = 0,87$$

Factor de confiabilidad (kc)

Se elige de acuerdo a la siguiente tabla:

Confiabilidad	Variable estandarizada Z_T	Factor de Confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.999 9	3.719	0.702
0.999 99	4.265	0.659
0.999 999	4.753	0.620
0.999 999 9	5.199	0.584
0.999 999 99	5.612	0.551
0.999 999 999	5.997	0.520

Figura N°3. 18: Factor de confiabilidad

Fuente: [13]

Para una confiabilidad del 0,9 se tiene:

$$k_c = 0,879$$

Factor de temperatura (kd)

Se determina de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$k_d=1$ si $T \leq 450^\circ\text{C}$ (840°F)
$k_d=1-(5,8 \times 10^{-3}) \times (T-450)$ si $450^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C}$
$k_d=1-(3,2 \times 10^{-3}) \times (T-840)$ si $840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F}$

Figura N°3. 19: Factor de temperatura

Fuente: [13]

Como la temperatura de servicio es menor a 450 °C, se tiene:

$$k_d = 1$$

Factor de concentración de esfuerzos (Ke)

Se usa la siguiente expresión:

$k_e = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q(k_f - 1)}$	Cuando el esfuerzo es flexor
$k_{es} = \frac{1}{k_{fs}} = \frac{1}{1 + q_s(k_{fs} - 1)}$	Cuando el esfuerzo es torsor

Figura N°3. 20: Factor de concentración de esfuerzos

Fuente: [13]

El eje está sometido a torsión por el torque que produce el motor, eligiéndose la siguiente imagen para determinar los parámetros de las ecuaciones anteriores:

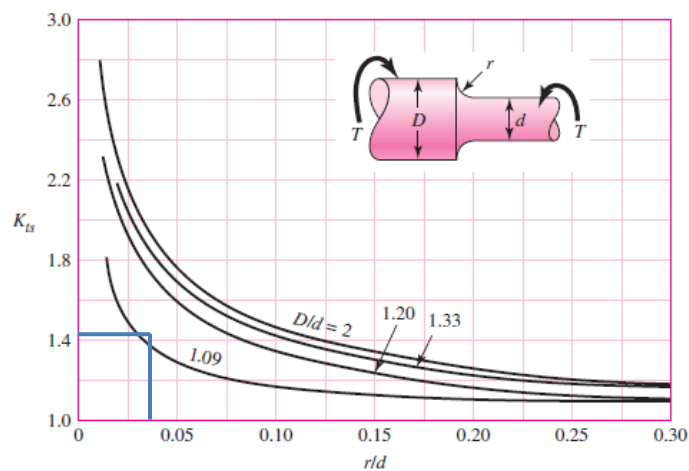


Figura N°3. 21: Factor de concentración de esfuerzos

Fuente: [13]

Se tiene que $D/d=1,08$, debido a que $D=25$ mm y $d=23$ mm, y un $r=0,6$ mm.

$$k_e = 1,4$$

Factor de esfuerzos diferentes (kf)

Se considera siempre la excepción de engranajes.

$$k_f = 1$$

Por lo tanto;

$$S_e = 0,9 * 0,87 * 0,879 * 0,1 * 1,4 * 1 * S_e'$$

$$S_e = 0,9635 * S_e'$$

$$S_e = 0,9635 * 110 \text{ MPa}$$

$$S_e = 105,98 \text{ MPa}$$

Determinamos σ_a y σ_m ;

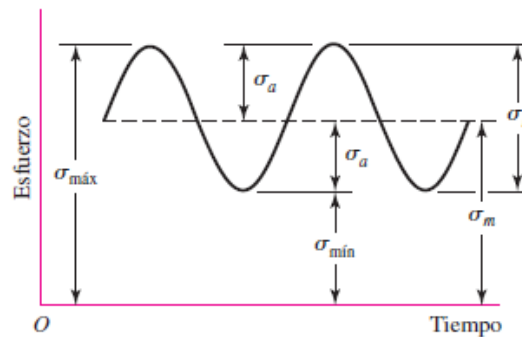


Figura N°3. 22: Esfuerzos

Fuente: [13]

Se tiene como esfuerzo máximo a 380 MPa y como esfuerzo mínimo 210 MPa teniéndose;

$$\sigma_a = 85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 295 \text{ MPa}$$

Aplicando la teoría de Goodman-modificado, Se tiene:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{85}{105,98} + \frac{295}{220} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1,9$$

Como el factor de seguridad es mayor a uno se opta por el eje seleccionado de material AISI 1018 y de diámetro de 25 mm.

Verificando el diseño del eje, debido a que se tiene un factor de seguridad mínimo de 1.5, el que fue el mismo con el que se diseña.

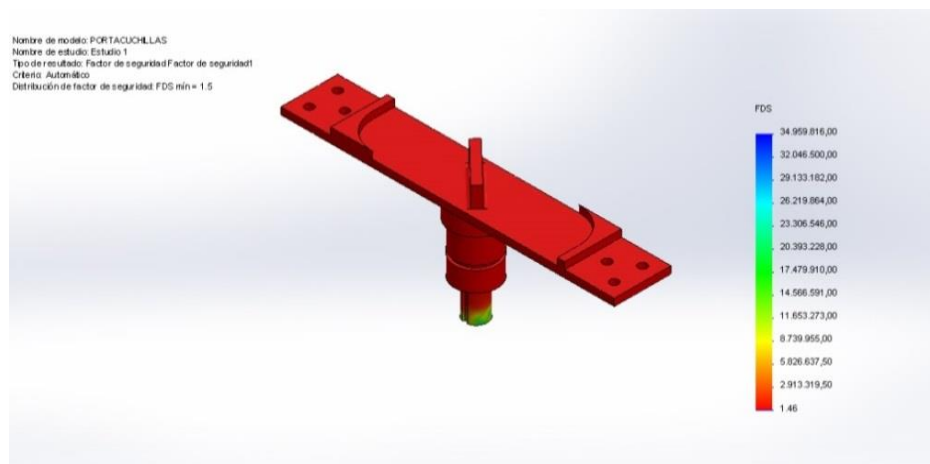


Figura N°3. 23: Simulación eje - Factor de seguridad.

Fuente: Autor

Selección Del Rodamiento

Con los parámetros determinados de fuerzas soportadas por eje (reacción principal de 3000 N), se puede determinar los rodamientos apropiados para soportar las cargas:

$$d_{interno} = 25,0 \text{ mm}$$

$$H_{nom} = 2 \text{ Hp}$$

$$n_2 = 1720 \text{ rpm}$$

$$fl = 3,5 \text{ (Figura 3.24)}$$

$$F_r = R_A = 3000 \text{ N}$$

Lugar de aplicación	Valor f_l que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
Máquinas para trabajar la madera		
Husillos de tupis y ejes portacuchillas	3 ... 4	Fuerzas de corte y de accionamiento; velocidad nominal
Rodamiento principal de sierras de bastidor	3,5 ... 4	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Rodamiento de la biela de sierras de bastidor	2,5 ... 3	Fuerzas máxicas; velocidad nominal
Sierras circulares	2 ... 3	Fuerza de corte y accionamiento; velocidad nominal

Figura N°3. 24: Factor f_l

Fuente: [13]

Cálculo del índice de carga estática básica C_o

$$C_o = f_s * P_o$$

$$P_o = R_A = 3000 \text{ N} \text{ Carga equivalente estática}$$

$$f_s = 1 \text{ Anexo 2.}$$

$$C_o = f_s * P_o$$

$$C_o = (1)(3000 \text{ N})$$

$$C_o = 3000 \text{ N}$$

Cálculo de la capacidad básica dinámica C

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}}$$

$p = 3$ (rodamiento de bolas)

De acuerdo al Anexo 3 se toma un $L_{10h} = 25000$ horas

n = velocidad angular (rpm)

$a_1 = 1$ Con una fiabilidad del 90%. Anexo 4

Para hallar el factor a_{23} , primero se halla a_{23II}

Se asume los valores de viscosidad $k=1$ y factor básico $K=0$ tendrá una limpieza normal

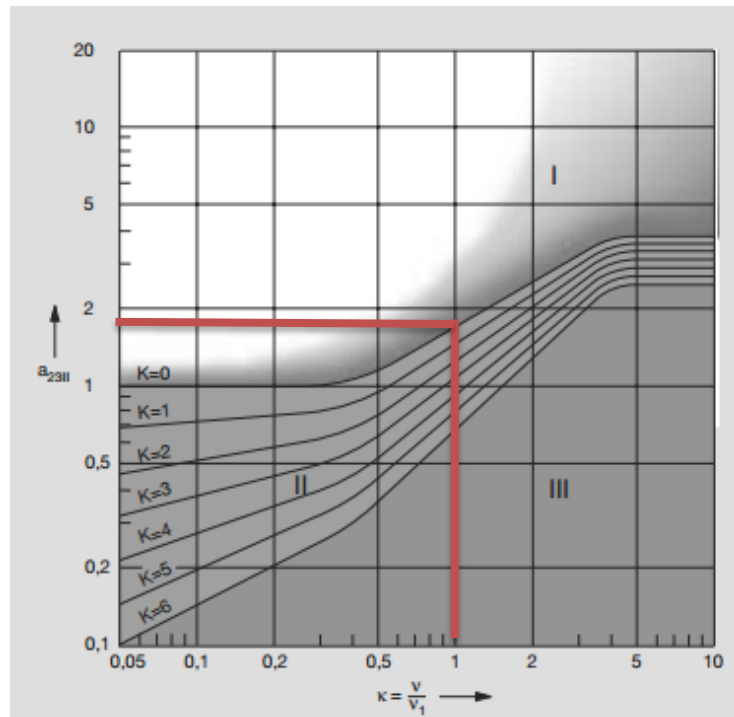


Figura N°3. 25: Factor para vida amplia.

Fuente: [13]

Se lee $a_{23 II} = 1.7$ valor básico.

a_{23} = factor combinado para material y lubricación

$$a_{23} = a_{23 II} * s$$

$s = 1$ Factor de limpieza. Según catálogo de la FAG tendrá un valor de 1 para una limpieza normal. Es decir que $a_{23} = a_{23 II}$ [29] Pag. 46

$$a_{23} = 1.7 * 1$$

$$a_{23} = 1.7$$

$$C = P * \sqrt[3]{\frac{L_{h10} * n_3 * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}}$$

$$C = (3000 \text{ N}) * \sqrt[3]{\frac{25000 \text{ horas} * 1720 \text{ rpm} * 60}{1000000 * 1 * 1.7}}$$

$$C = 34475,56 \text{ N}$$

Con estos valores de $C_o = 3 \text{ KN}$ y $C = 34,48 \text{ KN}$, basado en el catálogo de la FAG, se selecciona el **Rodamiento rígido de bolas 6405**. Anexo 5 (página 158. Catálogo de FAG).

$$dr = 25 \text{ mm}$$

$$Dr = 80 \text{ mm}$$

$$C_o = 19,3 \text{ KN}$$

$$C = 36 \text{ KN}$$

Las características del rodamiento son mayores, las cuales estarán sometidos, por lo que es aceptado, al brindar un factor de seguridad superior a 1.

Recalculamos a_{23II}

Con los datos expresados anteriormente del rodamiento se calcula el diámetro medio:

$$D_m = \frac{80 \text{ mm} + 25 \text{ mm}}{2}$$

$$D_m = 52,5 \text{ mm}$$

Con el valor calculado anteriormente, se ingresa a la siguiente tabla con 1720 rpm.

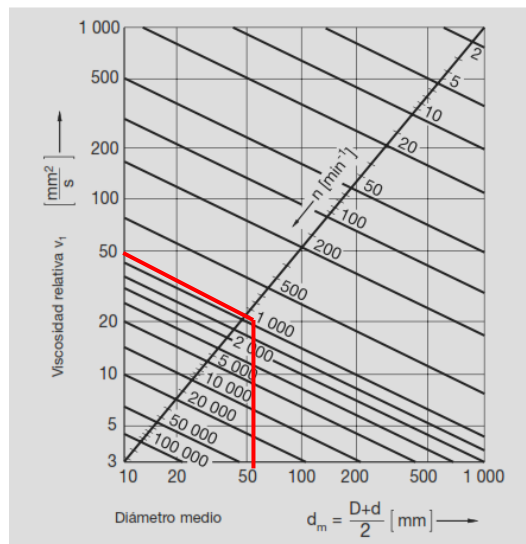


Figura N°3. 26: Viscosidad relativa

Fuente: [13]

Al interpolar la gráfica se obtiene un valor de viscosidad relativa de $51 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Para la selección de temperatura de servicio se toma una temperatura promedio ambiental de $18 \text{ }^\circ\text{C}$, con un incremento de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ debido a la interacción de las cuchillas con el plástico. (Cálculo que se lo realizará a continuación). Se seleccionó el ISOVG150.

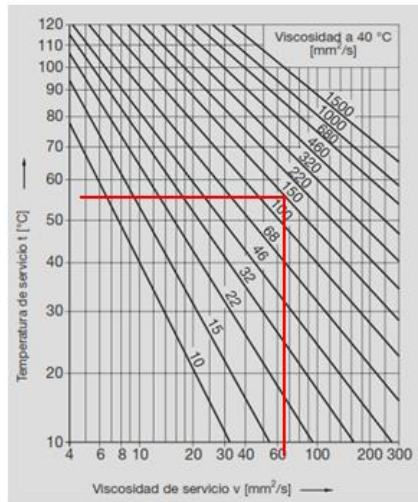


Figura N°3. 27: Viscosidad de servicio

Fuente: [13]

Se determina una viscosidad de servicio de $51 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Con los valores de viscosidad determinadas anteriormente se encuentra la relación de viscosidad k:

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = \frac{51}{51}$$

$$k = 1$$

Con el valor de k se ingresa al siguiente gráfico y se determina el verdadero valor de a_{23} .

Para rodamiento de bolas se elige un $K=0$

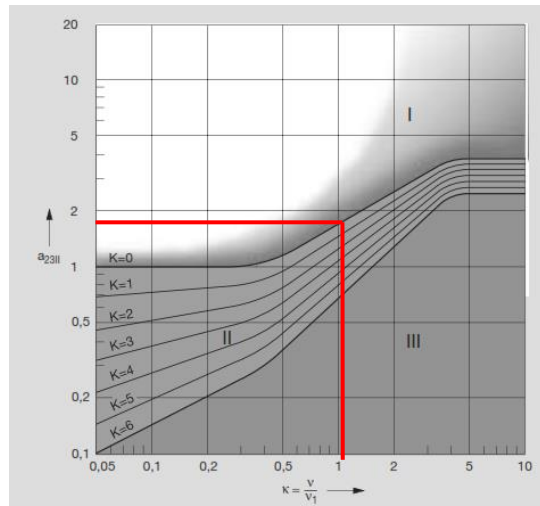


Figura N°3. 28: Viscosidad relativa

Fuente: [13]

Resulta un $\alpha_{23} = 1,7$. Optándose por los cálculos realizados anteriormente.

A su vez se comprueba con el factor fl que se seleccionó de 3,5 en la siguiente figura a ver si cumple con las 25 000 horas para diseño que se hizo.

▼ Valores f_L para rodamientos de bolas

L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L	L_n	f_L	$f_L = \sqrt{\frac{L_n}{500}}$
h		h		h		h		h		
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83	
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91	
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4	
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08	
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16	
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24	
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31	
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38	
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45	
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51	
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58	
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64	
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79	
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93	
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07	
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19	
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31	
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43	
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54	
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65	
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85	

Figura N°3. 29: Horas de vida

Fuente: [13]

Al darnos 24500 horas de vida se verifica el diseño y se selecciona el rodamiento manifestado.

Diseño de la Estructura

Para el diseño de la estructura se lo realiza de manera de viga y columna. Para el diseño de la viga se toma el peso total del cilindro, tapa, cuchilla, porta cuchillas, eje, pernos y material a ser triturado.

Tabla N° 3. 3: Peso de componentes

Componente	Volumen (x 10 ⁻³) m ³
Eje	1,374
Cuchillas	0,000128
Porta cuchillas	0,125
Cilindro	0,550
Tapa	0,1811
Pernos	0,212
TOTAL	2,481

Tomando en consideración que la densidad promedio de todos los componentes sea 7850 kg/m^3 . Aplicando la ecuación:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

$$m = 2,481 \times 10^{-3} m^3 \times 7850 \text{ Kg}/m^3$$

$$m = 19,47 \text{ kg}$$

$$m_t = 19,47 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg}$$

$$\mathbf{m_t = 21, 97 \text{ kg}}$$

La fuerza total que se aplica sobre la viga se lo considera una carga distribuida de la masa de los componentes y de la materia prima. El largo de la estructura es de 0,9 m, teniéndose una carga distribuida de 239,22 N/m^2 . Se considera una viga doblemente empotrada

puesto que los extremos están soldados, siendo una viga hiperestática, para facilidad de diseño se considera una carga puntual de 215,53 N.

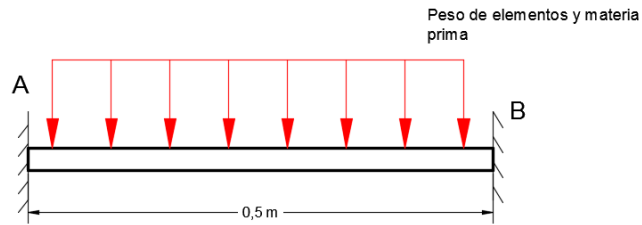


Figura N°3. 30: Diagrama de viga de estructura

Fuente: Autor

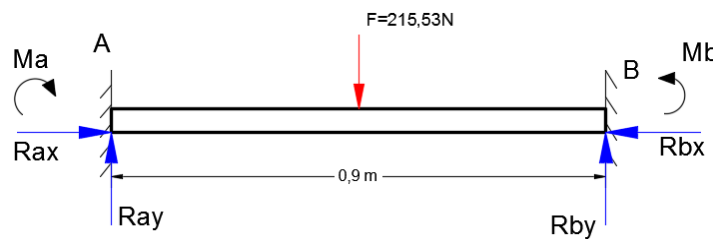


Figura N°3. 31: Diagrama de cuerpo libre de viga de estructura

Fuente: Autor

$$\sum F_y = 0$$

Por simetría

$$R_{ay} = R_{by}$$

$$R_{ay} + R_{by} = F$$

$$2R_{ay} = 215,53 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 107,76 \text{ N}$$

$$R_{by} = 107,76 \text{ N}$$

Para el cálculo de los momentos en A y B, se utiliza el método de superposición usando tablas y fórmulas que se muestran en los anexos.

A la viga se divide en los tres gráficos mostrados.

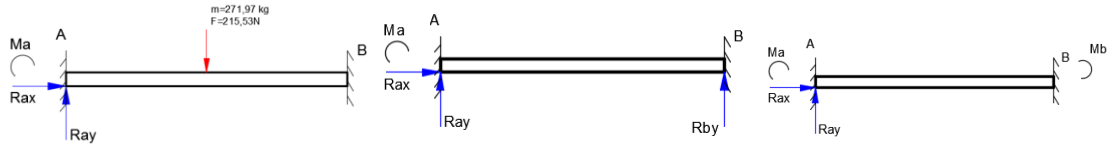


Figura N°3. 32: Diagrama de superposición de viga

Fuente: Autor

$$\theta_1 = \frac{PL^2}{16EI}$$

$$\theta_2 = \frac{PL^2}{2EI}$$

$$\theta_3 = \frac{M_b L}{EI}$$

El sistema original es la suma de las deformaciones angulares mostradas, se menciona que la deformación total angular en A y B es igual a cero por ser una viga empotrada.

$$0 = \frac{PL^2}{16EI} + \frac{PL^2}{2EI} + \frac{M_b L}{EI}$$

Dónde;

- $P =$ Reacción en A
- $L =$ Longitud de vida
- $E =$ Módulo de elasticidad
- $I =$ Inercia

$$M_b = -\frac{9PL^2}{16L}$$

$$M_b = -\frac{9 \times 215,53 \text{ N} \times (0,9 \text{ m})^2}{16 \times 0,9 \text{ m}}$$

$$M_b = -109,11 \text{ Nm}$$

Con estos datos se procede a graficar los diagramas de fuerza cortante.

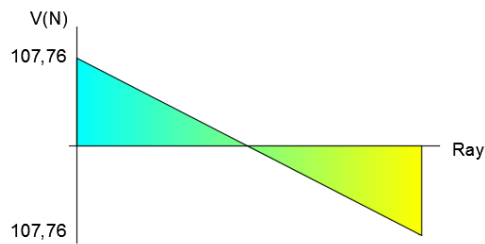


Figura N°3. 33: Diagrama de fuerza cortante-Estructura.

Fuente: Autor

Y de momento flector, considerando que existe un momento en el inicio y final de la viga.

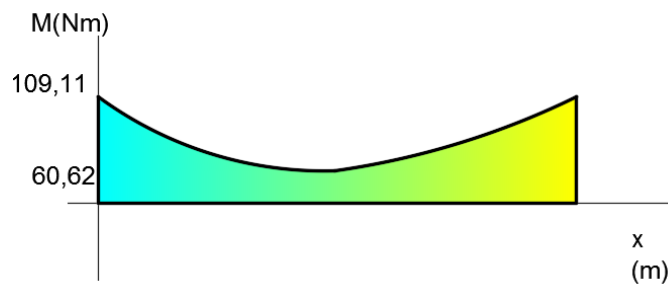


Figura N°3. 34: Diagrama de Momento flector-Estructura.

Fuente: Autor

Al observar la figura se determina que el momento crítico se produce en A y B, con un momento de 60,6 Nm.

$\sigma = \tau_{\text{flexión}}$

$$\sigma = \frac{32 \times M}{S}$$

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

Dónde;

- $\sigma = \text{Esfuerzo combinado}$
- $M = \text{Momento flector crítico}$
- $S = \text{Módulo de sección}$
- $n = \text{Factor de seguridad}$
- $S_y = \text{Resistencia a la tracción de Acero A36} = 260 \text{ MPa}$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{32 \times M}{S}$$

$$\frac{260 \times 10^6 \text{ Pa}}{2,5} = \frac{109,11 \text{ Nm} \times 32}{S}$$

$$S = 1,5 \text{ cm}^3$$

Seleccionándose un tubo cuadrado de 2 mm de espesor por 40 mm de lado, de acuerdo a los catálogos de DIPAC anexo 6.

Con los datos obtenidos, se encuentra el esfuerzo al cual está sometida la estructura para comparar con el resultado, mediante un programa de elementos finitos y así más confiabilidad en los resultados, por tanto:

$$\sigma = \frac{32 \times 109,11 \text{ N}}{\left(\frac{1,5}{100\text{m}}\right)^3}$$

$$\sigma = 1,13 \text{ MPa}$$

Al observar la imagen podemos darnos cuenta que tenemos un error del 9 %, es debido al tipo de malla y teorías seleccionadas en el análisis por elementos finitos. Optándose la respuesta calculada.

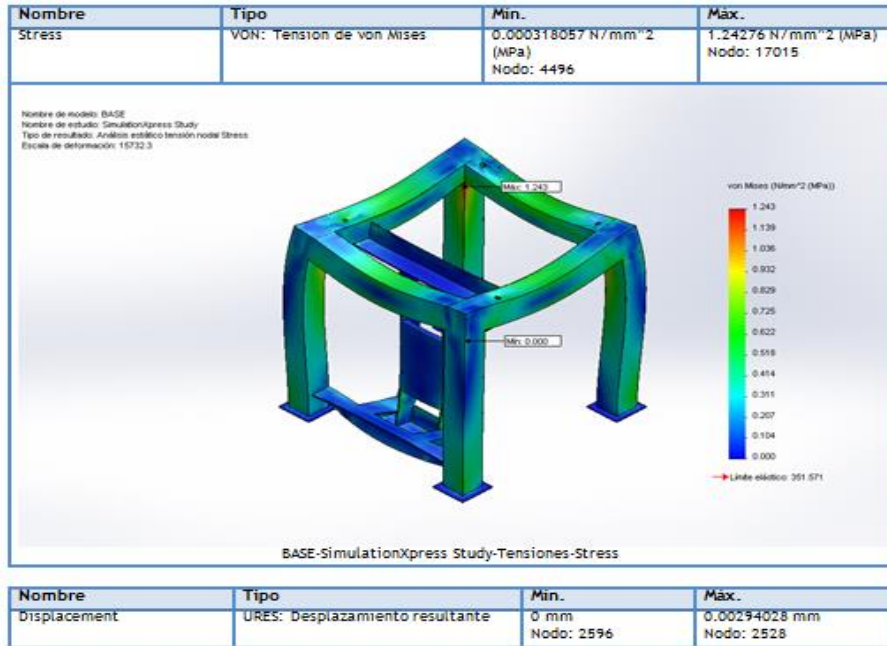


Figura N°3. 35: Simulación de estructura.

Fuente: Autor

Análisis de pandeo

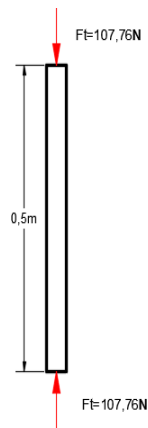


Figura N°3. 36: Columna de estructura.

Fuente: Autor

$$P = 107,76 \text{ N}$$

Datos de tubo cuadrado. Anexo 6

$$I = 6,93 \text{ cm}^4$$

$$A = 2,94 \text{ cm}^2$$

$$k = \sqrt[2]{\frac{I}{A}}$$

$$k = \sqrt[2]{\frac{6,93 \text{ cm}^4}{2,94 \text{ cm}^2}}$$

$$k = 1,53 \text{ cm}$$

$$k = 15,33 \text{ mm}$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{l}{k}$$

$$\frac{l}{k} = \frac{500 \text{ mm}}{15,35 \text{ mm}} = 32,57$$

Constante $C_1 = 4$ Anexo 7

Longitud efectiva $le = \frac{1}{2}l$ Anexo 8

Módulo de elasticidad $E = 207 \text{ GPa}$

$S_y = 250 \text{ MPa}$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \sqrt[2]{\frac{2\pi^2 * C_1 * E}{S_y}}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \sqrt[2]{\frac{2\pi^2 * (4) * (207 * 10^9 \text{ N/m}^2)}{250 * 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = 255.688$$

$$P_{cr} = \frac{A * C_1 * \pi^2 * E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

P_{cr} = Carga crítica

$$P_{cr} = \frac{(2,94 * 10^{-3} \text{ m}^2) * (4) * \pi^2 * (207 * 10^9 \text{ N/m}^2)}{(255.688 \text{ N/m}^2)^2}$$

$$P_{cr} = 0,367 \text{ kN}$$

$$P_d = n * P$$

$$n = 1,25$$

$$P_d = 1,25 * 107,76 \text{ N}$$

$$P_d = \mathbf{134,7 \text{ N}}$$

Como $P_{cr} > P_d$ la columna No falla por pandeo.

Análisis a compresión

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

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{P}{A}$$

$$\frac{250 * 10^6}{1,25} = \frac{107,76 \text{ N}}{A}$$

$$A = 5,38 * 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$A = 0,0538 \text{ cm}^2$$

Siendo menor el área seleccionada por tal se elige el perfil seleccionado para las vigas.

Diseño De La Base Del Motor

La base del motor se encuentra sometida a un esfuerzo cortante provocada por el peso del motor, este esfuerzo se produce entre los pernos y el espesor de los agujeros de la placa base del motor, por lo cual:

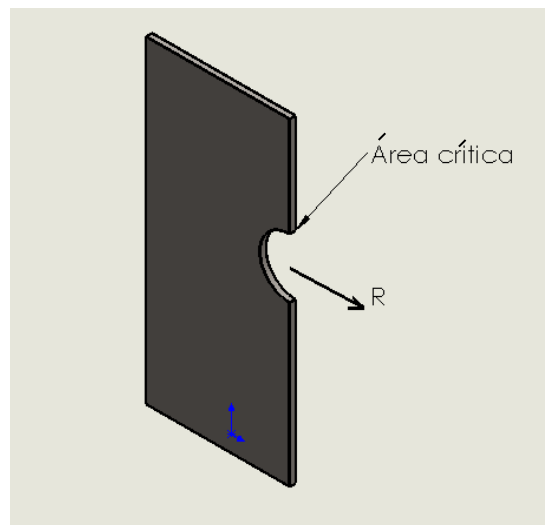


Figura N°3. 37: Base del motor

Fuente: Autor

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\frac{Sy}{n} = \frac{F}{\pi x d x t}$$

$$t = \frac{\frac{F}{4} x n}{\pi x d x s y}$$

Se desea considerar un diámetro de agujero de 6 mm con cuatro pernos que servirán para fijar el motor, la fuerza a considerar es el peso neto del motor y el eje de transmisión del sistema se tiene 19,76 kgf = 193,72 N. Calculando el espesor de la placa mínimo para el esfuerzo cortante tenemos:

$$t = \frac{\frac{193,74}{4} x 1,25}{\pi x 0,006 x 250 x 10^6}$$

$$t = 1,2 \text{ mm}$$

Comprobando mediante un programa de elementos finitos remplazamos el espesor encontrado, en la fórmula de esfuerzo para ver cuál es el esfuerzo máximo que esta soportado la placa de sujeción del motor.

Siendo de;

$$\tau = \frac{193,74 N}{44,21 x 10^{-6}}$$

$$\tau = 4,38 \text{ MPa}$$

Comprobándose los resultados con los cálculos obtenidos mediante el programa de computador, teniéndose un rango de 4,8MPa a 96,5 Pa.

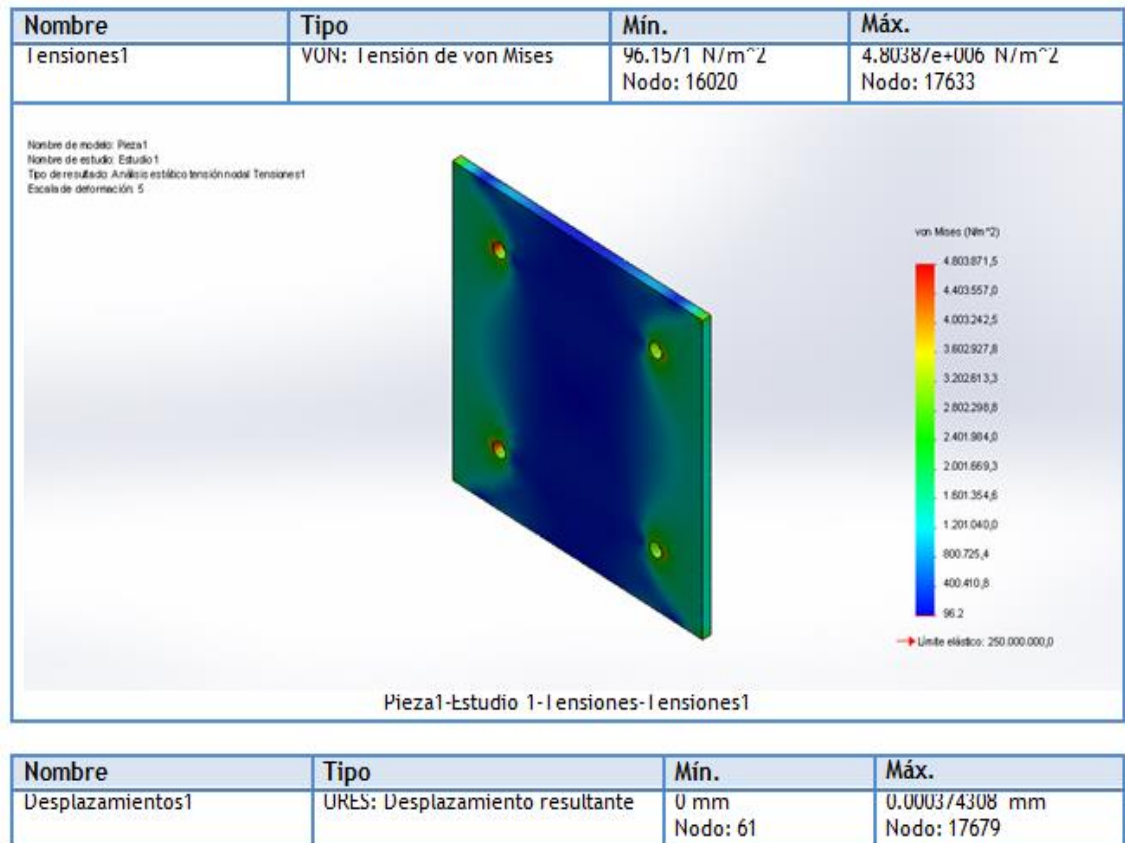


Figura N°3. 38: Simulación de base del motor

Fuente: Autor

Diseño De Chapas De Sujeción De Cilindro

Las chapas de sujeción se encuentran sometidas a un esfuerzo de aplastamiento, para lo cual se determina el área óptima de las mismas:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{Sy}{n}$$

$$\frac{F}{b \times h} = \frac{S_y}{n}$$

$$h = \frac{F \times n}{S_y \times b}$$

$$h = \frac{215,37 \times 1,25}{250 \times 10^6 \times 0,05}$$

$$h = 2,1 \text{ mm}$$

Diseño De Cuchillas

Cálculo fuerzas principales sobre las cuchillas

Anteriormente ya se demostró la fuerza tangencial necesaria para cortar el polietileno de baja densidad siendo de 3000 N, ahora calcularemos las demás fuerzas que están presentes en las cuchillas.

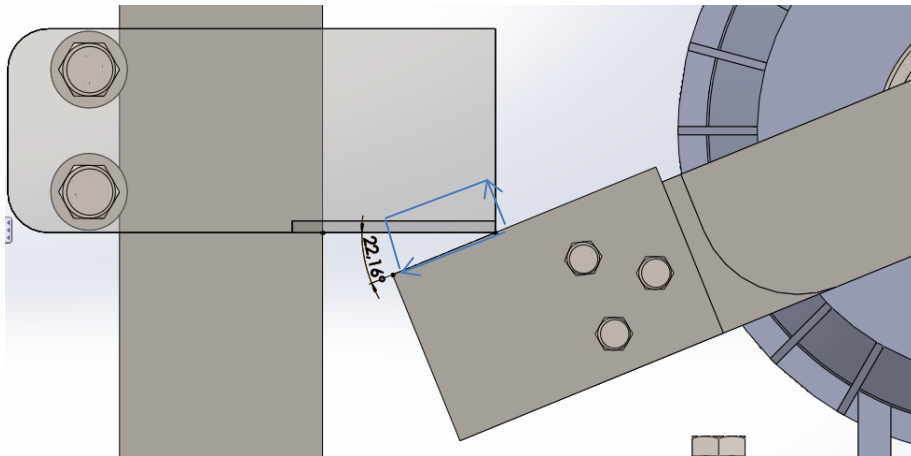


Figura N°3. 39: Esquema de cuchillas.

Fuente: Autor

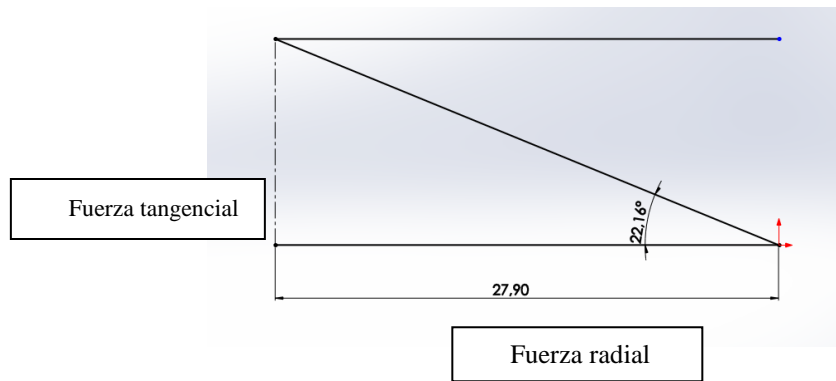


Figura N°3. 40: Fuerza presente en cuchillas.

Fuente: Autor

$$F_t = 3000 \text{ N}$$

$$F_r = F_t \times \tan 22,16$$

Dónde;

- $F_t = \text{Fuerza tangencial}$
- $F_r = \text{Fuerza radial}$
- $F_n = \text{Fuerza normal}$

$$F_r = 3000 \text{ N} \times \tan 22,16$$

$$\mathbf{F_r = 1221,8 \text{ N}}$$

También se puede considerar una fuerza normal, que actúa sobre la cuchilla, que viene a ser el peso del material.

$$F_n = 2,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{F_n = 24,52 \text{ N}}$$

La fuerza resultante que actúa en las cuchillas es:

$$FT = \sqrt{Ft^2 + Fr^2 + Fn^2}$$

$$FT = \sqrt{3000^2 + 1221,8^2 + 24,52^2}$$

$$FT = 3239,4 \text{ N}$$

Las cuchillas van a ser sujetadas mediante unos pernos, teniéndose una articulación tipo rótula con dos reacciones.

$$\sum Fy = 0$$

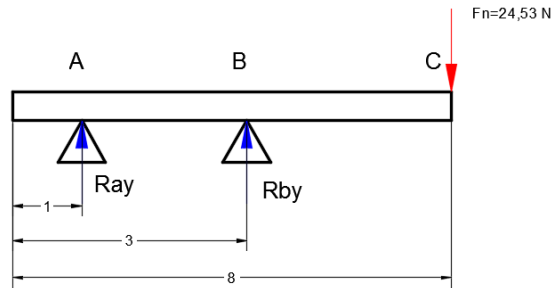


Figura N°3. 41: Diagrama de cuerpo libre de cuchillas.

Fuente: Autor

$$Ra + Rb = Fn$$

$$Ra + Rb = 24,53 \text{ N}$$

$$\sum Mb = 0$$

$$Fn(0,05) = Ra(0,02)$$

$$Ra = 61,33 \text{ N}$$

$$R_b = -36,79 \text{ N}$$

Diagrama de fuerza cortante

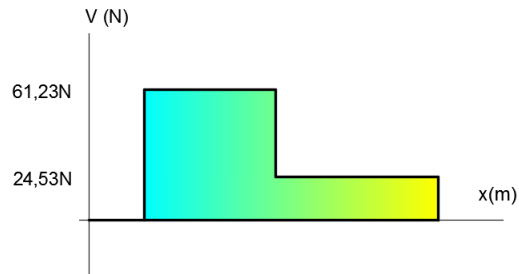


Figura N°3. 42: Diagrama de fuerza cortante – cuchillas.

Fuente: Autor

Diagrama de momento flector

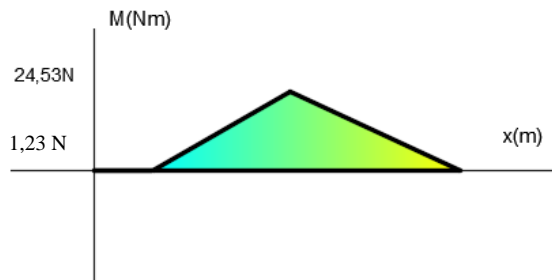


Figura N°3. 43: Diagrama de momento flector – cuchillas

Fuente: Autor

$$\sigma = \tau \text{ flexión} + \text{Tracción}$$

$$\sigma = \frac{32 \times M}{S} + \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$

Dónde;

- $\sigma =$ Esfuerzo combinado
- $A =$ Área
- $M =$ Momento flector crítico
- $S =$ Módulo de sección
- $n =$ Factor de seguridad
- $S_y =$ Resistencia a la tracción de Acero AISI M42= 200 MPa. Anexo 16

$$\sigma = \frac{1,23Nm}{\frac{b \times h^2}{6}} + \frac{3239,4 N}{b \times h}$$

Se desea que la base sea ocho veces mayor que la altura, teniéndose;

$$\sigma = \frac{1,23Nm}{\frac{8h \times h^2}{6}} + \frac{3239,4 N}{8h \times h}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{1,23Nm}{\frac{8h \times h^2}{6}} + \frac{3239,4 N}{8h \times h}$$

$$h = 0,0021m = 3,1 \text{ mm}$$

$$b = 8 \times 0,0021m = 35,8 \text{ mm}$$

Encontrado las dimensiones de la cuchilla serán reemplazadas en la ecuación original de esfuerzo, para posteriormente comprobarlas mediante un programa de elementos finitos.

Siendo de;

$$\sigma = \frac{1,23Nm}{\frac{8h \times h^2}{6}} + \frac{3239,4 N}{8h \times h}$$

$$\tau = 191 \text{ MPa}$$

Comprobándose con un error despreciable los cálculos obtenidos mediante el programa de computador, dando un rango de 220 a 38 MPa, con los esfuerzos más críticos presentes en la cuchilla.

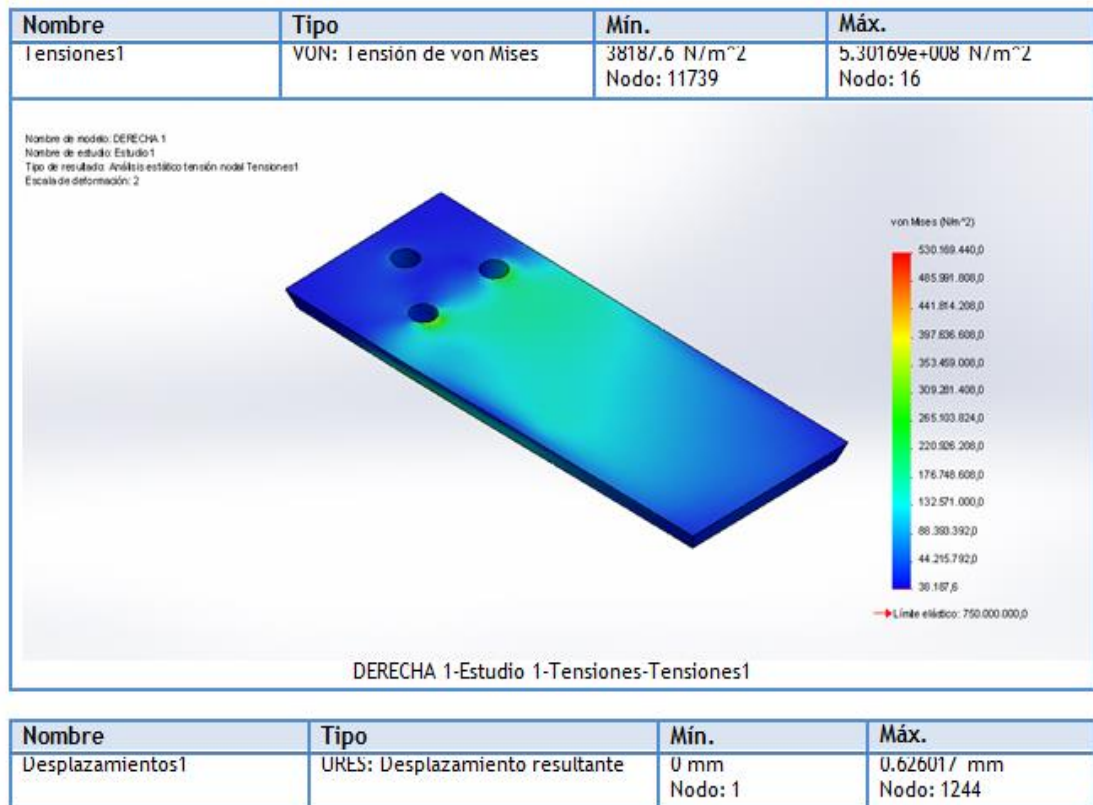


Figura N°3. 44: Simulación cuchilla-Esfuerzos.
Fuente: Autor

Se adjunta a su vez los resultados de deformación y de factor de seguridad los que verifica el diseño anterior.

En el momento de la construcción se considerando los espesores por seguridad y protección de la cuchilla.

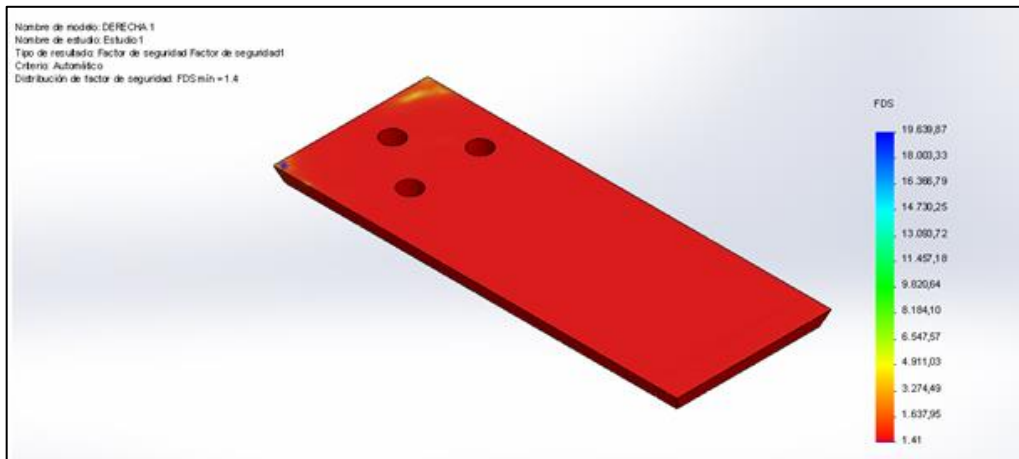


Figura N°3. 45: Simulación cuchilla-Factor de seguridad.

Fuente: Autor

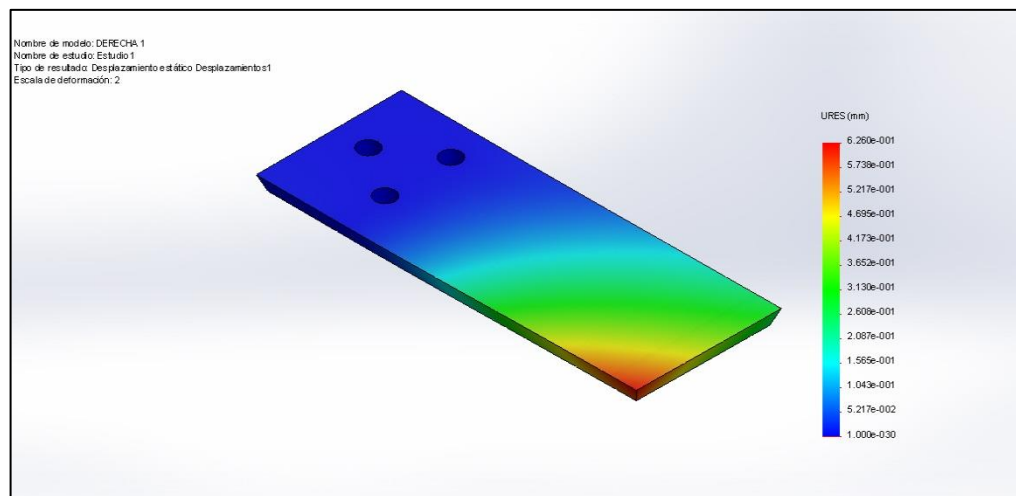


Figura N°3. 46: Simulación cuchilla-Deformación.

Fuente: Autor

La selección del material se realizó en base a un acero para herramientas de corte, por lo tanto, se diseñan para tener alta dureza y durabilidad bajo severas condiciones de servicio. Los tratamientos térmicos para los aceros en herramientas de corte son similares a aquellos realizados en aceros de baja aleación endurecibles, es decir, que las propiedades finales se obtienen con austenización, formación de martensita y revenido. Sin embargo, la mayoría de los aceros para herramientas son muy aleados y se deben tomar precauciones especiales

durante el procesado para alcanzar un balance apropiado de carburos aleados en una matriz de martensita revenida para una dada aplicación.

El acero AISI M42 brinda las siguientes características:

ACERO GRADO HERRAMIENTA (ALTA VELOCIDAD)				
MICRO MELT M42 (SIMILAR AISI TIPO M42)				
ANALISIS QUIMICO TIPICO	Carbono	1.10	Vanadio	1.15
	Azufre	0.060 máx.	Tungsteno	1.50
	Silicio	0.25	Cobalto	8.25
	Cromo	3.75		
	Molibdeno	9.50		
DESCRIPCION	La aleación Micro- Melt M-42 obtenido por metalurgia de polvos es un acero herramienta de alta velocidad que puede tomar durezas de hasta 68 – 70 Rockwell C. Esta aleación ha sido utilizada para herramientas de corte en donde las operaciones de maquinado son extremas.		Las ventajas de esta aleación incluye el fácil reclicado, una mejor respuesta al tratamiento térmico, una estructura más uniforme, mayor resistencia al desgaste y alta tenacidad.	
APLICACIONES	Brocas helicoidales, herramientas para maquinado, fresas escariadoras, cuchillas para molino, mandriles, brocas rebajadoras, herramientas		Formadoras, dados formadores de roscas etc.	
TRATAMIENTO TERMICO	<p>Recocido: Para el recocido, se deberán tomar precauciones para evitar la carburización o descarburización excesiva. Calentar uniformemente de 843 °C a 899°C mantener hasta que toda la masa tenga la misma temperatura, enfriando lentamente en el horno a una velocidad no mayor a 7°C por hora hasta 538 °C, apagar el horno y permitir un enfriamiento natural, este tratamiento le dará una dureza aproximada de 235/269 HNB.</p>		<p>Endurecido: Puede ser endurecido sin peligro de descarburación en un horno de sales neutras o de atmosfera controlada, precalentar a 816/871 °C en un baño de sales neutras, posteriormente transferir a un horno de sales con una temperatura de 1177 / 1204 °C y templar en aceite.</p> <p>Revenido: Las herramientas deberan ser revenidas inmediatamente y la temperatura de revenido dependera de la dureza deseada.</p>	
PROPIEDADES FISICAS	Densidad	0.288 lb/in ³ 7.980 Kg/cm ³		

Figura N°3. 47: Datos técnicos acero AISI M42

Fuente: Autor

Diseño de Portacuchilla

En el portacuchillas se encuentra ejerciendo una fuerza resultante de 3239,4 N producto de las fuerzas tangenciales y normales ejercidas por la cuchilla al momento de producir el corte del plástico.

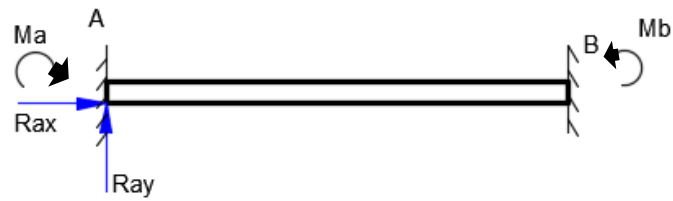


Figura N°3. 48: Diagrama de cuerpo libre de portacuchillas

Fuente: Autor

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{ay} = R_{by}$$

$$R_{by} - R_{ay} = 0$$

$$\mathbf{R_{by} = 3239,4 N}$$

$$M_b = R_{by} \times L$$

$$M_b = 3239,4 N \times 0,25 m$$

$$\mathbf{M_b = 1619,7 Nm}$$

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,006 \times 0,07^3}{12}$$

$$\mathbf{I = 18,5 \times 10^{-6} m^4}$$

$$\delta = \frac{3239,4 \times (0,5)^3}{3 \times 209 \times 10^9 \times 18,5 \times 10^{-6} m^4}$$

$$\delta = 0,000034 \text{ m}$$

$$\delta = 0,34 \text{ mm}$$

Al observar la imagen que nos arroja el simulador determina que la deformación coincide en el punto que se ha evaluado.

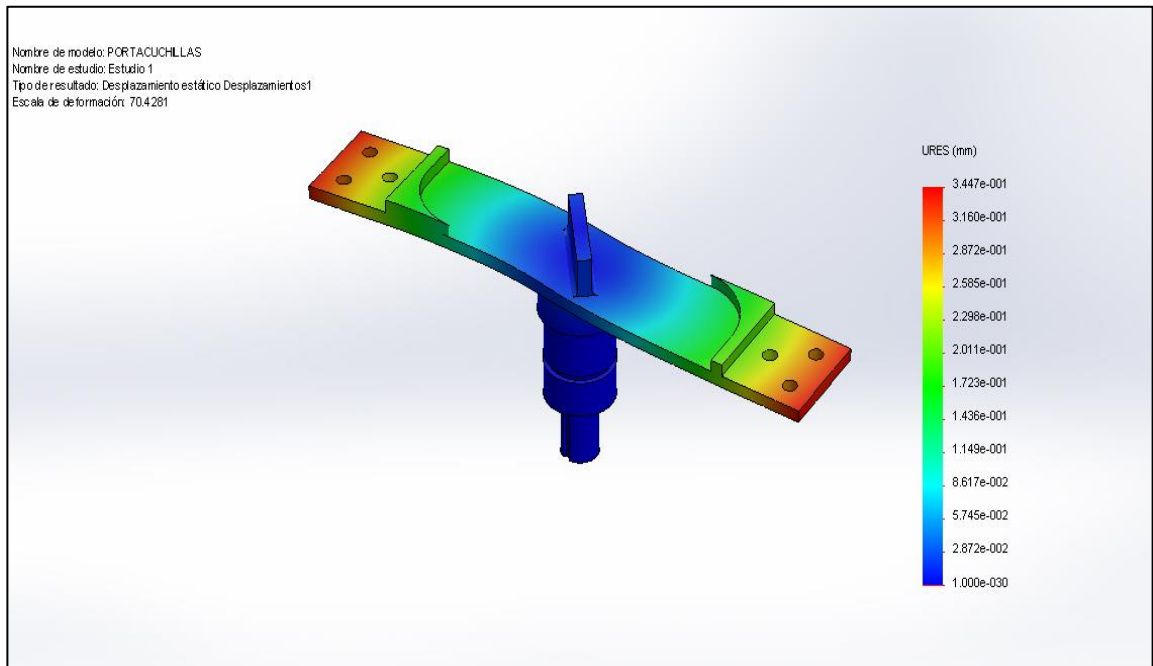


Figura N°3. 49: Simulación Portacuchillas - Deformación.

Fuente: Autor

Diseño de espesor de cilindro

Para el diseño del tanque se considera el espesor del mismo, como se observa en la figura en A, existe un esfuerzo cortante que es producido por la fuerza que origina la cuchilla fija que es de 3000 N, es la fuerza necesaria para cortar el polímero.

Por lo cual se analiza aplicando el criterio mencionado anteriormente, para determinar el espesor mínimo.

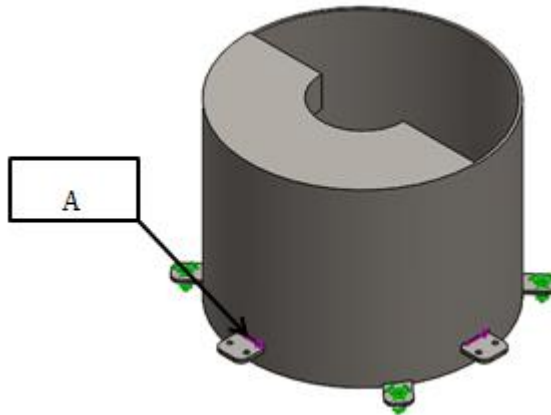


Figura N°3. 50: Esquema tanque.

Fuente: Autor

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{F}{A} = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{F}{e \times h} = \frac{S_y}{n}$$

$$e = \frac{F \times n}{S_y \times h}$$

$$e = \frac{3000 \text{ N} \times 1,25}{250 \times 10^6 \times 0,005}$$

$$\mathbf{h = 3 \text{ mm}}$$

Resultando una plancha de 3 mm de espesor, se verifica mediante un programa de elementos finitos con un espesor de 4 mm, puesto que se tiene ese material para la construcción, dando lo siguiente;

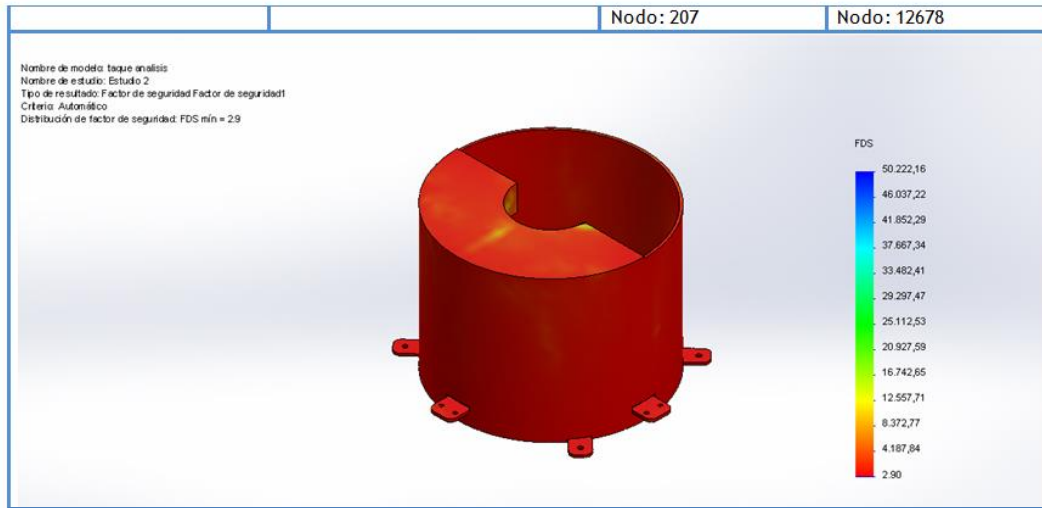


Figura N°3. 51: Simulación-Tanque.

Fuente: Autor

Al obtener un factor de seguridad mínimo de 2,90 se acepta el material mencionado puesto que no existe sobredimensionamiento.

Selección De Pernos

Pernos para las cuchillas

Las cuchillas están sometidas a varias fuerzas, la fuerza de 7365 N actúa tratando de manera cortante sobre la cuchilla y el perno, y la fuerza de 24,53 N esta traccionando al perno, por lo que se utiliza estas dos fuerzas para la selección del diámetro del agujero a taladrarse en la cuchilla, teniéndose;

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\frac{\sigma_y}{n} = \frac{F}{\pi dt}$$

$$\frac{250 \times 10^6 \text{ Pa}}{2,55} = \frac{7365 \text{ N}}{\pi dt}$$

Anteriormente ya se calculó el espesor de la cuchilla siendo de 5,1 mm, reemplazándose en la ecuación se tiene:

$$d = 5,83 \text{ mm}$$

Por lo que se selecciona un perno de 6 mm, seleccionado el perno se procede a verificar que este cumpla las condiciones de los esfuerzos sometidos.

Rigidez del sujetador

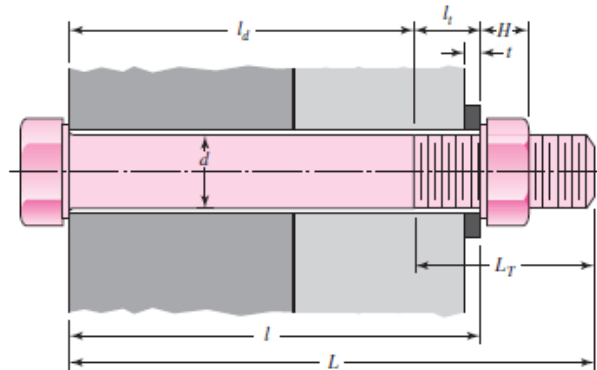


Figura N°3. 52: Esquema e identificación de pernos

Fuente: Autor

Se encuentra utilizando la siguiente fórmula:

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

Dónde;

- $A_d =$ Área de parte no roscada
- $A_t =$ Área de parte roscada

- $E = \text{Módulo de elasticidad}$
- $l_d = \text{Longitud útil sin rosca}$
- $l_t = \text{Longitud útil con rosca}$

Para determinar la longitud roscada se lo realiza de la siguiente manera, siendo $d=6$ mm y $L=25$ mm.

$$L_T = 2d + 6 \text{ mm}; \text{ Puesto que } L < 125 \text{ mm}, d < 6 \text{ mm}$$

$$L_T = 2 \times 6 \text{ mm} + 6 \text{ mm}$$

$$L_T = 18 \text{ mm}$$

Se determina el área de la parte roscada mediante el anexo 9, siendo esta de $20,1 \text{ mm}^2$

Se determina el área de la parte no roscada mediante el anexo 9, siendo $17,9 \text{ mm}^2$

Se determina la longitud de la parte útil de la rosca:

$$l_d = L - L_t$$

$$l_d = 25 \text{ mm} - 18 \text{ mm}$$

$$l_d = 7 \text{ mm}$$

Y la longitud de la parte roscada:

$$l_t = l - l_d$$

$$l_t = 14 \text{ mm} - 7 \text{ mm}$$

$$l_t = 7 \text{ mm}$$

Se reemplaza

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$$k_b = \frac{\frac{17,9}{1000} \times \frac{20,1}{1000} \times 201 \times 10^9}{\frac{17,9}{1000} \times \frac{7}{1000} + \frac{20,1}{1000} \times \frac{7}{1000}}$$

$$k_b = 2,718 \times 10^{11} \text{ N}$$

Rigidez de los elementos

$$k_b = \frac{\pi E d}{2 \ln \left(5 \times \frac{l_t + 0,5}{l_t + 2,5} \right)}$$

$$k_b = \frac{\pi \times 0,006 \times 201 \times 10^9}{2 \ln \left(5 \times \frac{7 + 0,5}{7 + 2,5} \right)}$$

$$k_b = 1,379 \times 10^9 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Relación de rigidez

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_c}$$

$$C = 0,99$$

Selección de precarga

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = \sigma \times A$$

$$\sigma_1 = 225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 240 \text{ MPa}$$

$$F_1 = 225 \text{ MPa} \times 20,1 \times 10^{-6} = 4522,5 \text{ N} \quad \text{Precarga mínima}$$

$$F_2 = 400 \text{ MPa} \times 20,1 \times 10^{-6} = 8040 \text{ N} \quad \text{Precarga máxima}$$

$$F_3 = 240 \text{ MPa} \times 20,1 \times 10^{-6} = 4824 \text{ N}$$

Calculo del factor de seguridad de los pernos

$$n = \frac{A \times S_y \times F_2}{C \times P}$$

$$P = 3 \text{ pernos}$$

Despejando n

$$n = \frac{20,1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 225 \text{ MPa} \times 8040 \text{ N}}{3 \times 0,99}$$

$$n = 12242,72$$

Pernos de bancada

Los pernos de la bancada están sometidos al esfuerzo cortante puro, aplastamiento y flexión por lo que se analiza con la teorías para esfuerzo puro.

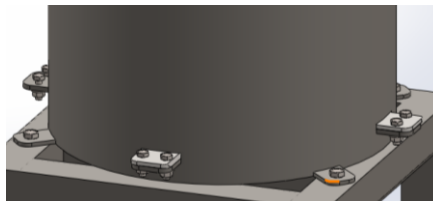


Figura N°3. 53: Pernos de bancada

Fuente: Autor

Analizando fuerza cortante se tiene:

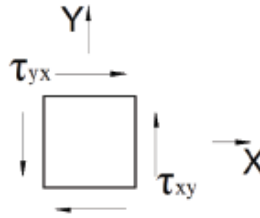


Figura N°3. 54: Fuerza cortante

Fuente: Autor

$$\tau = \frac{F}{A}$$

La fuerza sera el peso de toda la estructura a la cual va a ser sujeta los pernos.

$$\tau = \frac{4 \times 215,73}{\pi \times 0,006^2}$$

$$\tau = 7,63 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\tau_{\text{permisible}}}{\tau_{\text{calculado}}}$$

$$n = \frac{225 \text{ MPa}}{7,63 \text{ MPa}}$$

$$n = 28,48$$

Analizando aplastamiento se tiene:

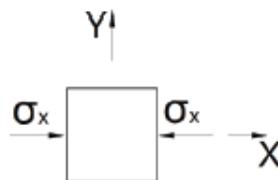


Figura N°3. 55: Aplastamiento

Fuente: Autor

$$\tau = \frac{F}{A}$$

La fuerza se calculara con el peso de toda la estructura la cual va a ser sujeta.

$$\tau = \frac{215,73}{t d}$$

Para un espesor de 5 mm y diámetro de 6 mm, datos calculados anteriormente:

$$\tau = 7,19 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\tau_{\text{permisible}}}{\tau_{\text{calculado}}}$$

$$n = \frac{225 \text{ MPa}}{7,19 \text{ MPa}}$$

$$n = 31,29$$

Analizando flexión se tiene:

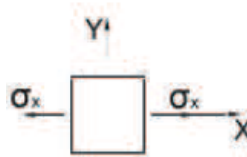


Figura N°3. 56: Fuerza cortante

Fuente: Autor

$$\tau = \frac{F x t x 32}{A}$$

La fórmula para la fuerza presente es:

$$\tau = \frac{215,73}{\pi d^3}$$

Para un espesor de 5mm y diámetro de 6 mm, datos se calculó anteriormente:

$$\tau = 7,55 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\tau_{\text{permisible}}}{\tau_{\text{calculado}}}$$

$$n = \frac{225 \text{ MPa}}{7,55 \text{ MPa}}$$

$$n = 29,80$$

Analizando los factores de seguridad obtenidos se encuentran en el rango de confiabilidad optandose por elegir los mencionados.

Análisis De Vibraciones

Para el diseño de la viga aplicando el análisis de vibraciones tenemos el siguiente diagrama:

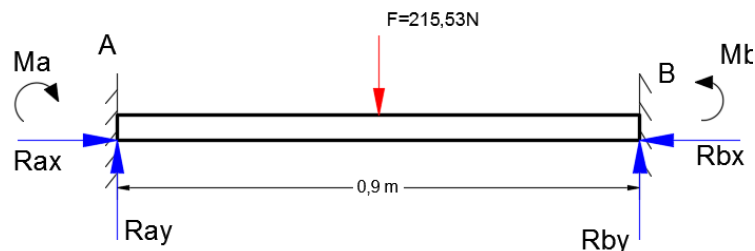


Figura N°3. 57: Diagrama de cuerpo libre de estructura

Fuente: Autor

Un diagrama recíproco en vibraciones tenemos:

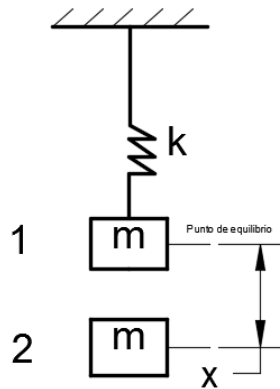


Figura N°3. 58: Diagrama simplificado de estructura

Fuente: Autor

Para la viga mostrada en el diagrama de cuerpo libre de acuerdo al anexo tenemos la siguiente fórmula para deformación máxima que corresponde a x del digrama simplificado de vibraciones, teniéndose:

$$y_{max} = \frac{Fl^3}{192 EI} \quad (1)$$

Aplicando la Ley de Hooke, se tiene:

$$P = k \cdot x$$

Teniéndose que x es igual a la deformacion máxima,

$$y_{max} = \frac{215,53N \cdot x \cdot (0,9m)^3}{192 \cdot x \cdot 209 \cdot 10^9 Pa \cdot x \cdot (6,93/100m)^4}$$

Los valores de inercia corresponde al perfil seleccionado anteriormente:

$$y_{max} = 1,69 \times 10^{-7} m$$

Para encontrar la constante de resorte equivalente de la viga se tiene;

Aplicando la ley de Hooke:

$$F = kx \quad (2)$$

Teniendo que x es igual a la deformación máxima, y la fuerza P es igual a la fuerza F, igualando las dos ecuaciones:

$$\frac{Fl^3}{192 EI} = \frac{F}{k}$$

Teniendo que x es igual a la deformación máxima, y la fuerza P es igual a la fuerza F, igualando las dos ecuaciones:

$$ke = \frac{192 EI}{l^3}$$
$$ke = \frac{192 \times 209 \times 10^9 \text{ Pa} \times (6,93/100\text{m})^4}{(0,9\text{m})^3}$$
$$ke = 1,266 \text{ GPa/m}$$

Encontramos la frecuencia natural del sistema, usando la siguiente fórmula:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_{total}}}$$

La masa de la viga se obtiene del anexo 6 siendo esta de 2,417 Kg

$$\omega_n = \sqrt{\frac{1,266 \text{ GPa/m}}{2,41\text{kg} + 21,97\text{kg}}}$$

$$\omega_n = 7225,03 \text{ rad/s}$$

En todo sistema no amortiguado y forzado armónicamente, el movimiento resultante se compone de la suma de dos armónicos, uno de frecuencia natural ω_n y otro de frecuencia de la fuerza exterior ω . La amplitud del primero depende de las condiciones iniciales y se anula para unos valores particulares, la amplitud del segundo depende de la proximidad de ambas frecuencias a través de la expresión denominada factor de resonancia

La frecuencia exterior es la que produce el motor siendo esta de $180,11 \text{ rad/s}$.

Al no ser iguales la frecuencia natural y la frecuencia del exterior se descarta que el sistema entre en resonancia.

Se procede a calcular el valor de la resonancia que se produce:

$$\rho = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}}$$
$$\rho = 1$$

Con este valor se procede a encontrar el valor de la amplitud;

$$\rho = \frac{A}{x}$$
$$x = y_{max}$$
$$A = \rho x$$
$$A = 1,69 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Aplicando la ecuación general de vibraciones forzadas para sistemas sin amortiguamiento, se tiene;

$$x = a \cos(\omega_n t + \varphi) + \frac{F_0/k}{\rho} \cos \omega t$$

Dónde;

- $a = \text{Amplitud} = 1,69 \times 10^{-7} \text{ m}$
- $\omega_n = \text{Frecuencia natural} = 7225,03 \text{ rad/s}$
- $\varphi = \text{Ángulo de inicio} = \text{se asume } 0 \text{ grados}$ por que al iniciar no existe vibración
- $t = \text{Tiempo}$

$$x = (1,69 \times 10^{-7}) \cos(7225,03t) + \frac{215,53}{1,26 \times 10^9} \cos 180,11 t$$

Graficando la ecuación tenemos;

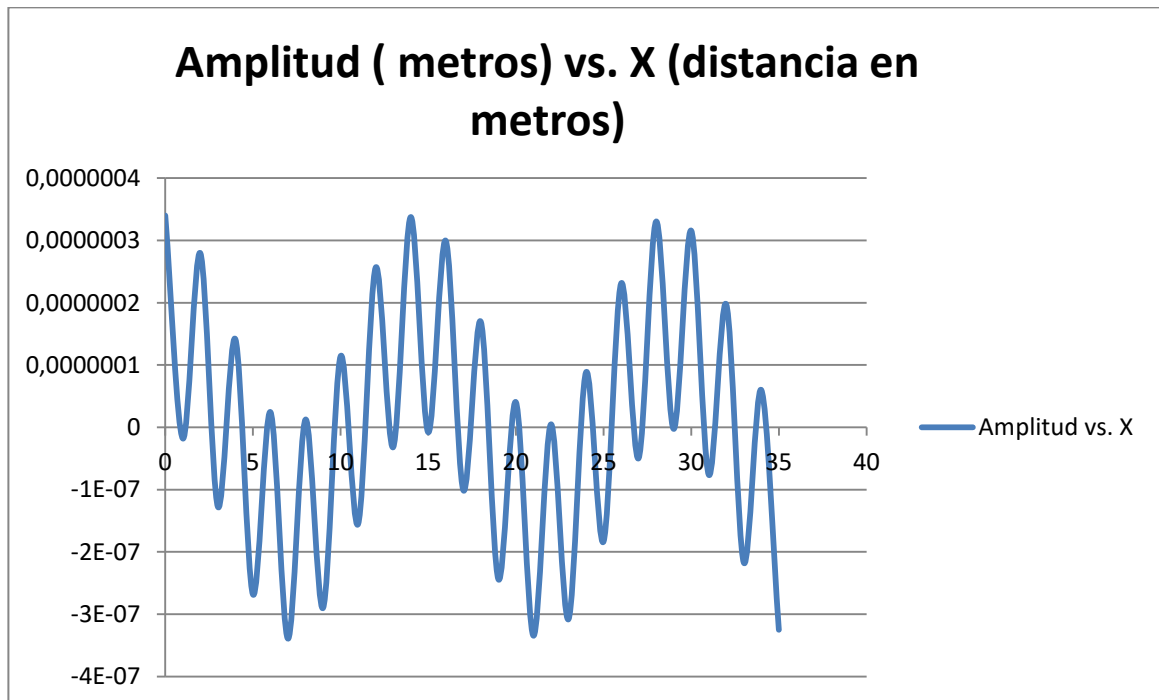


Figura N°3. 59: Amplitud vs. Distancia

Fuente: Autor

Análisis De Soldadura

La máquina consta solamente con juntas soldadas en la estructura, estas son juntas a tope y a filete, estando sometidas solo a esfuerzo de compresión.

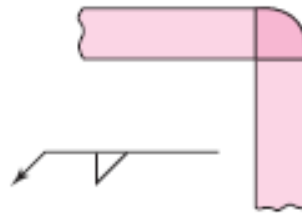


Figura N°3. 60: Esquema de junta soldada

Fuente: Autor

En el caso de cargas de tensión o de compresión, el esfuerzo normal está dado por:

$$\sigma = \frac{F}{hl}$$

Dónde;

- $\sigma =$ Esfuerzo
- $F =$ Fuerza
- $L =$ Longitud de soldadura
- $h =$ Altura de garganta

La longitud de soldadura se lo realiza en los cuatro lados de la tubería de 40 mm de espesor siendo la longitud soldada de 160 mm con garganta de 1 mm, y la fuerza es el peso total que soporta la estructura, siendo el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{215,33\text{N}}{\frac{1 \times 160\text{m}^2}{1000 \times 1000}}$$

$$\sigma = 1345812,5 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 1,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \mathbf{195,8009 \text{ PSI}}$$

También existe un esfuerzo sometido a flexión en la soldadura de la viga con las columnas;

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dónde;

- $A = \text{Área de garganta}$

El área de la garganta obtenemos de la siguiente figura :

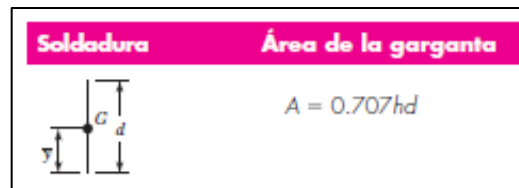


Figura N°3. 61: Área de garganta

Fuente: [13]

Teniendose;

$$\sigma = \frac{215,33}{0.707 \times 1 \times 160}$$

$$\sigma = \mathbf{1,903 \text{ MPa} = 275,5 \text{ PSI}}$$

Para la soldadura de los componentes de la estructura se ocupa el electrodo E7018, el cual se muestra a continuación sus características:

ELECTRODO BASICO BAJA ALEACION						
B - 10	Norma:		AWS	E 7018		
	Color de Revestimiento: Gris			Identificación: Punta Blanca		
Análisis del Metal Depositado:	C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%
Características:	*Valores típicos Electrodo con revestimiento de bajo hidrógeno, con polvo de hierro. Indicado para la soldadura de aceros de alta resistencia a la tracción (56 kg/mm ² Máx) así como para aceros de construcción. Su arco es sumamente estable, poco chisporroteo y para mejores resultados úsese arco corto. Se recomienda mantener un arco corto para garantizar buenos resultados en inspecciones radiográficas. Para trabajos de alta responsabilidad es necesario secarlos a 350°C durante una hora.					
Aprobación:	AMERICAN BUREAU OF SHIPPING					
Propiedades Mecánicas:	Resistencia a la Tracción	Elongación		Resistencia al Impacto		
	54-57 kg/mm ²	30 - 34%		CHARPY-V Joules 70 - 90 (-29°C)		
	76.000					
	81.000 lbs/pulg ²					
Posiciones de Soldar:	Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente.					
Corriente y Polaridad:	Para corriente continua o alterna Electrodo al polo positivo					
	ø mm	ø Pulg.	Amperaje			
	3.20	1/8	100-140			
	4.00	5/32	140-190			
	5.00	3/16	190-250			
Aplicaciones:	<ul style="list-style-type: none"> • Para aceros de mediano y bajo carbono, baja aleación • Para aceros laminados en frío, por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas, su fácil manejo y óptimo rendimiento, es especialmente adecuado. • Para soldadura de tuberías de vapor. • Calderas de alta presión, tanques. • Piezas para maquinaria pesada. • Construcciones metálicas en obra. • Reparaciones Navales. 					
IMPORTANTE:	Los electrodos húmedos o con manchas de grasa, deben destruirse.					
LARGO:	350 mm.			PESO POR CAJA: 20 kg/44 lbs.		

Figura N°3. 62: Hoja técnica de electrodo E7018

Fuente: [14]

Para garantizar el diseño se procede a analizar todos los esfuerzos mediante la siguiente tabla, a pesar de que algunos no se encuentren presentes en el mismo.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S _y	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S _y	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66S _y	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S _y	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30S _y	

*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

†El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de 0.40S_y del metal base.

Figura N°3. 63: Esfuerzos permisibles

Fuente: [13]

Siendo S_y= 76000 PSI = 524 MPa

Obteniendose;

Tabla N° 3. 4: Esfuerzo obtenidos

Tipo de carga	Esfuerzo permisible (MPa)
Tension (banca)	314,4
Aplastamiento (base cilindro)	471,6
Flexión (soportes bases del cilindro)	314,4
Compresión (bancada, base del cilindro)	314,4
Cortante (soporte cuchilla fija, soporte de motor)	157,2

Fuente: Autor

Siendo estos los esfuerzos máximos aceptados para el electrodo seleccionado. Al observar el esfuerzo obtenido de 1,31 MPa y 1,91 MPa es menor a los máximos permisible (314,4 MPa) por el electrodo seleccionado, optándose por el electrodo elegido.

3.2.16. Análisis mediante simulación por un Software de elementos finitos (FEM) del proceso de triturado

La metodología que se utiliza para la elaboración del ensayo del proceso de triturado de la máquina de polietileno de baja densidad, utilizando un software de modelación para elementos finitos como se muestra en el diagrama de flujo, la simulación mediante elemento finito consta de las etapas fundamentales que son la modelación, pre-procesamiento, procesamiento, pos-procesamiento y validación de resultados.

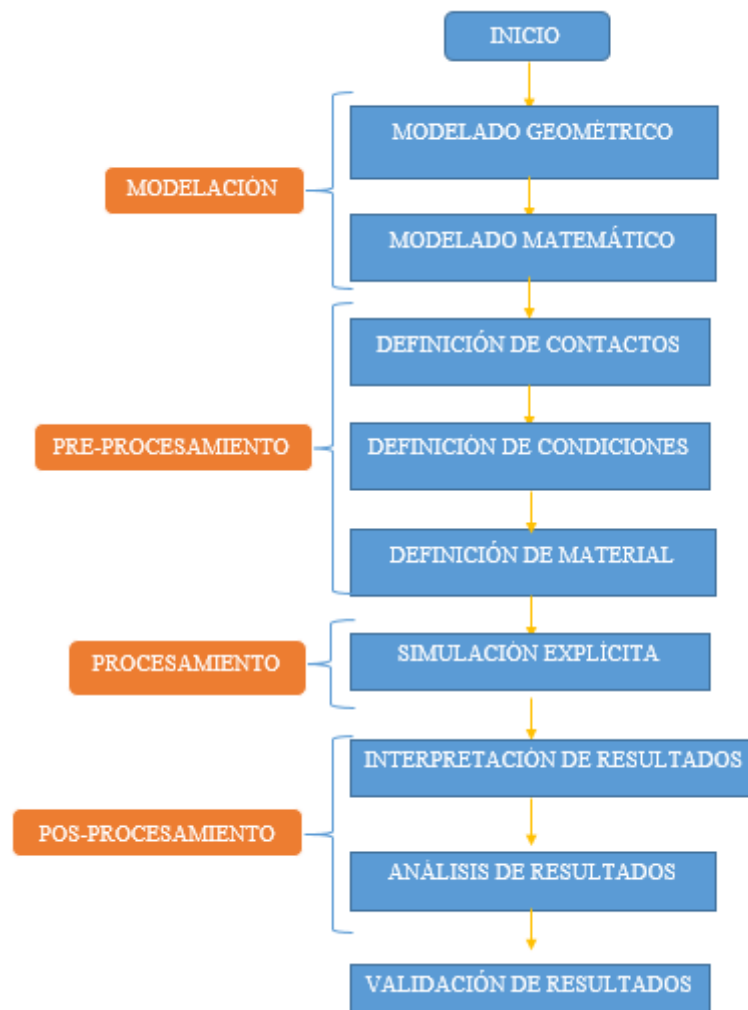


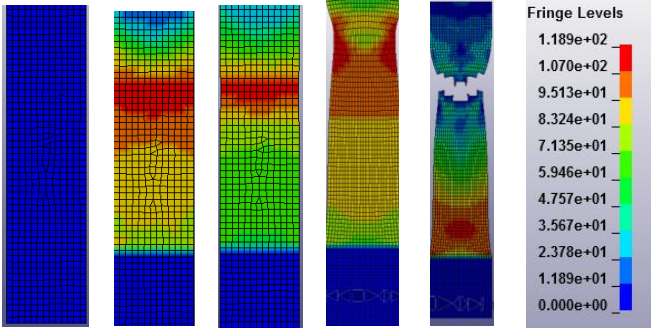
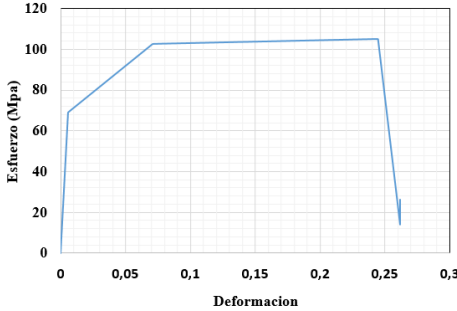


Figura N°3. 64: Proceso de simulación

Fuente: Autor

Tabla N° 3. 5: Verificación del material en Ls-Dyna.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD		
SIMULACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Probeta sometida a:	tracción	Muestra:	Probeta del material
Fecha de ejecución:	15-06-2016	Realizado por:	Jaime Cepeda
Espesor:	0,04 mm	Longitud calibrado:	100 mm
Aspecto radio máximo	1,4	Aspecto radio min:	1,1
Tiempo de procesamiento:	45 min	Número de procesadores:	4 de 2 GHz
Número de elementos	662	Números de nodos	725
RESULTADO DE ENSAYOS			
			
<p>Esfuerzo Deformacion probeta</p> 			
Resultados			
Carga mínima	0 N	Carga máxima	100 N
Deformación inicial	0 mm	Deformación última	159,1 mm

Fuente: Autor

Modelado

El paso que se toma principalmente del modelado, este consta de dos parámetros que son:

a) Modelado Geométrico: En esta actividad se genera el dibujo de la geometría de una de las partes de las cuchillas y del material a ser triturado (polietileno de baja densidad reciclado), para lo cual se utilizó un Software de CAD el cual posee las herramientas necesarias para dibujar cada una de las superficies de la geometría, se represento la cuchilla fija y de la cuchilla móvil, al igual se represento el filo y una parte de la cuchilla, para el material triturado se graficó antes de empezar el corte con láminas finas vertical y en su totalidad lleno, formándose un semi triángulo de 12 grados, como se muestra en la figura 3.65:

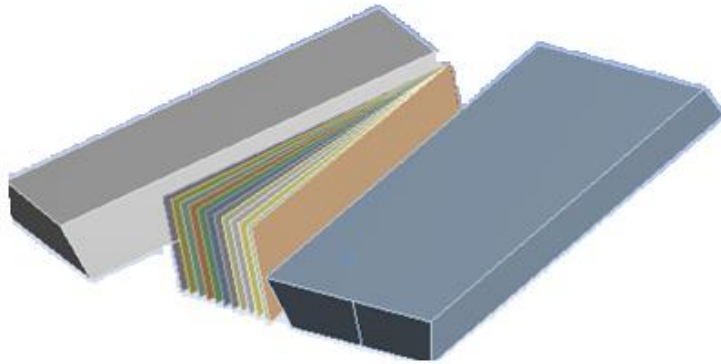


Figura N°3. 65: Generación de la Geométrica

Fuente: Autor

b) Modelado Matemático (Mallado) : Se debe transformar la geometría de las superficies en un modelado matemático, se lo conoce como malla de elemento, este es el paso de mayor importancia que va a depender la veracidad de los resultados y la calidad de los mismos que se va a obtener, aquí en este proceso se elige el tamaño de llama que se va a utilizar, en nuestro caso estamos utilizando un elemento cuadrado, se tomó dos tipos de tamaño: de cinco milímetros para las cuchillas y de un 0,5 milímetros

para el material cortado (polietileno de baja densidad reciclado), aquí se puede tomar en cuenta que se tuvo que refinar la malla para la aceptabilidad de los datos y no tener problema al momento de la corrida del programa, es bueno nombrar que la malla debe ajustarse a la geometría, el tipo de malla seleccionado es SHELL: se utilizó este elemento por las características de proceso, elemento cáscara, el elemento es recomendado para procesos de cizallado, impacto, deformación y flexión, en un proceso no lineal, tienen que ser elemento shell uniformes en su mayoría de preferencia sin cambios de espesor, el elemento tiene un grado de aceptable de 3° de libertad y 3° de giro.

Después de definir los parámetros respectivos de mallado se verifica la calidad de la misma, estos se pueden verificar con los siguientes aspectos Aspect Ratio de un máximo 1,85 y un mínimo de 1 y Jacobian Radio un máximo de 1,35 y mínimo de 1, se muestra en la figura 3.66.

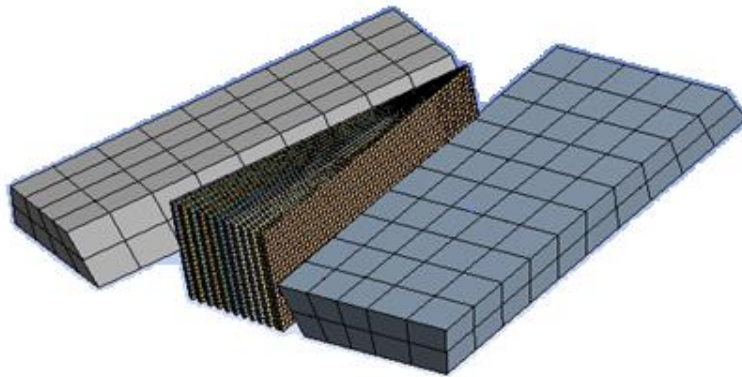


Figura N°3. 66: Generación del proceso matemático (mallado)

Fuente: Autor

Pre-procesamiento

Luego de tener totalmente definido la geometría y el mallado se procede a definir los parámetros de pre-procesamiento que se puede describir:

a) Definición de contactos: Para este procedimiento debemos definir como va interactuar cada uno de los componentes de la geometría de las cuchillas fija y móvil con la geometría del polietileno de baja densidad recilado, en interacción del filo de la geometría de las cuchillas tenderá, en el momento de corte de la superficie geométrica del polietileno de baja densidad (funda), realizando el proceso de triturado, lo mas cercano a la realidad con la representación del elemento SHELL, todas las superficies deben estar sin contactos, como se muestra en la figura 3.67.

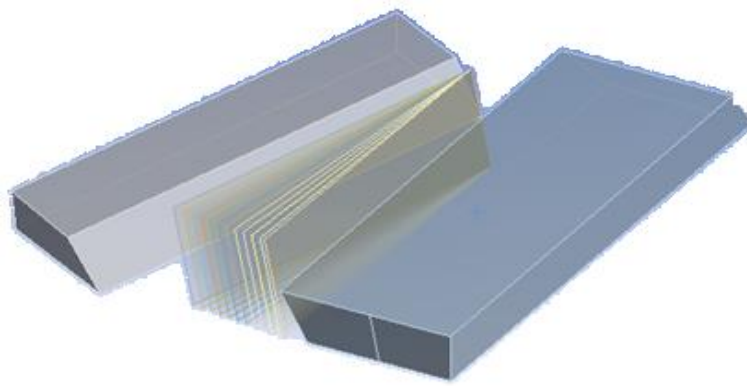


Figura N°3. 67: Generación de contactos en la geometría
Fuente: Autor

b) Definición de condiciones: Se define el tiempo de finalización de la corrida en 0,001089 segundos, los parámetros de movimiento para la cuchilla móvil la que representa en la figura 3.68 con color amarillo, con una velocidad tangencial de 25,656 m/s restricciones para todo el elemento con un desplazamiento uno de X;0, Y;libre, Z;0 desplazamiento dos para la superficie perpendicular inferior al fijo de la cuchilla de coordenadas X;0, Y;libre, Z;0, para la cuchilla fija se debe colocar la condición de superficie, colocando un soporte fijo en la cuchilla fija y en el polietileno de baja densidad otro soporte fijo y un desplazamiento de coordenadas X;libre, Y;libre, Z;0 para que se pueda analizar la energía interna para el proceso de corte del polietileno de baja densidad.

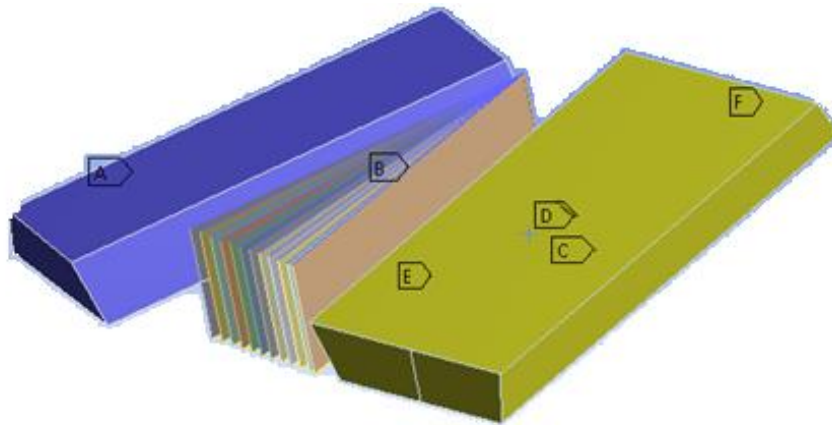


Figura N°3. 68: Generación del movimiento en la geometría
Fuente: Autor.

c) **Definición del material:** Se establece dos tipos de materiales que serán cambiados en el archivo de corrida que interpreta el lector, este va a ser editado y modificaremos con los datos investigados de los materiales.

Los materiales que se definieron fueron:

Material plástico lineal por tramos se utilizó para representar el polietileno de baja densidad reciclado (fundas) cambiamos los datos que vienen por defecto en el material: densidad (RO) $9,4 \times 10^{-10} \text{ gr/cm}^3$, módulo de Young o de elasticidad (E) 2.5 MPa, coeficiente de Poisson (PR) 0,46 adimensional, tensión de fluencia (SIG) 24 MPa, porcentaje de falla de (FAIL) 1.59 adimensional, este material se define después de un ensayo de tracción simulado en un software de elementos finitos.

Material elástico se utilizó para representación de la cuchilla móvil y fija con la característica del acero: densidad (RO) $7,85 \times 10^{-9} \text{ gr/cm}^3$, módulo de Young (E) 200000 Pa, coeficiente de Poisson (PR) 0,3, estos materiales ayudan a la simulación del corte y la generación de datos.

Pos-procesamiento

Con todos los parámetros anteriormente definidos se va a generar el archivo, este siendo el archivo de solver.

a) Simulación: Tendrá en cuenta ciertos comandos de importancia del programa para la generación de datos del lector visual: CONTROL_TERMINATION Comando para el tiempo que el análisis termina, CONTROL_TIMESTEP controlador del intervalo de tiempo en el modelo para seguir generando datos de lectura y malla también especifica la curva de tiempo máximo de paso de la sección controlada, CONTROL_SHELL controlador de los aspectos geométricos de elementos 2D la calidad y definición, CONTROL_HOURLASS controlador para comando de lectura para las energías generadas por los nodos de deformación con energía cero, sin esfuerzos ni deformaciones, que producen deformaciones no físicas, viscosidades de las secciones, cierta rigidez de secciones del elemento, CONTROL_ENERGY controladores de disipación de energía en la malla y elemento, CONTROL_SOLID controlador de especificaciones de parámetros de los elementos sólidos.

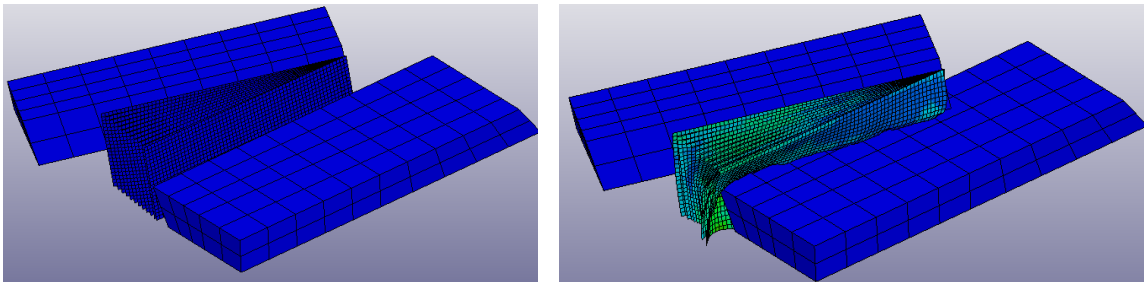
Comandos de creación de la base de datos: DATABASE_GLSTAT comando de una base de datos con estadísticas globales, DATABASE_MATSUM comando de una base de datos con energías de los materiales y con la salida de los resultados manejando velocidad para elementos rígidos, DATABASE_BINARY_D3POLY controlador de una base de datos por intervalos de tiempo con un inicio y final para la recopilación de resultado, controladores de pasos de sección de salida de configuraciones para guardar y reiniciar la corrida, comando de especificación de los parámetros de muestreo.

Comandos específicos: CONTROL_VELOCITY_GENERATION comando se encargara de la velocidad generada en min/s como velocidad constante, DEFINE_CURVE comando de especificación de magnitudes en forma de tabla.

b) Interpretación de resultados: Se necesita conocer bien los datos de entrada para un proceso de simulación correcto y en este proceso se genera la figura 3.70 la energía interna en el proceso de corte para posteriormente la validación de resultados por medio de cálculos entre el proceso de simulado y el proceso teórico.

Análisis de resultados.- Con la ayuda del software por elementos finitos y la interpretación de archivo generado de lectura se toman los resultados del análisis, figura 3.69 y 3.70 como se muestra.

Tiempo = 0 ; Desplazamiento = 0 Tiempo = 0,00026 s ; Desplazamiento = 5 mm



Tiempo=0,000520; Desplazamiento=15 mm Tiempo = 0,00108; Desplazamiento = 27 mm

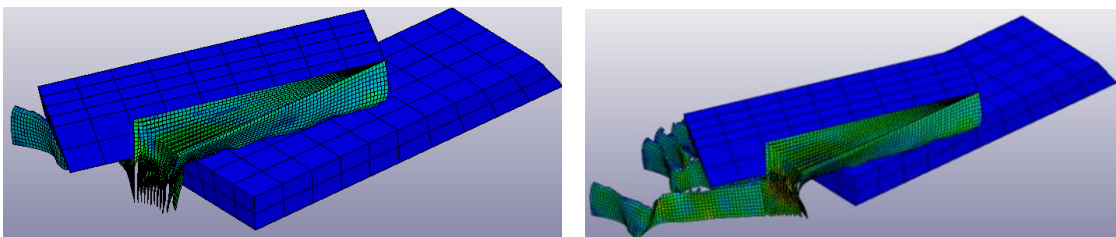


Figura N°3. 69: Generación de la prueba final.

Fuente: Autor

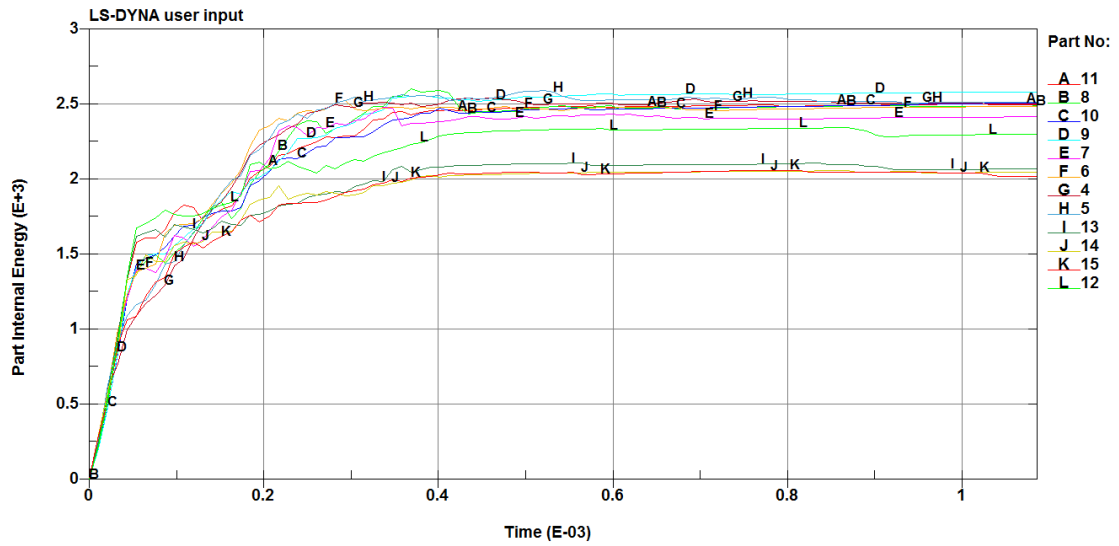


Figura N°3. 70: Generación de curva de esfuerzo interno.
Fuente: Autor

Validación de resultados.- Con recolección de datos y la generación de la curva de energía interna se procede a los cálculos respectivos:

Datos:

- $Wr = 183,26 \text{ rad/s}$ velocidad angular
- $A = 70 \text{ mm}$ área de corte
- $e = 0,04 \text{ mm}$ por cada funda $10 = 4 \text{ mm}$
- $\phi = 12^\circ = 0,21 \text{ rad}$ ángulo de cruce de cuchilas
- $r = 140 \text{ mm}$ radio al centro de la cuchilla

$$V_{tang} = Wr \times r = 183,26 \text{ rad/s} \times 140 \text{ mm} = 25656,4 \text{ mm/s}$$

$$t = \frac{\phi}{Wr} = \frac{0,21 \text{ rad}}{183,26 \text{ rad/s}} = 0,001089 \text{ s}$$

$$U = \frac{\sigma_x^2}{2E} \quad \sigma_x = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $U = \text{Energía interna}$
- $E = \text{Módulo de elasticidad}$

$$\sigma_x = \sqrt{2 \cdot U \cdot E} = \sqrt{2 (2.5 \times 10^3) 2.5 \cdot 10^6} = 11,78 \text{ MPa}$$

$$F = \sigma_x \cdot A_{total} = 11,78 \times 10^6 (70 \times 10^{-3} \times 0,04 \times 10^{-3}) = 329,8 \times 10 = 3298,40 \text{ N}$$

Una vez simulado genera la curva de energía interna con un valor medio de $2,5 \times 10^3 \text{ J}$, la validación de resultados se calculó para las 10 láminas de polietileno (fundas), resultó con una fuerza de 3298,4 N, y lo calculado anteriormente fue una fuerza de 3239,4 N que se requería para generar el proceso de cizallado, ahora con lo obtenido y simulado tenemos un 4% de intervalo que es aceptable, por el porcentaje que es mínimo.

3.3 Presupuesto



Se tomarán en consideración costos directos e indirectos, se tiene:

Costos Directos

3.3.3.1. Costos de materiales

Los costos de los materiales que son susceptibles de transformación, que detallan a continuación:



Tabla N° 3. 6: Costo de materiales

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	COSTOS DE MATERIALES		
ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
Estructura			
Tubo cuadrado de 40 x 2 x 6000	1	15,10	15,00
Plancha de acero 100x100x2	1	1,70	2,00
Ángulo de 40 x 3 x 6000	1	24,00	24,00
Cilindro			
Plancha de acero 500x1200x2	1	20,30	20,30
plancha de 450 x 450 x 2	2	15,00	30,00
Eje de transmisión			
Eje AISI 1018 ϕ 24 x 500	1	5,50	5,50
Portacuchillas			
Platina de 75 x 6 x 500	1	7,40	7,40
Cuchillas			
Acero HSS de 80 x 80x 8	2	12,30	24,60
Tolva			
Tol de 1000 x 1000 x 1	1	4,00	4,00
Plancha de 480 x 480 x 2	1	13,00	13,00
TOTAL MATERIALES			145,80

Fuente: Autor

Los elementos que son prefabricados se enlistan a continuación:

Tabla N° 3. 7: Costo de prefabricados

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	COSTOS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS			
ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)	
Estructura				
Electrodo 7018	3	6,20	18,60	
Pernos M6	8	0,40	3,20	
Tuercas M6	8	0,30	2,40	
Cilindro				
Pernos M6	6	0,40	2,40	
Tuercas M6	6	0,30	1,80	
Bisagras	2	0,70	1,40	
Eje de transmisión				
Pernos M6	1	0,40	0,40	
Chaveta	1	0,50	0,50	
Chumacera de piso	1	15,00	15,00	
Portacuchillas				
Pernos M6	6	0,40	2,40	
Tuercas M6	6	0,30	1,80	
Protectores				
Caucho vulcanizado	1	7,50	7,50	
Sistema eléctrico				
Motor de 2 HP	1	325,00	325,00	
Botonera	1	17,80	17,80	
Cableado	1	9,80	9,80	
Acabados				
Masilla	3	6,00	18,00	
Pintura	1	5,00	5,00	
TOTAL ELEMENTOS PREFABRICADOS			433,00	

3.3.3.2 Costos de fabricación

Se toman en cuenta los precios por el uso de maquinaria y el precio de la mano de obra empleada.

Tabla N° 3. 8: Costo de mano de obra

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	COSTOS DE MANO DE OBRA		
OPERACIÓN	TIEMPO EN HORAS	COSTO DE HORA (MANO DE OBRA Y USO DE MAQUINARIA)	VALOR TOTAL
Soldadura	5,00	10,00	50,00
Torneado	4,00	12,00	48,00
Taladrado	3,00	8,00	24,00
Fresado	2,00	15,00	30,00
Rolado	3,00	8,00	24,00
Corte con plasma	5,00	15,00	75,00
Corte con sierra	6,00	7,00	42,00
Esmerilado	3,00	5,00	15,00
Pintado	2,00	5,00	10,00
TOTAL DE COSTOS DE FABRICACIÓN			318,00

Fuente: Autor

Costos de indirectos

Se consideran costos de diseño y costos varios.

En los costos de diseño se consideran los siguientes valores:

Tabla N° 3. 9: Costo de diseño

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
	COSTOS DE DISEÑO	
DESCRIPCIÓN		VALOR
Uso de internet		50,00
Uso de equipos de computación		50,00
Documentación y elaboración de planos		150,00
Pruebas de funcionamiento		20,00
TOTAL DE COSTOS DE DISEÑO		270,00

Fuente: Autor

3.3.2.1 Costos Varios

Los costos varios se detallan a continuación:

Tabla N° 3. 10: Costos varios



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
	COSTOS VARIOS	
DESCRIPCIÓN		VALOR
Transporte		80,00
Gastos varios		50,00
TOTAL DE COSTOS DE DISEÑO		130,00

Fuente: Autor

Costo total del Equipo

El costo total se detalla a continuación:

Tabla N° 3. 11: Costo total

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	COSTO TOTAL DE MÁQUINA		
DETALLE	VALOR TOTAL (\$)	TOTAL DE COSTOS (\$)	
Costos directos			
Total de materiales	145,80		
Total de prefabricados	433,00		
Total de fabricación	318,00		
Total de diseño	270,00		
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS		1.166,80	
Costos indirectos			
Total de costos varios	130,00		
Imprevistos (15%)	164,00		
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS		294,00	
COSTO TOTAL DEL EQUIPO		1460,80	

Fuente: Autor




3.4 Especificaciones Técnicas

Para las especificaciones técnicas se presenta fichas técnicas que presenten las condiciones totales de la máquina.

Tabla N° 3. 12: Ficha técnica

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
Ficha Técnica					
Nombre del equipo:	Trituradora polietileno de baja densidad				
Área:	Producción y reciclaje				
Especificaciones técnicas					
Fabricante:	Propia				
Modelo:	N/A				
Código:	01-MT-01				
Año:	2016				
Motor			Medidas		
Fabricante:	WEG	Ancho:	50 cm		
		Profundidad:	50 cm		
Modelo:	100035500	Alto:	120 cm		
Tipo	Eléctrico asíncrono	Peso:	44.86 kg		
Potencia	2 HP	Color:	Rojo		
Revoluciones	1720 rpm	Sistema de transmisión			
Voltaje	110V-60Hz	Tipo:	Acople tipo matrimonio		
Otros					
Tipo:		De eje vertical			

Tabla N° 3. 13: Ficha de componentes

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	TRITURADORA POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD		
	01-MT-01		
Ficha de componentes			
Fotografía	Sistema	Componente	Código
	Transmisión	Acople tipo araña	MS-ST-AA- 01
		Eje	MS-ST-EJ-01
		Rodamientos	MS-ST-RO- 01
		Chumacera	MS-ST-CH- 01
		Portacuchillas	MS-ST-PC-01
	Estructural	Estructura	MS-SS-ES-01
		Tolva	MS-SS-TO- 01
	Eléctrico	Motor	MS-SE-ME- 01
		Tablero de control	MS-SE-TC - 01
	Corte	Cuchilla fija	MS-SC-CF - 01
		Cuchilla móvil	MS-SC-CM - 01

Operaciones de construcción de la máquina

Tabla N° 3. 14: Ficha de construcción

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
	MÁQUINA TRITURADORA DE POLIETILENO				Codigo	1
	ELABORACIÓN DE ELEMENTOS				Revisión	1
					Fecha	21/03/2016
Elaborado por:	Esteban Cepeda			Tiempo total:	123,8	
Revisado por:	Ing. César Arroba			Operarios	2	
Descripcion				Dist.	Tiempo (h)	Observaciones
Diseño de la trituradora				N/A	90	
Adquisición de materiales				N/A	8	
ESTRUCTURA						
Corte de tubo cuadrado				N/A	4	Conforme a especificación
Verificación de medidas				N/A	1	
Punteado de partes de estructura				N/A	0,5	
Soldadura de partes de estructura				N/A	2	
Taladrado de agujeros para cilindro				N/A	1	
CILINDRO						
Corte de plancha de acero de las partes				N/A	2	Conforme a especificación
Rolado de cilindro				N/A	1	
Verificación de medidas				N/A	0,5	
Soldadura de costuras de cilindro				N/A	1	
Corte de bases de sujecion de cilindro				N/A	1	
Taladrado de agujeros en bases				N/A	1	
Soldadura de bases con el cilindro				N/A	1	
Taladrado de agujeros en la base				N/A	1	
BASE DE MOTOR						
Corte de base				N/A	0,3	Conforme a especificación
Taladrado de agujeros				N/A	0,1	
EJE						
Torneado de eje				N/A	4	Conforme a especificación
Verificación de medidas				N/A	0,2	
TAMIZ						
Corte de plancha de tol				N/A	0,3	Conforme a especificación
Trazado de centros para agujeros				N/A	0,2	
Taladrado de agujeros				N/A	1	
TAPA DE TAMIZ						
Corte de plancha de acero				N/A	0,3	Conforme a especificación
TAPA DE CILINDRO						
Corte de partes de chapa de acero				N/A	0,5	Conforme a especificación
Soldadura de partes				N/A	0,4	
PORTACUCHILLAS						
Fresado de canal para cuchilla				N/A	0,6	Conforme a especificación
Taladrado de agujeros				N/A	0,3	
CUCHILLAS						
Fresado del ángulo de cuchillas				N/A	0,4	Conforme a especificación
Taladrado de agujeros				N/A	0,2	
TOTAL					123,8	

Fuente: Autor

Montaje de elementos

Tabla N° 3. 15: Montaje de elementos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	MÁQUINA TRITURADORA DE POLIETILENO			Codigo	1
				Revisión	1
	MONTAJE DE ELEMENTOS			Fecha	21/03/2016
Elaborado por:	Esteban Cepeda		Tiempo total:	10	
Revisado por:	Ing. César Arroba		Operarios	2	
Descripcion				Tiempo (h)	Observaciones
Montaje de estructura con cilindro				0,6	Conforme a especificación
Montaje de araña(matrimonio) a motor				0,3	
Montaje de rodamiento a chumacera				1	
Montaje de matrimonio a eje				0,5	
Montaje de chumacera a cilindro				0,5	
Verificación de medidas				2	
Montaje de portacuchillas a eje				0,4	
Montaje de cuchillas a portacuchillas				0,3	
Montaje de motor a estructura				0,6	
Unión de matrimonio				0,3	
Ensamblaje de tamiz				0,2	
Ensamblaje de tapa de tamiz				0,1	
Ensamblaje de tapa de cilindro				0,2	
Verificación y control				3	
TOTAL				10	

Fuente: Autor

Pruebas de funcionamiento y obtención de material triturado

Una vez construida la máquina se realizó las pruebas de funcionamiento en base al tipo de funda a triturarse y en función al tiempo, los resultados que se presentaron fueron los que se encuentran en la siguiente tabla N°3.16. Para determinar la calidad final del producto se hizo énfasis en el tamaño de granulometría del pellets conseguido. La cantidad a ensayarse fue de 1 kg para todos los casos.

Tabla N° 3. 16: Producto final obtenido

		MÁQUINA TRITURADORA DE POLIETILENO CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL					
TIPO	TIEMPO (min)			Cantidad final de producto (1kg)			
	10	15	20	10	15	20	
MEDIDA DE PELLETS (mm)							
FINA (0,005-0,015) mm	Tamaño pellet (mm)			Cantidad de material luego del triturado (kg)			
	8	6	4	0,4	0,4	0,4	
MEDIANA (0,015-0,030) mm	6	5	4	0,6	0,6	0,6	
GRUESA (0,030-0,050) mm	5	4	3	0,8	0,8	0,8	
COMBINACION 1 (50% fina,25% mediana y 25% gruesa)	7	6	6	0,5	0,5	0,5	
COMBINACION 2 (50% mediana,25% fina y 25% gruesa)	6	5	5	0,6	0,6	0,6	
COMBINACION 3 (50% gruesa,25% mediana y 25% fina)	6	5	5	0,6	0,6	0,6	

Fuente: Autor

En el siguiente gráfico se observa la tendencia de los diferentes tamaños de fundas y su comportamiento final en la obtención de los pellets reciclados.

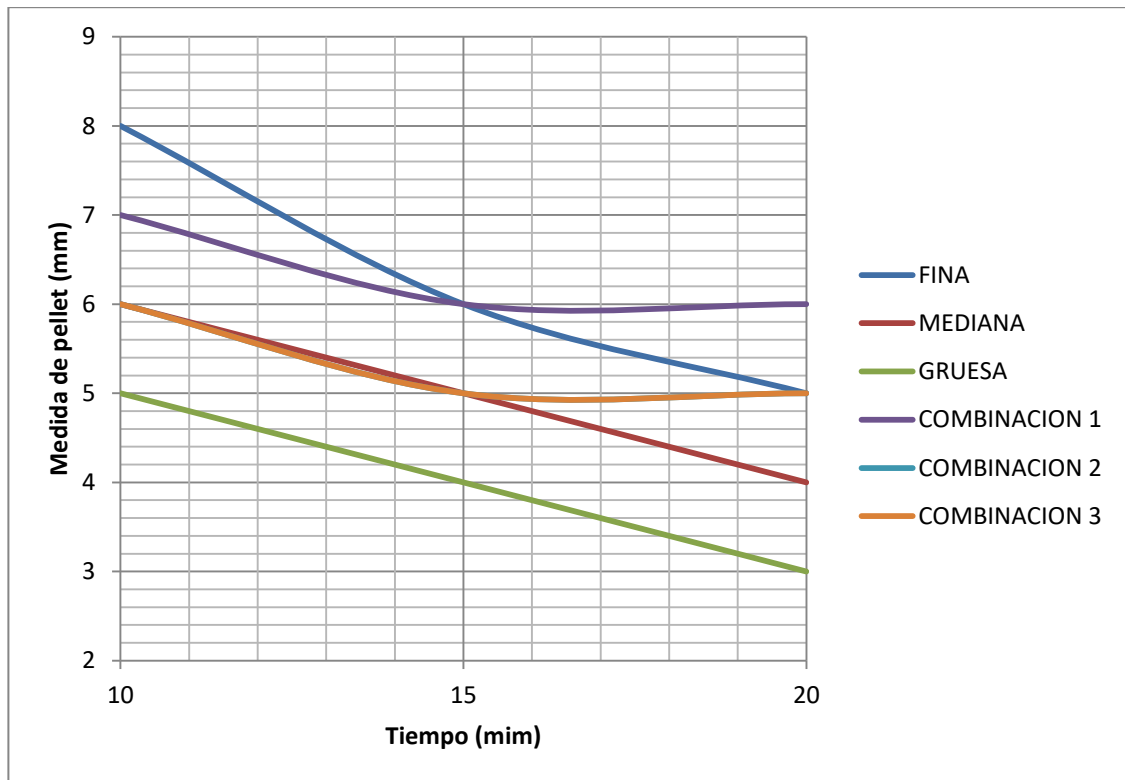


Figura N°3. 71: Tiempo vs. Tamaño de pellets. Producto final

Fuente: Autor

Con resultado de las pruebas obtenidas se observa que el mejor tamaño de pellet es de 3 mm, puesto que mientras más pequeño brinda mejores características y propiedades de termo conformado, en este rango de medidas se a utilizando fundas gruesas y con un peso de 1 kg, a un tiempo de 20 minutos, en tiempos mayores de 25 minutos se mantenía el tamaño de pellet, no habiendo una reducción de tamaño que sea considerable por lo que se descartó esos tiempos.

IV: CAPÍTULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los materiales que se utilizaron fueron el 1018 en el eje y el A36 en la bancada, cilindro, soporte del motor, tamiz, tapa del tamiz, tapa del cilindro por su resistencia tensión y tracción pero el material que más influyó en la construcción de la máquina fue el de las cuchillas, que se utilizó el AISI M42, que tiene propiedades mecánicas como un endureza, revenido y recocido para realizar un corte eficiente.
- El ángulo de corte de las cuchillas es de 120° , la longitud del filo corte fue de 10 cm para evitar pandeos y vibraciones, la altura óptima de separación de cuchillas fue de 4 mm, esta medida influye directamente al tamaño del pellet conseguido, a medidas mayores a la mencionada, se conseguía pellets de gran tamaño, mientras que a medidas menores la cuchilla móvil tendía a atascarse con la cuchilla fija.
- Las fundas mayores a 0,04 mm de espesor, brindaron los mejores resultados, se evaluó el espesor mediante el medidor del recubrimiento de pintura y la normativa IRAN 13610, se obtuvo pellets de aproximadamente 3 mm de diámetro, y la relación de reducción entre la cantidad ingresada y la cantidad obtenida fue del 60 %, en fundas con tamaños menores a 0,01 mm de espesor no genera un buen pellet reciclado, estos son de gran tamaño, tiende a fusionarse entre sí, y la cantidad de reducción obtenida respecto a la ingresada es el 30 %.
- El tiempo de trabajo óptimo para el proceso de triturado fue de 20 minutos, con tiempos menores a este se consigue pellets de mayor tamaño mientras que a tiempos mayores a este, el pellets se mantenía en el tamaño conseguido con los 20 minutos.

- En la simulación para el modelado geométrico se diseñó las cuchillas con un espesor de 6 mm con un tamaño de malla de 5 mm y cargado por completo con 10 láminas de polietileno de baja densidad a un espesor de 0,4 mm por funda, con un tamaño de malla de 0,5 mm, para la asignación del material plástico lineal con las siguientes propiedades: densidad (RO) $9,4 \times 10^{-10} \text{ gr/cm}^3$, modulo de Young (E) 2.5 MPa, coeficiente de Poisson (PR) 0,46, tensión de fluencia (SIG) 24 MPa, porcentaje de falla (FAIL) 1,59, en la simulación se obtuvo una fuerza empleada para el corte de 3298,4 N y una fuerza necesaria teórica de 3239,4 N, la aceptabilidad es de un 4 %, es admisible ya que el porcentaje de falla es mínimo.

4.2.Recomendaciones

- Usar fundas gruesas de espesor 0,04 mm para producir pellets reciclados, puesto que estos generan mejores resultados o a su vez mezclarlos pero siempre conservando la mayoría de producto en fundas gruesas.
- Ir llenando paulatinamente la máquina con fundas para que el producto se vaya acomodando de mejor forma, al momento de ingresar el material, no arrancar con toda su capacidad en bruto.
- Clasificar las fundas por su tamaño, densidad y su espesor, antes de ser ingresada a la máquina, para tener un mejor control del pellet, esto facilitara su recolección y obtención del mismo.
- Para el modelado geométrico es mejor solo diseñar una parte de las cuchillas que involucren todo el filo y parte de las cuchillas, en las fundas se representa cuando esté en su capacidad totalmente llena, mientras esto servirá en la reducción de tiempo de corrida del software así no genera mucho espacio de almacenamiento.

- Para el proceso de mado es recomendable la utilización de dos tamaños de malla una malla fina de 0,5 mm para la presentación del polietileno de baja densidad (funda) y para las cuchillas una malla de 5 mm puesto que serán de mayor eficiencia los resultados al momento de la recolección de datos.
- Al momento de ingresar los datos requeridos hay que controlar todos los elementos estén colocados en orden, así mismo poder generar la velocidad angular y los desplazamientos constante de la cuchilla móvil, estableciendo los parámetros de rigidez en la cuchilla fija, en la simulación se evalúa la energía interna en el comportamiento del polietileno de baja densidad al ser triturado.

Material de referencia

Bibliografía

- [1] C. Chiriguazo y A. Alcibar, Diseño y Construcción de una aglutinadora de fundas plásticas, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [2] E. p. m. g. i. d. d. s. d. ambato, *Tratamientos de desechos reutilizables*, Ambato: Periodico El Herald, 2014.
- [3] C. A. L. V. C. Chiriguayo, Diseño y Construcción de una Aglutinadora de Plastico, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2014.
- [4] P. Diego, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA MOLER PLÁSTICOS P.E.T. PARA LA MICROEMPRESA DE RECICLAJE “SANTA ANITA” UBICADA EN EL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI”, Latacunga: Universidad de Cotopaxi, 2014.
- [5] G. Fredy, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA Y EXTRUSORA PARA LA PRODUCCIÓN DE HILO PLÁSTICO EMPLEADO EN IMPRESORAS 3D, Quito : Universidad Politecnica Salesiana, 2014.
- [6] I. A. d. N. y. C. (IRAM), *Bolsas plasticas, tipo camiseta, para supermercadismo*, Argentina, 2010.

- [7] M. P., «Tecnología de los plásticos,» 1 junio 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-baja-densidad.html>. [Último acceso: 20 noviembre 2015].
- [8] Mariano, «Tecnología de los plásticos,» 16 julio 2012. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>. [Último acceso: 20 noviembre 2015].
- [9] F. D. d. C. Rodríguez, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuautitlan, Izcalli, 2011.
- [10] S. Juan, «Diseño de maquinas industriales,» marzo 2015. [En línea]. [Último acceso: 26 Abril 2016].
- [11] D. Felipe, Diseño de elementos de máquinas, Cautitlan: Facultad de Estudios Superiores de Cautitlan, 2011.
- [12] R. Deivis, «Clasificación de los materiales,» Universidad Experimental Rafael María Baralt “UNERMB”, Ojeda, 2014.
- [13] B. Camilo, «Materiales para la construcción de piezas mecánicas,» Broadgum, 2012.
- [14] H. M. Andres Castaño Posada, Diseño de Maquinas, Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2004.
- [15] A. Ricardo, «Diseño de elementos de máquinas,» 2013.
- [16] L. Oscar, «Mecánica de Materiales,» 2014.
- [17] H. Jorge, «Teoría de Fatiga,» 2012.
- [18] G. Cristobal, «Rodamientos y sus aplicaciones,» Universidad de Atacama, 2012.
- [19] E. Raúl, «Los rodamientos en la industria,» Fundación Universidad de Atacama, 2012.
- [20] SKF, «Ajustes recomendados,» <http://www.skf.com/es/>, 2012.
- [21] T. Esteban, «Rodamientos,» México, 2012.

- [22] C. Pablo, «Ajuste, comprobación y puesta a punto de máquinas y equipos industriales,» Madrid, 2012.
- [23] I. D. Niebles, Tornillos y pernos, Moquegua-Perú: Universidad alas Peruanas, 11/04/2013.
- [24] A. P. V. Ortiz, Diseño y Simulacion de una trituradora de plastico de 15kg/h para el labotario de conformado de Mecánica, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [25] J. R. Muñoz, Efecto del tamaño de particulas en fabricacion de pelet y peliculas de baja densidad, Quito: Universidad Politecnica Nacional, 2007.
- [26] M. V. Bayron Rolando Cumbijin, Diseño y construccion de una peletizadora de polietileno de baja densidad, Quito: Universidad Politecnica Salesiana, 2013.
- [27] C. Jairo, Diseño de una triruradora para la empresa Ecosistem de Latacunga, Latacunga, 2014.
- [28] S. Marco, «Propiedades físicas y químicas de los materiales,» Politécnica del Cuzco, Cuzco, 2012.
- [29] C. d. FAG, Catálogo de rodamientos de bolas, cilíndricos, rodillos, soportes y accesorios, Barcelona: FAG Sale Europe GmbH, 2000.

Anexos

ANEXO 1

FACTOR DE SEGURIDAD

Donde:

n_{bc} : Factor de seguridad que involucran características A, B y C

n_{de} : Factor de seguridad que involucran características D y E

A: Calidad de los materiales.

B: Control sobre la carga aplicada.

C: Exactitud del análisis del esfuerzo.

D: Peligro para el personal.

E: Impacto económico.

Característica		B				
		√mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		√b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95

Característica		D		
		ns	s r	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	√s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

ms= muy serio s= serio ns= no serio

mb= muy bien

b= bien

r= regular

p= pobre

ANEXO 2

VALORES DE FACTOR DE SERVICIO

Tabla 5.8 Valores del factor f_s de carga estática permisible

Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de f_s	
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	2.0	3.0
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1.5	2.0
Condiciones de funcionamiento normales	1.0	1.5

Fuente: Catálogo SNK

ANEXO 3

L_{10h} PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS

GUIA DE VALORES REQUERIDOS DE VIDA NOMINAL L_{10h} PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS

Clase de Máquina	L _{10h}
Electrodomésticos, Máquinas agrícolas, Instrumentos, aparatos para uso médico.	300≈3000 horas
Máquinas utilizadas en periodos cortos: Elevadores para talleres, maquinas para la construcción, máquinas-herramienta portátiles	3.000≈8000 horas
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento en periodos cortos o intermitentes: Ascensores, grúas para mercancías.	8.000≈12.000 horas
Máquinas para 8 horas de trabajo diaria no totalmente utilizadas: Máquina-herramienta, grúas para material a granel, ventiladores, cintas transportadoras, imprentas, centrifugadoras...	20.000≈30.000 horas
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción de minas, bombas, maquinaria textil...	40.000≈50.000 horas
Máquinas para abastecimiento de agua, hornos giratorios, cableadoras, propulsión de transatlánticos	60.000≈100.000 horas
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para líneas de eje de transatlánticos	≈100.000 horas

Fuente: Catálogo SNK

ANEXO 4

FACTOR DE FIABILIDAD


Tabla 5.4 Factor de fiabilidad a_1

Fiabilidad (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

Fuente: Catálogo SNK

ANEXO 5

SELECCIÓN DE RODAMIENTO



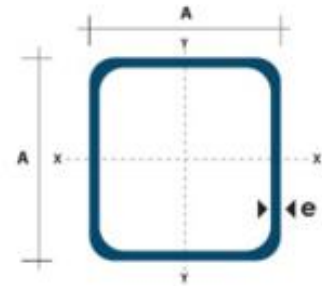
Eje	Dimensiones							Peso ~ kg	Capacidad de carga		Velocidad límite mir ²	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG	Medidas auxiliares		
	d mm	D	B	r_a mm	H mm	H_1 mm	J mm		dyn. C kN	stat. C ₀				D ₁ mm	D ₂ mm	r_g mm
20	20	47	14	1	38.4	41	28.8	0.105	12.7	6.55	18000	19000	6204	25.6	41.4	1
	20	47	14	1	38.4	41	28.8	0.105	12.7	6.55	18000	19000	6204.W203B	25.6	41.4	1
	20	47	14	1	38.4	41	28.8	0.109	12.7	6.55	15000	19000	6304.22R	25.6	41.4	1
	20	47	14	1	38.4	41	28.8	0.109	12.7	6.55	15000	19000	6304.2RSR	25.6	41.4	1
	20	47	14	1	38.4	41	28.8	0.108	12.7	6.55	10000	10000	6204.2RSR.W203B	25.6	41.4	1
	20	47	18	1	38.4	41	28.8	0.139	12.7	6.55	10000	10000	62204.2RSR	25.6	41.4	1
	20	52	15	1.1	41.9	44.4	30.3	0.151	16	7.8	34000	18000	6304	27	45	1
	20	52	15	1.1	41.9	44.4	30.3	0.153	16	7.8	34000	18000	6304.W203B	27	45	1
	20	52	15	1.1	41.9	44.4	30.3	0.155	16	7.8	14000	18000	6304.22R	27	45	1
	20	52	15	1.1	41.9	44.4	30.3	0.155	16	7.8	9500	9500	6304.2RSR	27	45	1
	20	52	21	1.1	42.1	44.4	30.3	0.209	16	7.8	9500	9500	62304.2RSR	27	45	1
	20	72	19	1.1	55		37	0.415	30.5	15	26000	15000	6404	29	63	1
25	25	47	8	0.3	39.7	41.1	32.2	0.055	7.2	4.66	19000	14000	16905	27	45	0.3
	25	47	12	0.6	40.2	42.5	32	0.08	10	5.85	36000	17000	6005	28.2	43.8	0.6
	25	47	12	0.6	40.2	42.5	32	0.082	10	5.85	36000	17000	6005.W203B	28.2	43.8	0.6
	25	47	12	0.6	40.2	42.5	32	0.083	10	5.85	15000	17000	6005.22R	28.2	43.8	0.6
	25	47	12	0.6	40.2	42.5	32	0.084	10	5.85	10000	10000	6005.2RSR	28.2	43.8	0.6
	25	47	12	0.6	40.2	42.5	32	0.083	10	5.85	10000	10000	6005.2RSR.W203B	28.2	43.8	0.6
	25	52	15	1	43.6	45.4	33.5	0.128	14	7.8	17000	17000	6205	30.6	46.4	1
	25	52	15	1	43.6	45.4	33.5	0.128	14	7.8	17000	17000	6205.W203B	30.6	46.4	1
	25	52	15	1	43.6	45.4	33.5	0.132	14	7.8	14000	17000	6305.22R	30.6	46.4	1
	25	52	15	1	43.6	45.4	33.5	0.132	14	7.8	9000	9000	6305.2RSR	30.6	46.4	1
	25	52	15	1	43.6	45.4	33.5	0.132	14	7.8	9000	9000	6205.2RSR.W203B	30.6	46.4	1
	25	52	18	1	43.6	45.4	33.5	0.156	14	7.8	9000	9000	62205.2RSR	30.6	46.4	1
25	62	17	1.1	50.2	52.5	36.4	0.234	22.4	11.4	28000	15000	6305	32	55	1	
25	62	17	1.1	50.2	52.5	36.4	0.237	22.4	11.4	28000	15000	6305.W203B	32	55	1	
25	62	17	1.1	50.2	52.5	36.4	0.245	22.4	11.4	11000	15000	6305.22R	32	55	1	
25	62	17	1.1	50.2	52.5	36.4	0.242	22.4	11.4	7500	7500	6305.2RSR	32	55	1	
25	62	17	1.1	50.2	52.5	36.4	0.245	22.4	11.4	7500	7500	62305.2RSR.W203B	32	55	1	
25	62	24	1.1	50.2	52.5	36.4	0.272	22.4	11.4	7500	7500	62305.2RSR	32	55	1	
25	80	21	1.5	63.1		45.4	0.56	36	19.3	22000	14000	6405	36	66	1.5	

Fuente: Catálogo de la FAG

ANEXO 6

TUBO CUADRADO

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84



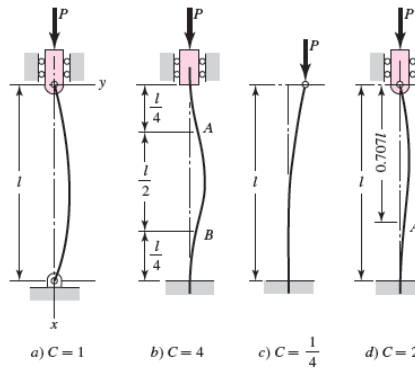
Fuente: Dipac

ANEXO 7

ANÁLISIS DE PANDEO

Figura 4-18

a) Ambos extremos están pivoteados o articulados;
 b) ambos extremos están empotrados;
 c) un extremo libre, un extremo empotrado;
 d) un extremo redondo y articulado, y un extremo empotrado.



Fuente: SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica. Octava Ed. Pág. 174

ANEXO 8

VALORES DE C_1 y L_e EN TIPOS DE SUJECIONES DE COLUMNAS.

CONDICIONES DE SUJECIÓN	C_1 COEFICIENTE PARA MULTIPLICAR POR P_{crit}	L_e LONGITUD EFECTIVA
Ambos extremos empotrados	4	$1/2 l$
Un extremo empotrado y el otro articulado	2	$0,7 l$
Ambos extremos articulados	1	l
Un extremo empotrado y el otro libre	$1/4$	$2 l$

Fuente: SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica.

ANEXO 9

SERIE DE PERNOS

Diámetro mayor nominal d , mm	<i>Serie de paso grueso</i>			<i>Serie de paso fino</i>		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365

Fuente: SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica

ANEXO 10

CLASES MÉTRICAS

Tabla 8-11

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

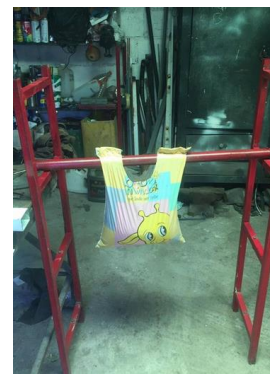
*La longitud de la rosca de pernos y tornillos de cabeza es

$$l_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

Fuente: SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica

ANEXO 11

PRUEBAS DE LOS ESPEORES DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD MEDIANTE LA NORMATIVA IRAM 13610



ANEXO 12

PRUEBAS DE RUGOSIDADES CON EL MEDIDOR DE RECUBRIMIENTO DE PINTURAS EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Se realizó diez mediciones de acuerdo a la normativa para sacar un promedio:

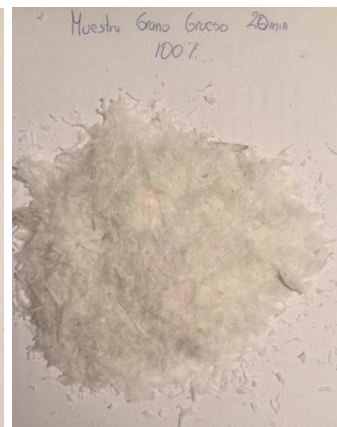
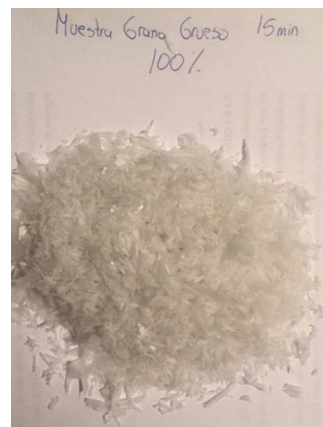
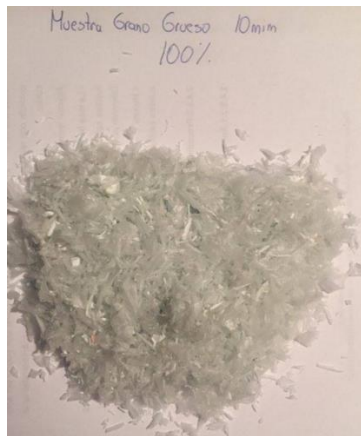
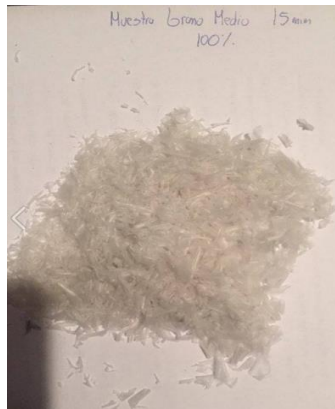
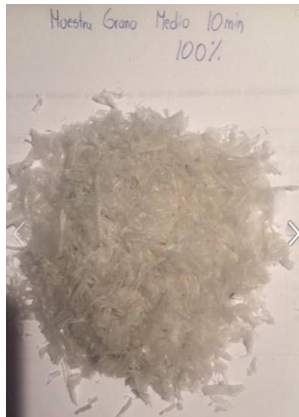
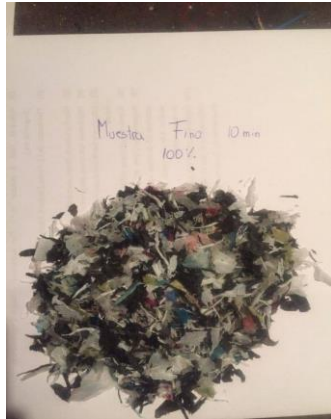
Tabla de mediciones de espesores											
Fina (µm)				Mediana (µm)				Gruesa (µm)			
1	14,80	6	14,60	1	28,50	6	26,10	1	49,60	6	48,20
2	13,30	7	13,10	2	27,70	7	25,70	2	51,70	7	51,60
3	12,50	8	12,40	3	28,70	8	27,90	3	52,60	8	50,80
4	11,70	9	14,70	4	27,40	9	26,40	4	50,40	9	49,60
5	15,10	10	11,50	5	28,10	10	27,50	5	49,80	10	49,20
Promedio			13,30	Promedio			27,40	Promedio			50,30

ANEXO 13
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



ANEXO 14

PRODUCTO FINAL



ANEXO 15

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales * Fuente: J. Danks, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley y Charles R. Mischke, editores en jefe. *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)			
			Fluencia	Última	A la fractura,	Coefficiente
			S_y MPa (kpsi)	S_u MPa (kpsi)	σ_f MPa (kpsi)	σ_e MPa (kpsi)
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) ^f	620 (90.0)
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) ^f	992 (144)
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) ^f	758 (110)
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) ^f
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 (250)	1 930 (280)	2 340 (340)	1 760 (255) ^f
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) ^f	1 410 (205)
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) ^f	1 270 (185)
2011	Aleación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) ^f	620 (90)
2024	Aleación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) ^f	689 (100)
7075	Aleación de aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) ^f	882 (128)

*Los valores se tomaron de uno o dos colazos y se consideró que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

^fValores típicos.

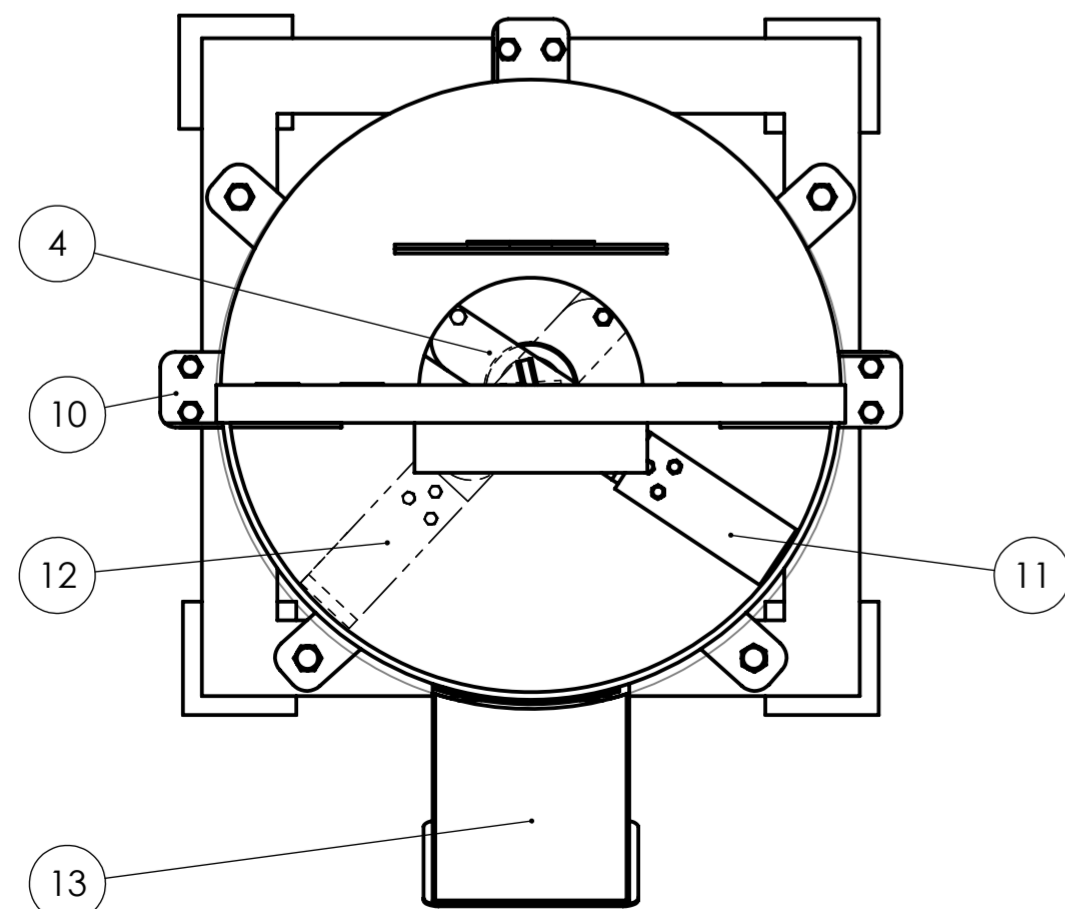
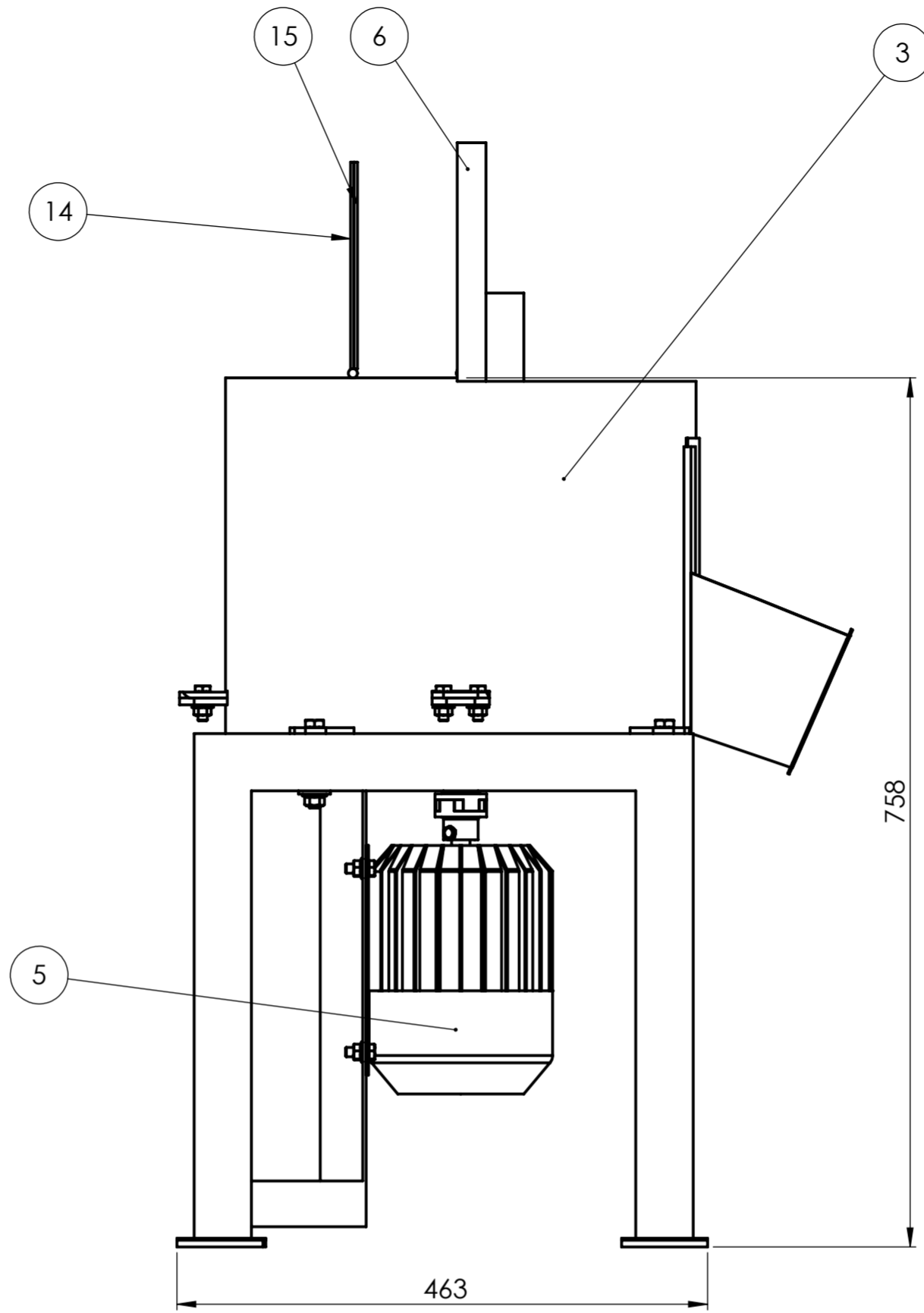
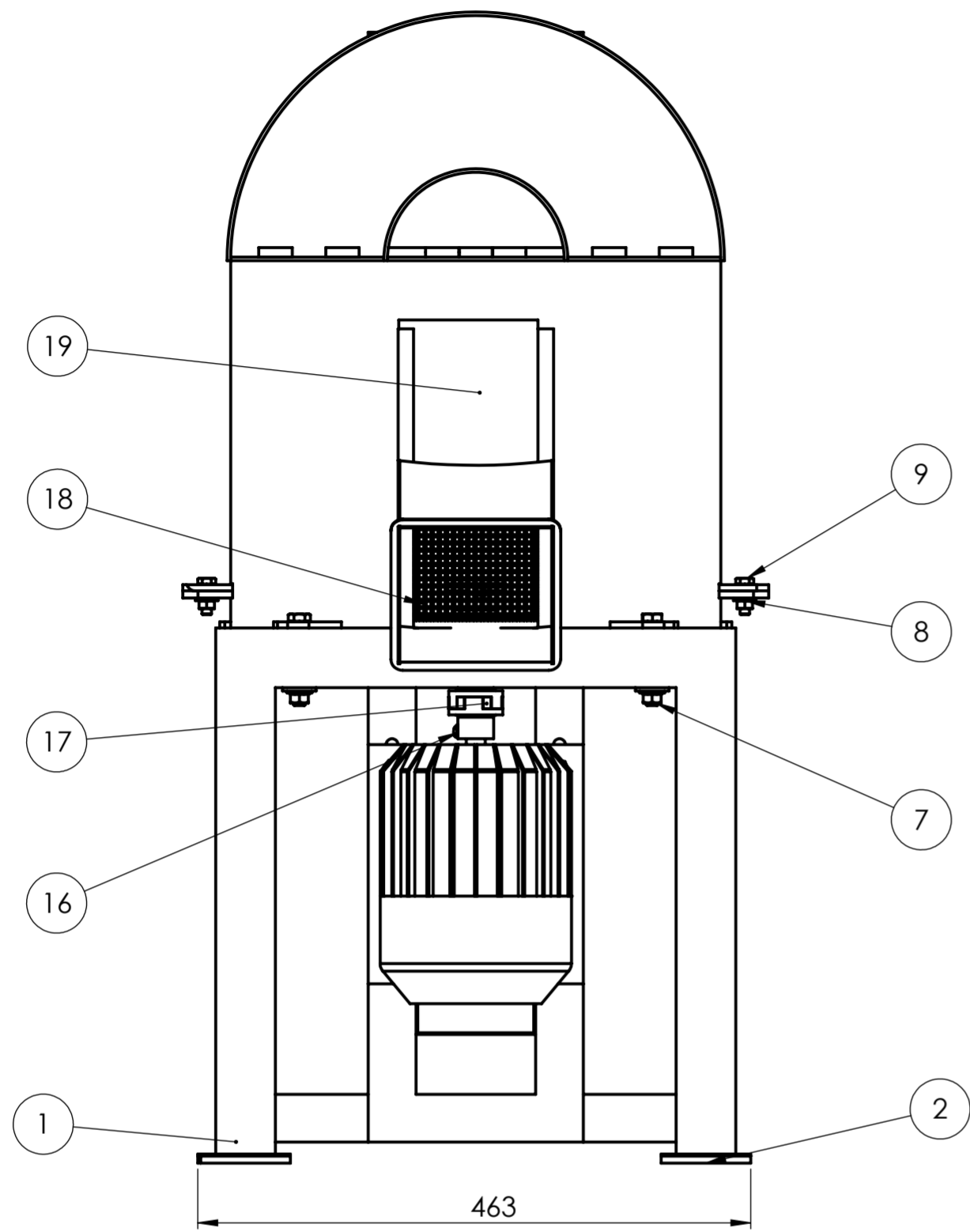
Fuente: SHIGLEY, Diseño en Ingeniería mecánica

ANEXO 16

Propiedades reológicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
ISO Data			
Contracción posterior al moldeo, paralelo	0.3	%	ISO 294-4, 2577
Contracción posterior al moldeo, normal	0.9	%	ISO 294-4, 2577
Propiedades mecánicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
ISO Data			
Módulo de tracción	11000	MPa	ISO 527-1/-2
Resistencia a la tracción	200	MPa	ISO 527-1/-2
Alargamiento a rotura	2.5	%	ISO 527-1/-2
Resistencia al impacto Charpy c/entalla, +23°C	12	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Propiedades térmicas	Valor	Unidades	Método de ensayo
ISO Data			
Temperatura de fusión, 10°C/min	300	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. de transición vítrea, 10°C/min	125	°C	ISO 11357-1/-2
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	270	°C	ISO 75-1/-2
ASTM Data			
Coefficiente de dilatación térmica, long.	19	E-6/K	ASTM D 696
Coefficiente de dilatación térmica, normal	39	E-6/K	ASTM D 696
Otras propiedades	Valor	Unidades	Método de ensayo
ISO Data			
Absorción de agua	0.19	%	Sim. to ISO 62
Densidad	1400	kg/m ³	ISO 1183
Funciones			

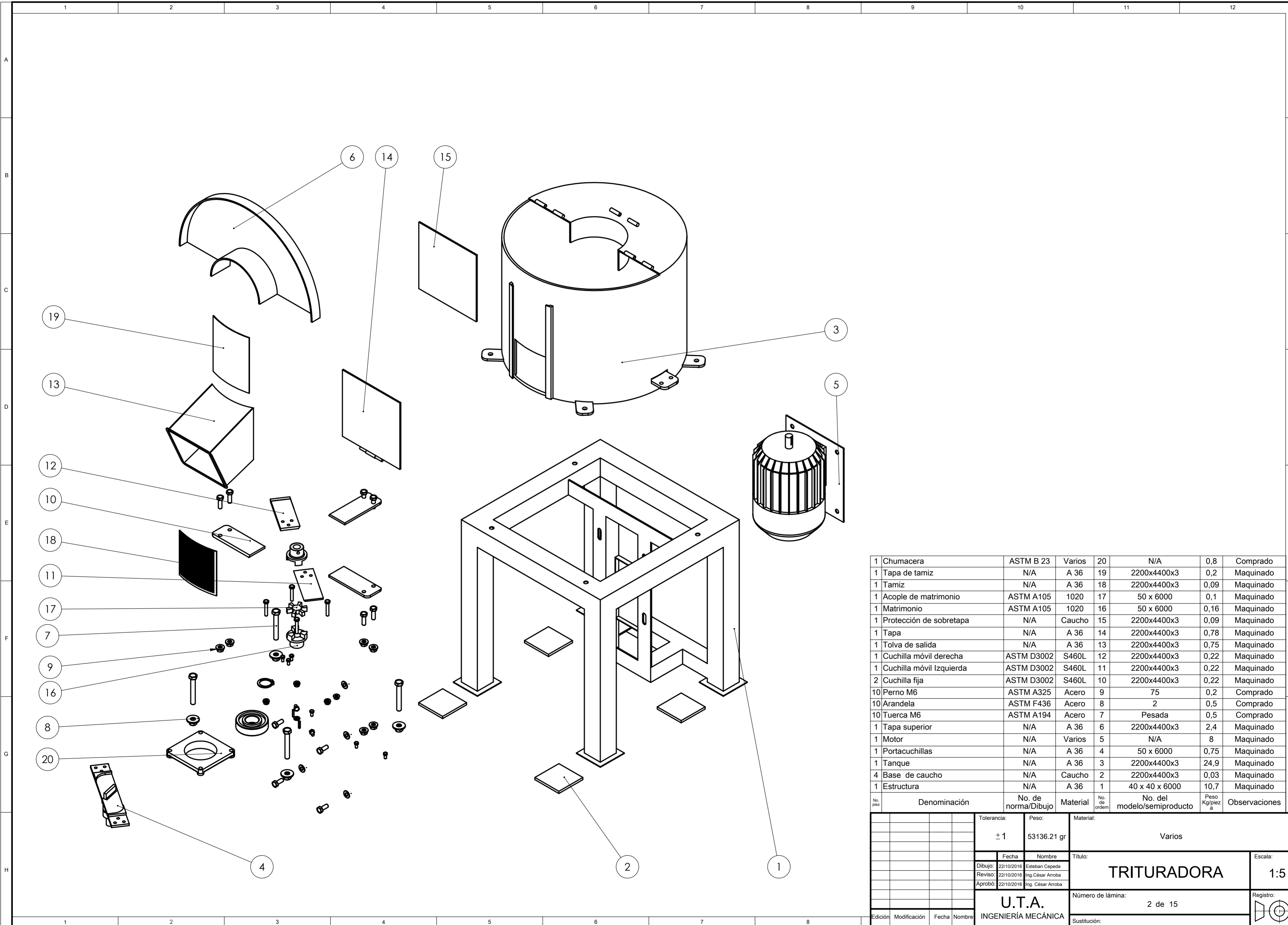
Fuente: Catálogo de MCD SEO

PLANOS



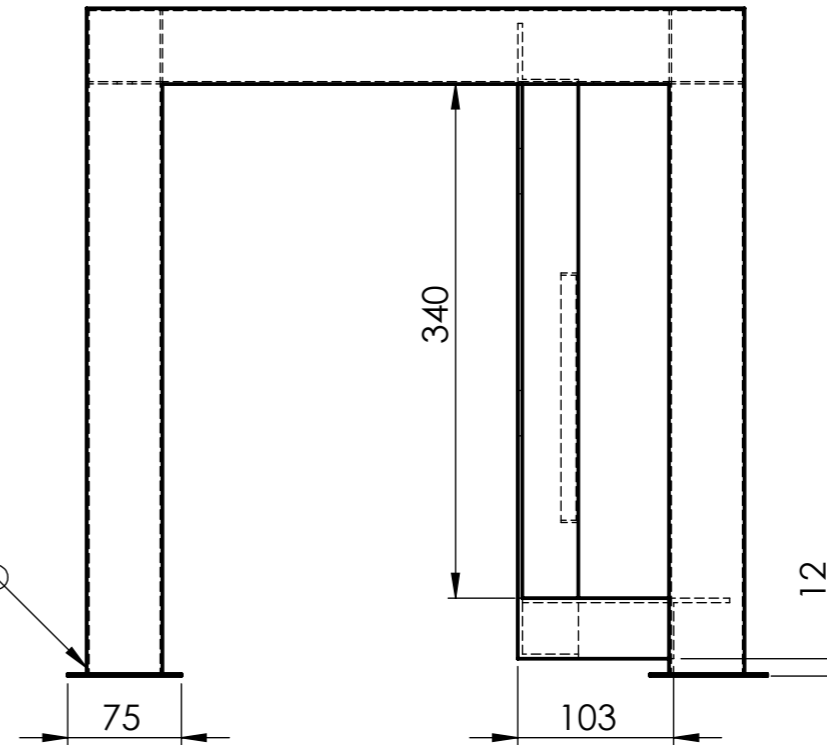
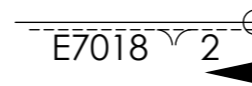
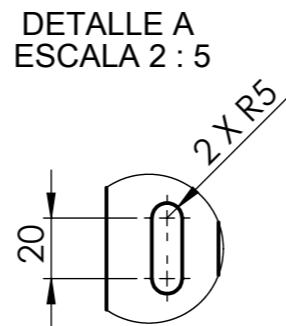
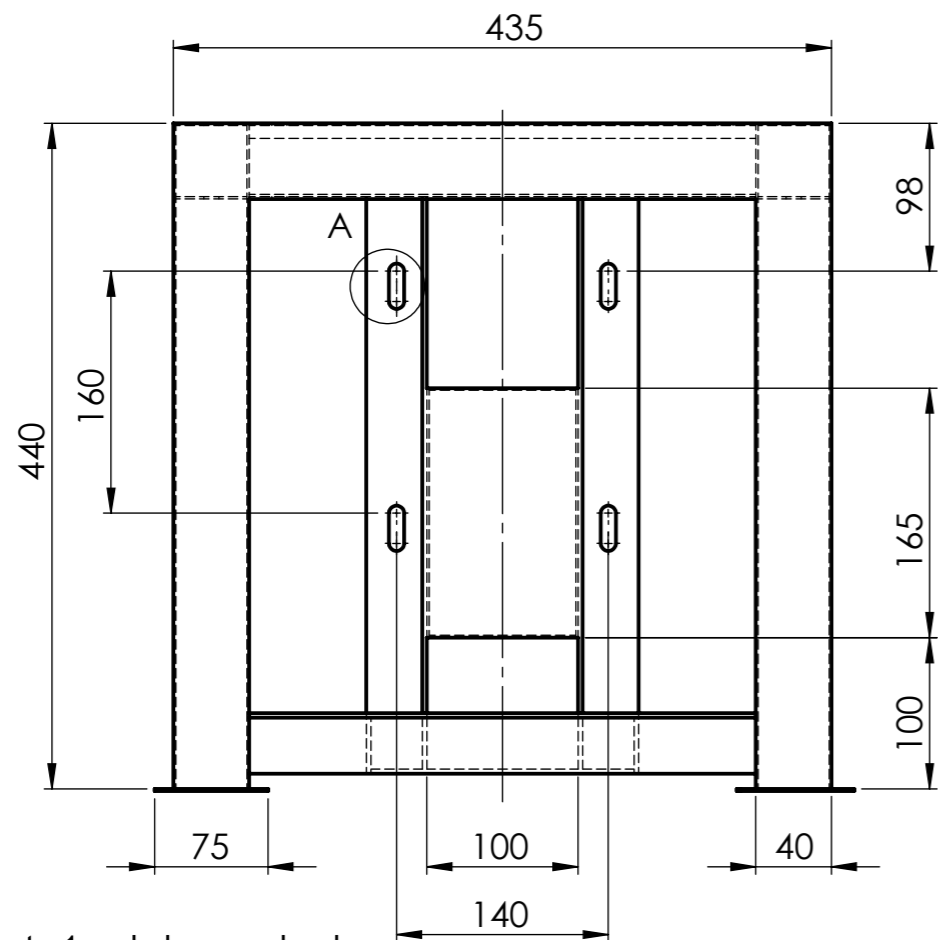
1	Chumacera	ASTM B 23	Varios	20	N/A	0,8	Comprado
1	Tapa de tamiz	N/A	A 36	19	2200x4400x3	0,2	Maquinado
1	Tamiz	N/A	A 36	18	2200x4400x3	0,09	Maquinado
1	Acople de matrimonio	ASTM A105	1020	17	50 x 6000	0,1	Maquinado
1	Matrimonio	ASTM A105	1020	16	50 x 6000	0,16	Maquinado
1	Protección de sobretapa	N/A	Caucho	15	2200x4400x3	0,09	Maquinado
1	Tapa	N/A	A 36	14	2200x4400x3	0,78	Maquinado
1	Tolva de salida	N/A	A 36	13	2200x4400x3	0,75	Maquinado
1	Cuchilla móvil derecha	ASTM D3002	S460L	12	2200x4400x3	0,22	Maquinado
1	Cuchilla móvil Izquierda	ASTM D3002	S460L	11	2200x4400x3	0,22	Maquinado
2	Cuchilla fija	ASTM D3002	S460L	10	2200x4400x3	0,22	Maquinado
10	Perno M6	ASTM A325	Acero	9	75	0,2	Comprado
10	Arandela	ASTM F436	Acero	8	2	0,5	Comprado
10	Tuerca M6	ASTM A194	Acero	7	Pesada	0,5	Comprado
1	Tapa superior	N/A	A 36	6	2200x4400x3	2,4	Maquinado
1	Motor	N/A	Varios	5	N/A	8	Maquinado
1	Portacuchillas	N/A	A 36	4	50 x 6000	0,75	Maquinado
1	Tanque	N/A	A 36	3	2200x4400x3	24,9	Maquinado
4	Base de caucho	N/A	Caucho	2	2200x4400x3	0,03	Maquinado
1	Estructura	N/A	A 36	1	40 x 40 x 6000	10,7	Maquinado
No. de pieza	Denominación	No. de norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		53136.21 gr		Varios	
Fecha		Nombre		Título:	
22/10/2016		Esteban Cepeda		TRITURADORA	
Revisó:		Ing. César Arroba		Escala:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		1:5	
Aprobó:		Ing. César Arroba		Registro:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		Número de lámina:	
		U.T.A.		1 de 15	
		INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	
Edición		Fecha		Nombre	

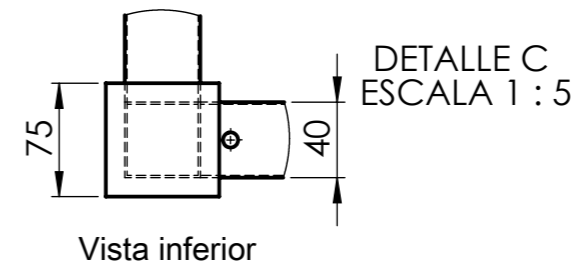
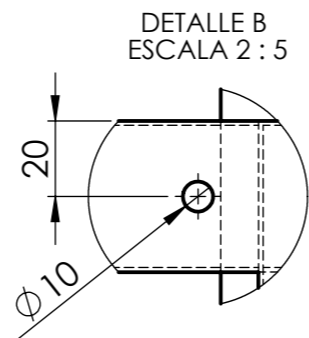
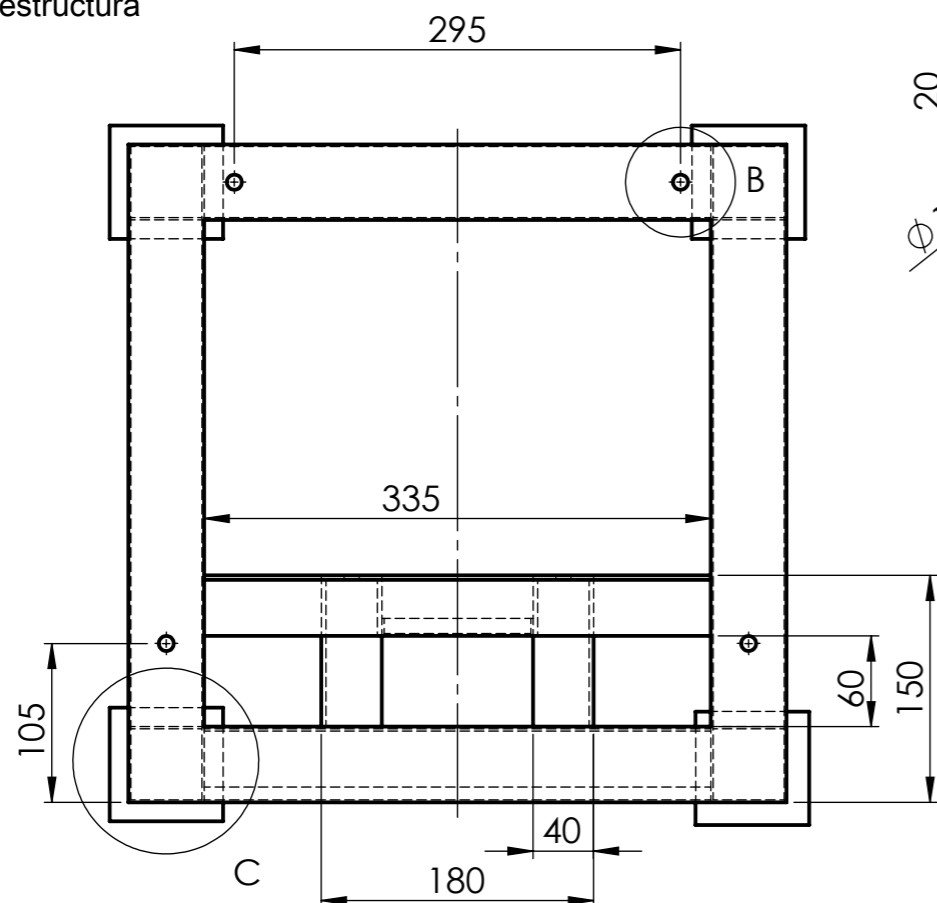


No. de pieza	Denominación	No. de norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones
1	Chumacera	ASTM B 23	Varios	20	N/A	0,8	Comprado
1	Tapa de tamiz	N/A	A 36	19	2200x4400x3	0,2	Maquinado
1	Tamiz	N/A	A 36	18	2200x4400x3	0,09	Maquinado
1	Acople de matrimonio	ASTM A105	1020	17	50 x 6000	0,1	Maquinado
1	Matrimonio	ASTM A105	1020	16	50 x 6000	0,16	Maquinado
1	Protección de sobretapa	N/A	Caucho	15	2200x4400x3	0,09	Maquinado
1	Tapa	N/A	A 36	14	2200x4400x3	0,78	Maquinado
1	Tolva de salida	N/A	A 36	13	2200x4400x3	0,75	Maquinado
1	Cuchilla móvil derecha	ASTM D3002	S460L	12	2200x4400x3	0,22	Maquinado
1	Cuchilla móvil Izquierda	ASTM D3002	S460L	11	2200x4400x3	0,22	Maquinado
2	Cuchilla fija	ASTM D3002	S460L	10	2200x4400x3	0,22	Maquinado
10	Perno M6	ASTM A325	Acero	9	75	0,2	Comprado
10	Arandela	ASTM F436	Acero	8	2	0,5	Comprado
10	Tuerca M6	ASTM A194	Acero	7	Pesada	0,5	Comprado
1	Tapa superior	N/A	A 36	6	2200x4400x3	2,4	Maquinado
1	Motor	N/A	Varios	5	N/A	8	Maquinado
1	Portacuchillas	N/A	A 36	4	50 x 6000	0,75	Maquinado
1	Tanque	N/A	A 36	3	2200x4400x3	24,9	Maquinado
4	Base de caucho	N/A	Caucho	2	2200x4400x3	0,03	Maquinado
1	Estructura	N/A	A 36	1	40 x 40 x 6000	10,7	Maquinado

Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		53136.21 gr		Varios	
Fecha		Nombre		Título:	
22/10/2016		Esteban Cepeda		TRITURADORA	
Revisó:		Ing. César Arroba		Escala:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		1:5	
Aprobó:		Ing. César Arroba		Registro:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA	
Edición		Modificación		Fecha	
Número de lámina:		2 de 15		Sustitución:	



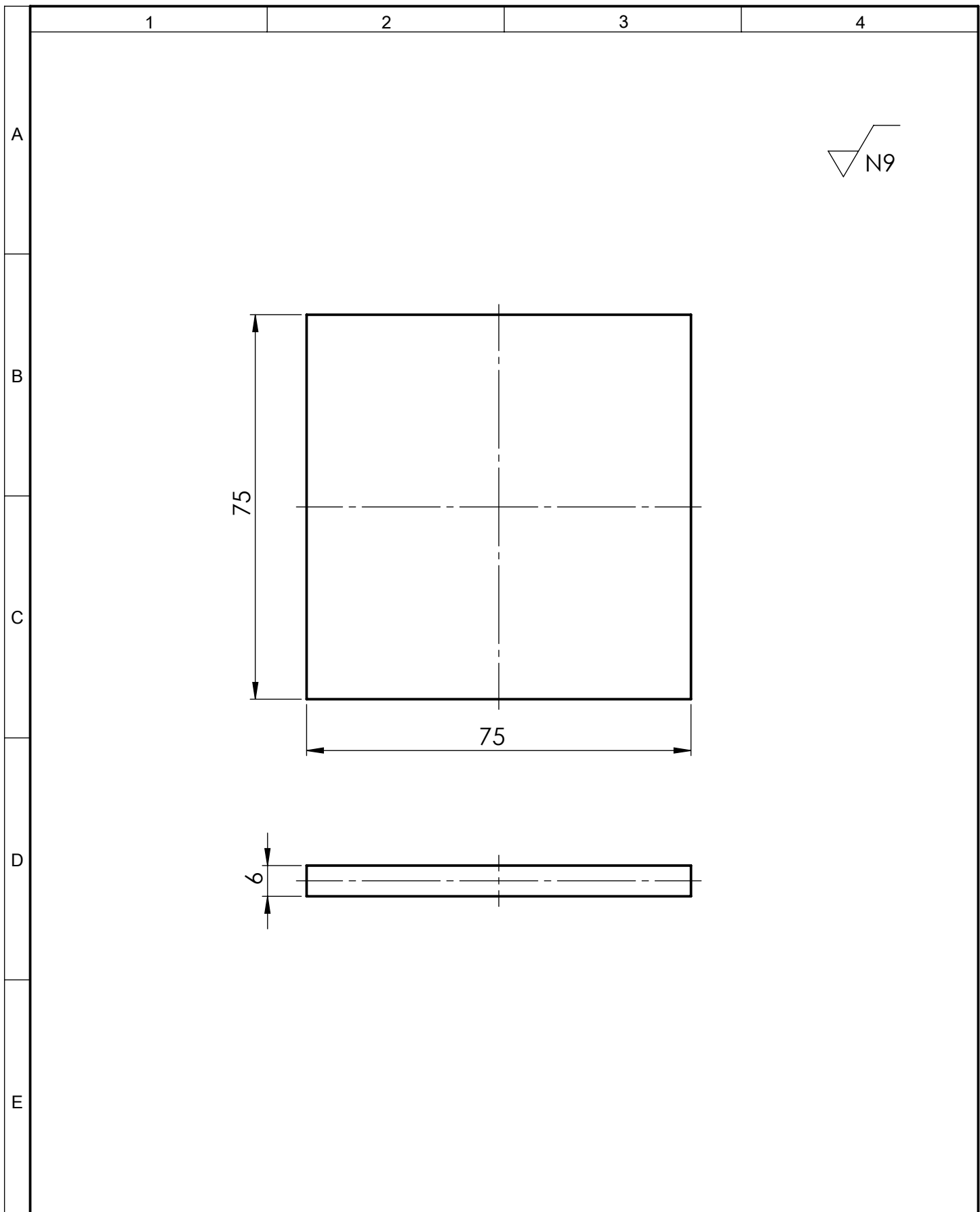
El elemento 1 es la base a donde irá sujetado el motor, el cual es parte de la estructura

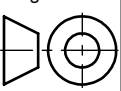


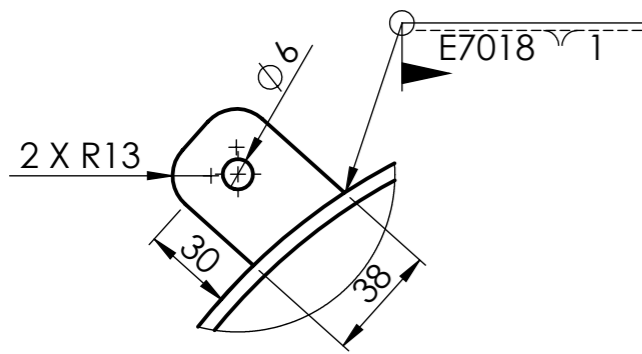
LISTA DE PERFILES			
Perfil	Dimensión	Longitud	Cantidad
Tubo cuadrado	40 x 40 x 3	440	4
Tubo cuadrado	40 x 40 x 3	335	3
Chapa de acero	75 x 75 x 3	N/A	4
Chapa de acero	100 x 165 x 1	N/A	1
Tubo cuadrado	40 x 40 x 3	340	2
Tubo cuadrado	40 x 40 x 3	103	2

Todas las uniones se someten a la acotada en el plano

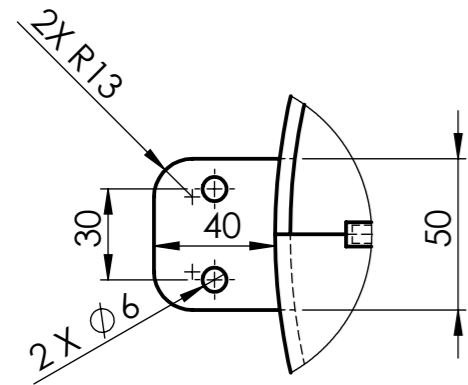
Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		10749.01 gr		ASTM A36 Acero	
Fecha		Nombre		Título:	
Dibujó: 22/10/2016		Esteban Cepeda		ESTRUCTURA	
Revisó:		Ing. César Arroba		Escala:	
Aprobó:		Ing. César Arroba		1:5	
U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				Número de lámina:	
				3 de 15	
Edición		Modificación		Fecha	
Nombre		Registro:			



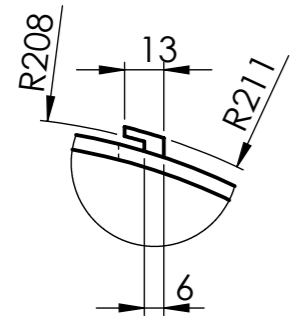
				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				± 1	31.73 gr	Caucho vulcanizado			
					Fecha	Nombre	Título: BASE DE CAUCHO		Escala:
				Dibujó:	22/10/2016	Esteban Cepeda			1:1
				Revisó:	22/10/2016	Ing. César Arroba			
				Aprobó:	22/10/2016	Ing. César Arroba	Número de lámina: 4 de 16		Registro:
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución:		



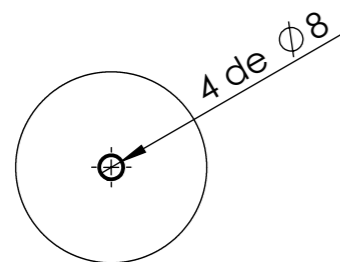
DETALLE A
ESCALA 2 : 5
(Son 4 piezas de estas dimensiones)



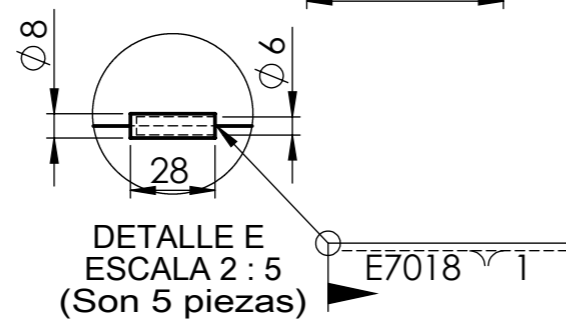
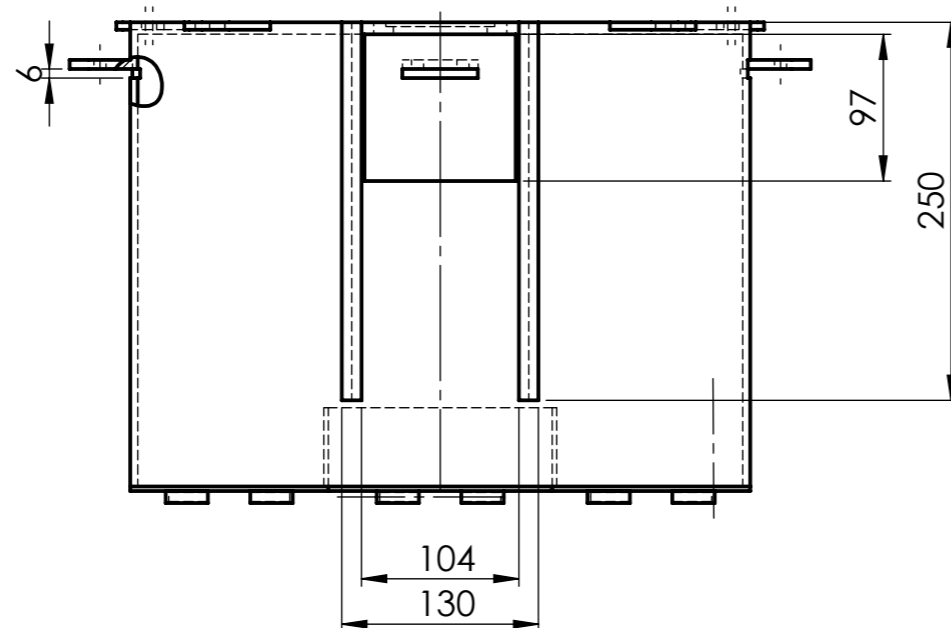
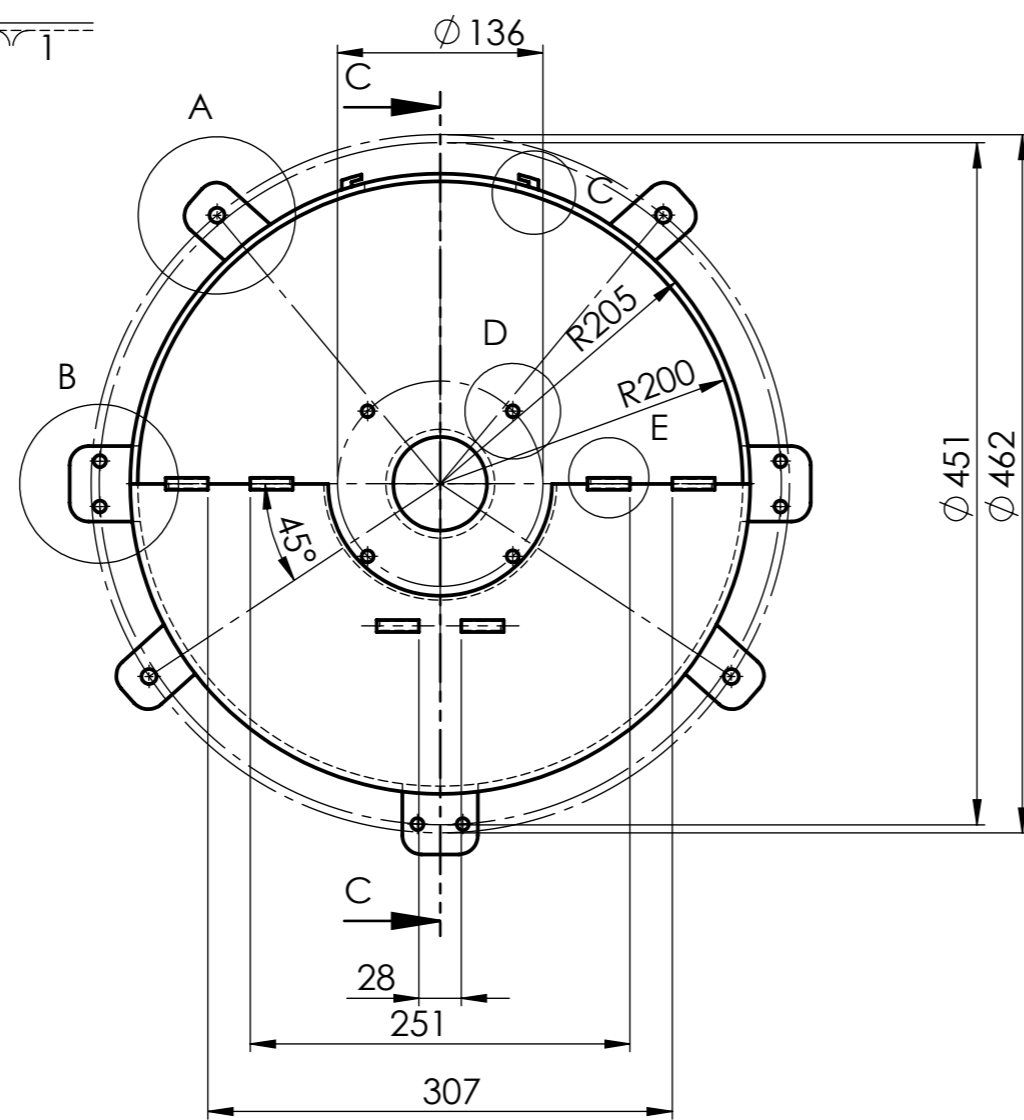
DETALLE B
ESCALA 2 : 5
(Son 6 piezas de estas dimensiones)



DETALLE C
ESCALA 2 : 5
(Son dos piezas)

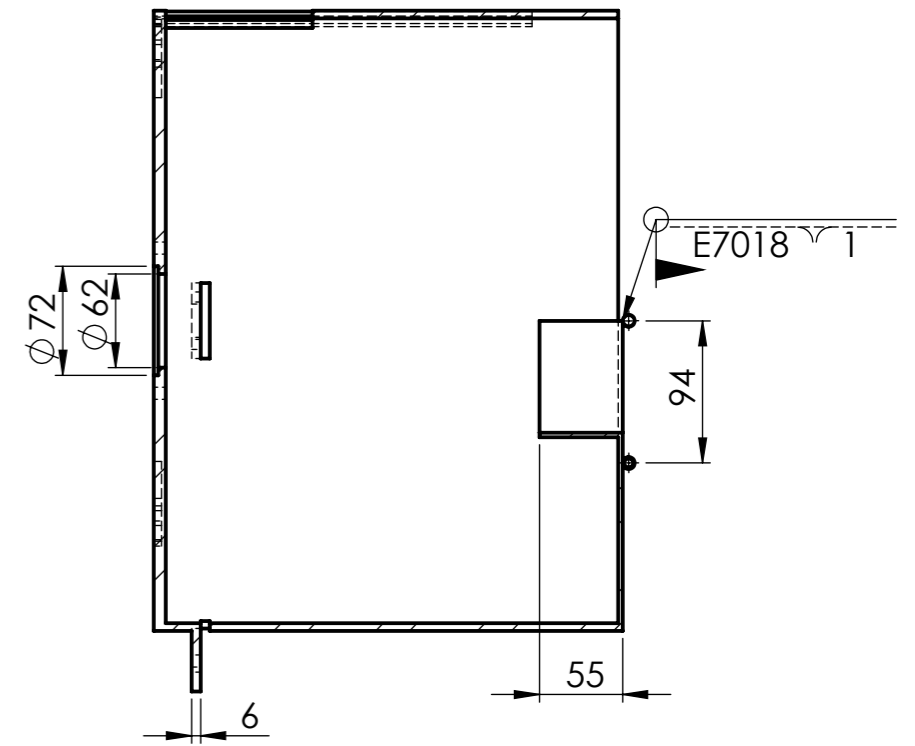


DETALLE D
ESCALA 2 : 5



DETALLE E
ESCALA 2 : 5
(Son 5 piezas)

N10

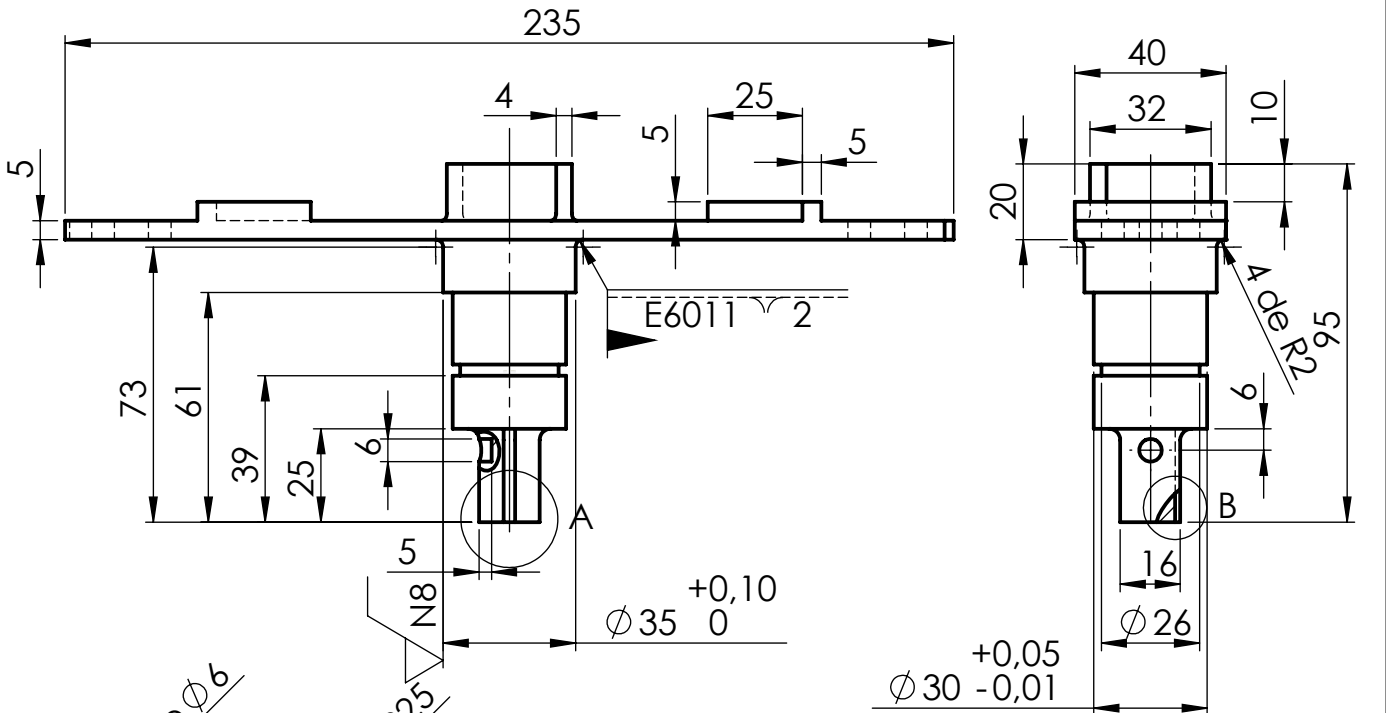
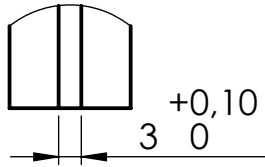


SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 5

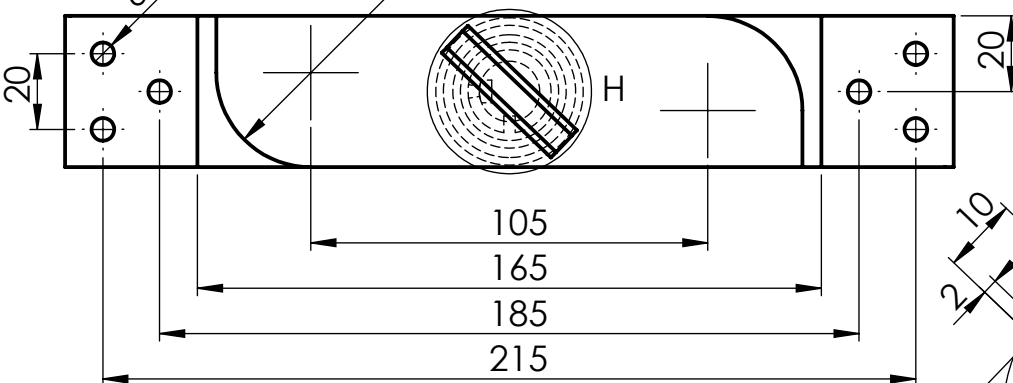
La cantidad de orejas de sujeción y de visagras se a mencionado en los detalles A, B, C, D y E, las soldaduras especificadas en el plano, albergan, para todas las uniones a desarrollarse en taller.

Tolerancia:		Peso:		Material:	
± 1		24999.85 gr		ASTM A36 Acero	
Fecha:		Nombre:		Título:	
22/10/2016		Esteban Cepeda		TANQUE	
Revisó:		Ing. César Arroba		Escala:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		1:5	
Aprobó:		Ing. César Arroba		Número de lámina:	
22/10/2016		Ing. César Arroba		5 de 15	
Edición				Registro:	
Modificación				Sustitución:	
Fecha				U.T.A.	
Nombre				INGENIERÍA MECÁNICA	

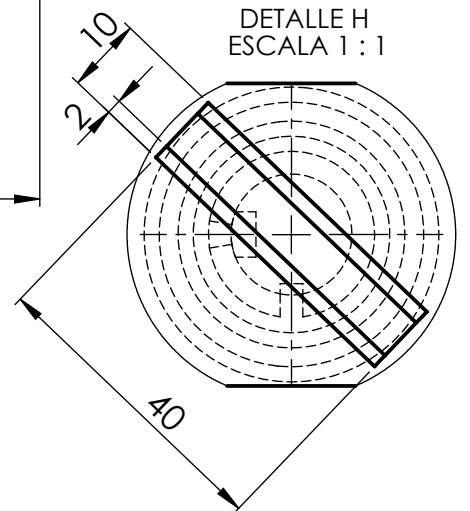
DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE H
ESCALA 1 : 1



Los cordones de soldadura serán mecanizados hasta llegar a la calidad superficial mencionada

				Tolerancia: ± 1	Peso: 757.65 gr	Material: ASTM A36 Acero		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 22/10/2016	Esteban Cepeda	PORTACUCHILLAS		
				Revisó: 22/10/2016	Ing. César Arroba			Escala: 1:2.5
				Aprobó: 22/10/2016	Ing. César Arroba			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 6 de 15	Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:		

1

2

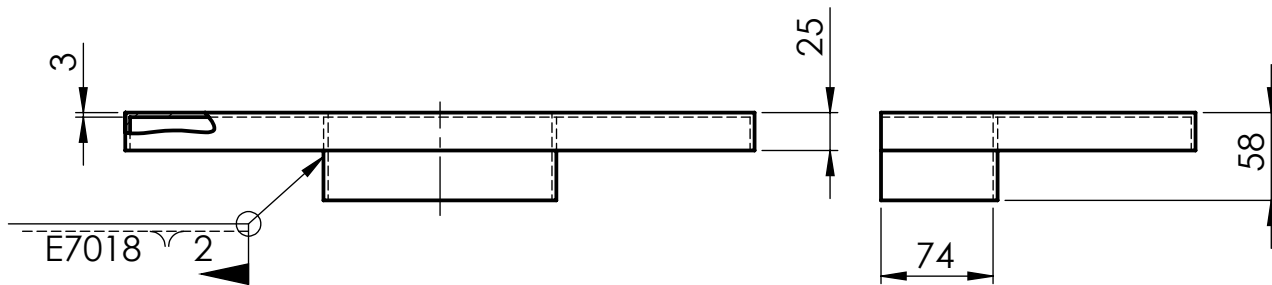
3

4

A

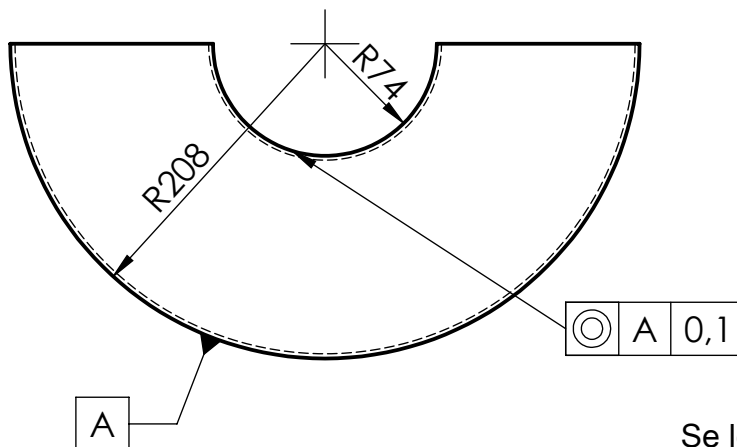


B



C

D



E

Se lo realizará con chapa de 3mm como se indica en la cota. La indicación de soldadura aplica a todas las juntas.

				Tolerancia: ± 1	Peso: 2041.20 gr	Material: ASTM A36 Acero	
						Título: TAPA SUPERIOR	Escala: 1:10
				Dibujó: 22/10/2016 Esteban Cepeda			
				Revisó: 22/10/2016 Ing. César Arroba			
				Aprobó: 22/10/2016 Ing. César Arroba		Número de lámina: 7 de 15	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	

1

2

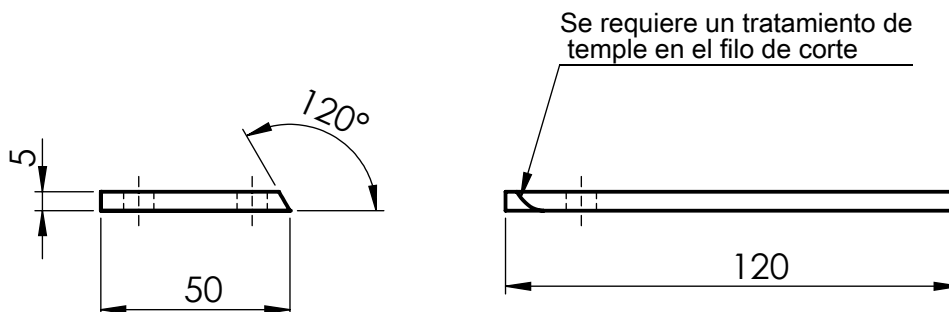
3

4

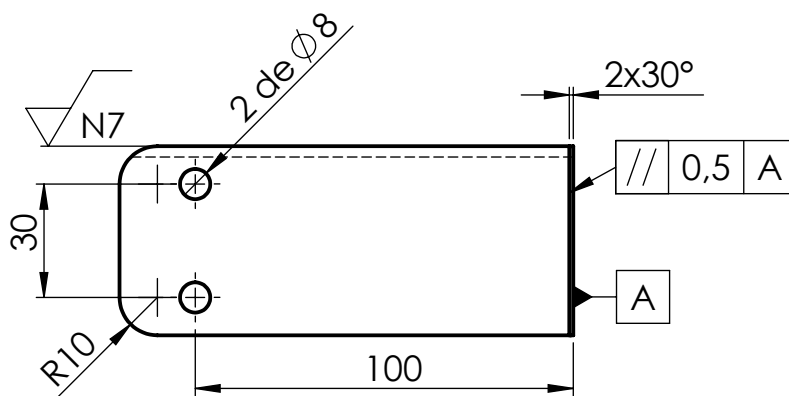
A


 N10

B

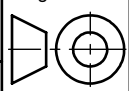


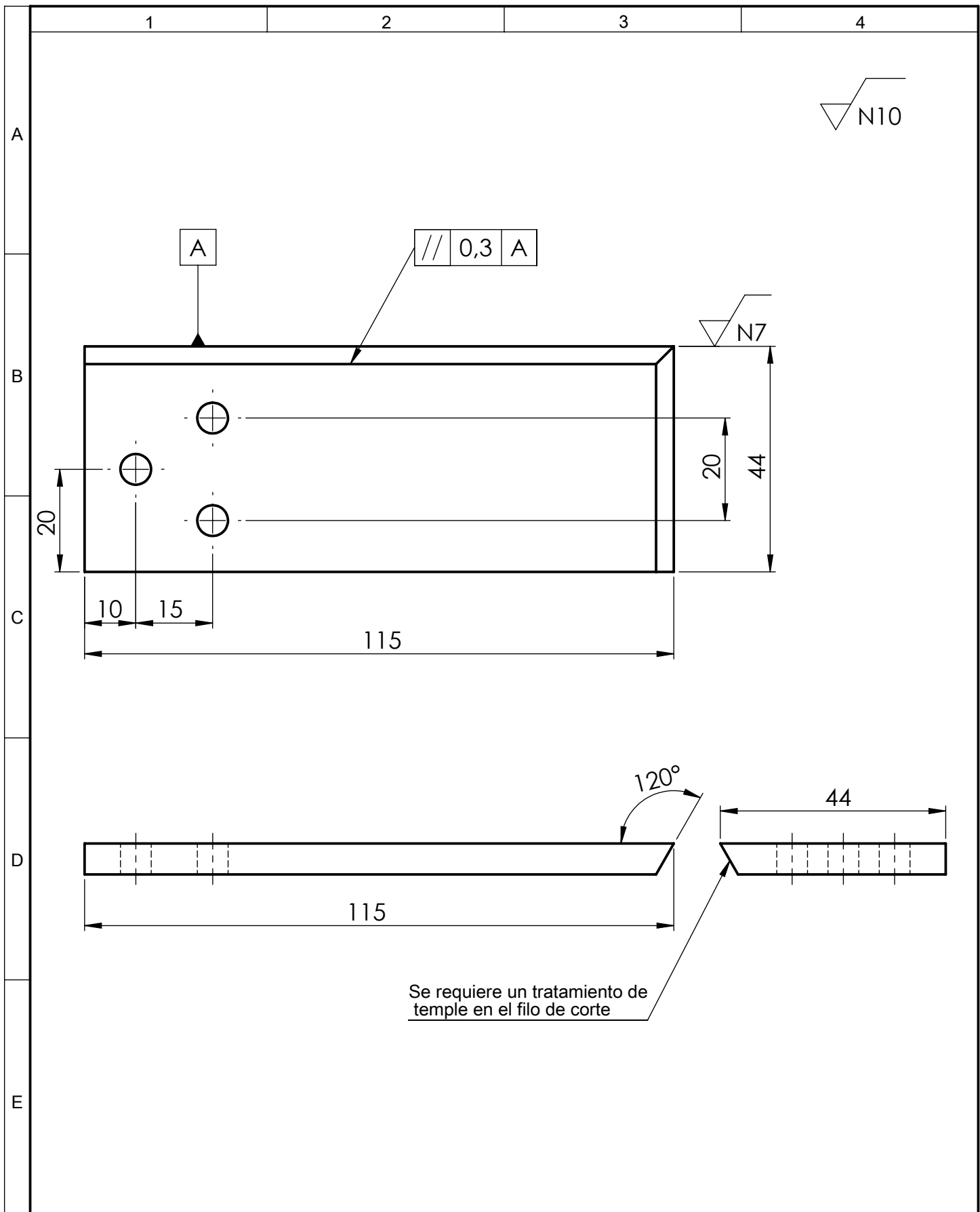
C



D

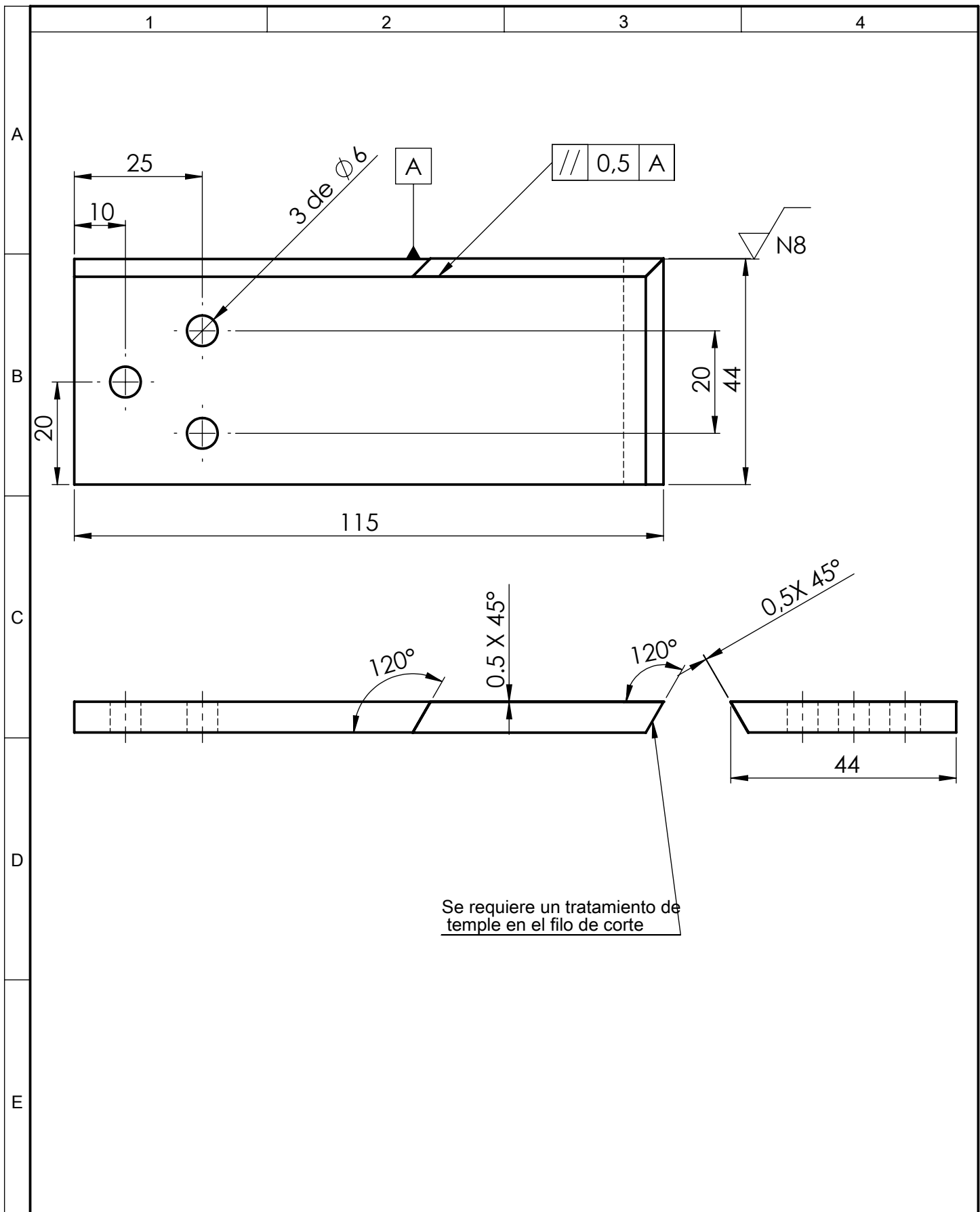
E

				Tolerancia: ± 1	Peso: 222.00 gr	Material: 1.8903 (S460NL)	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 22/10/2016	Esteban Cepeda	CUCHILLA FIJA	1:1
				Revisó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 8 de 15	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



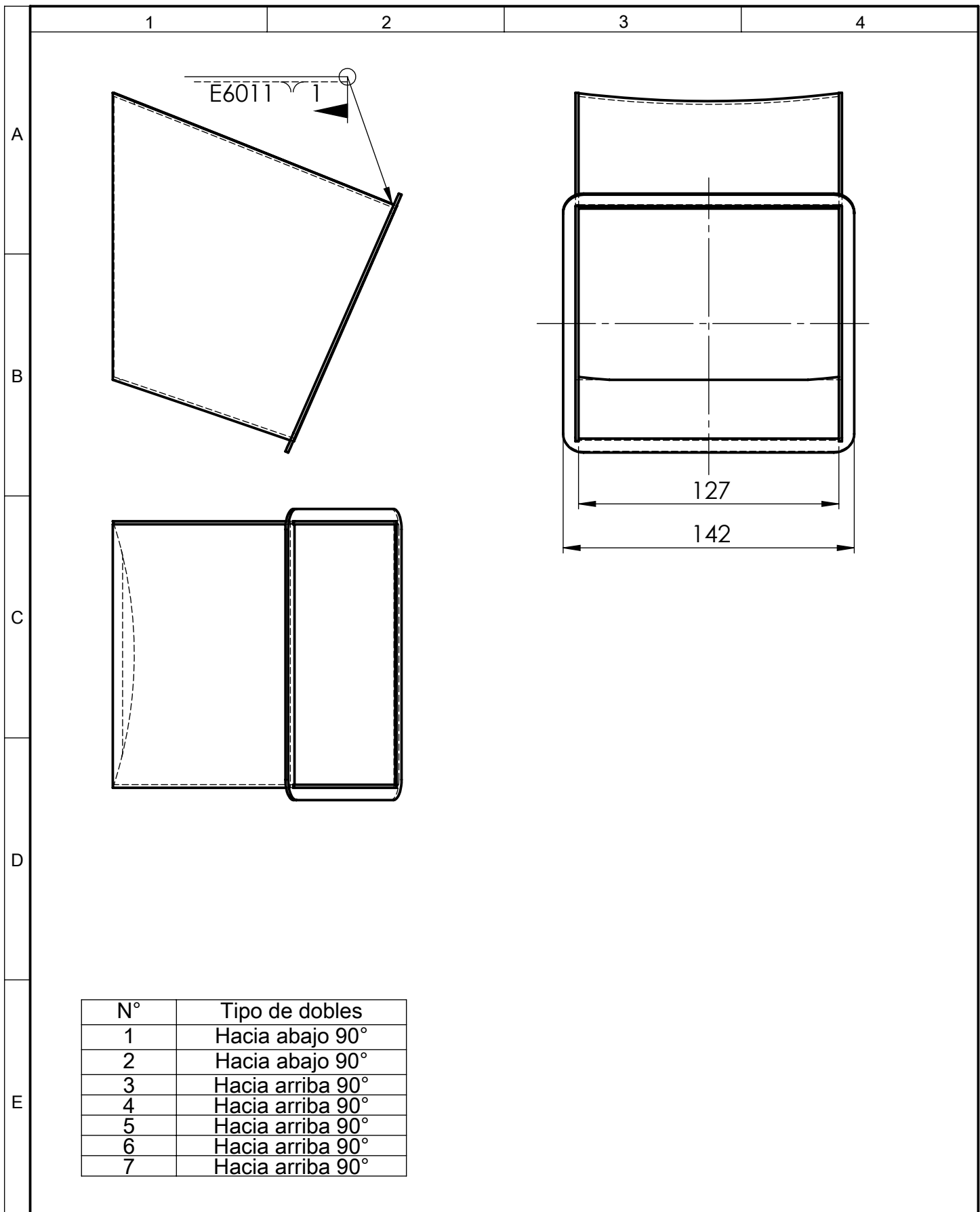
Se requiere un tratamiento de temple en el filo de corte

				Tolerancia: ± 1	Peso: 220.14 gr	Material: 1.8903 (S460NL)	
						Título: CUCHILLA MOVIL IZQUIERDA	Escala: 1:1
				Dibujó: 22/10/2016	Esteban Cepeda		
				Revisó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 9 de 15	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	



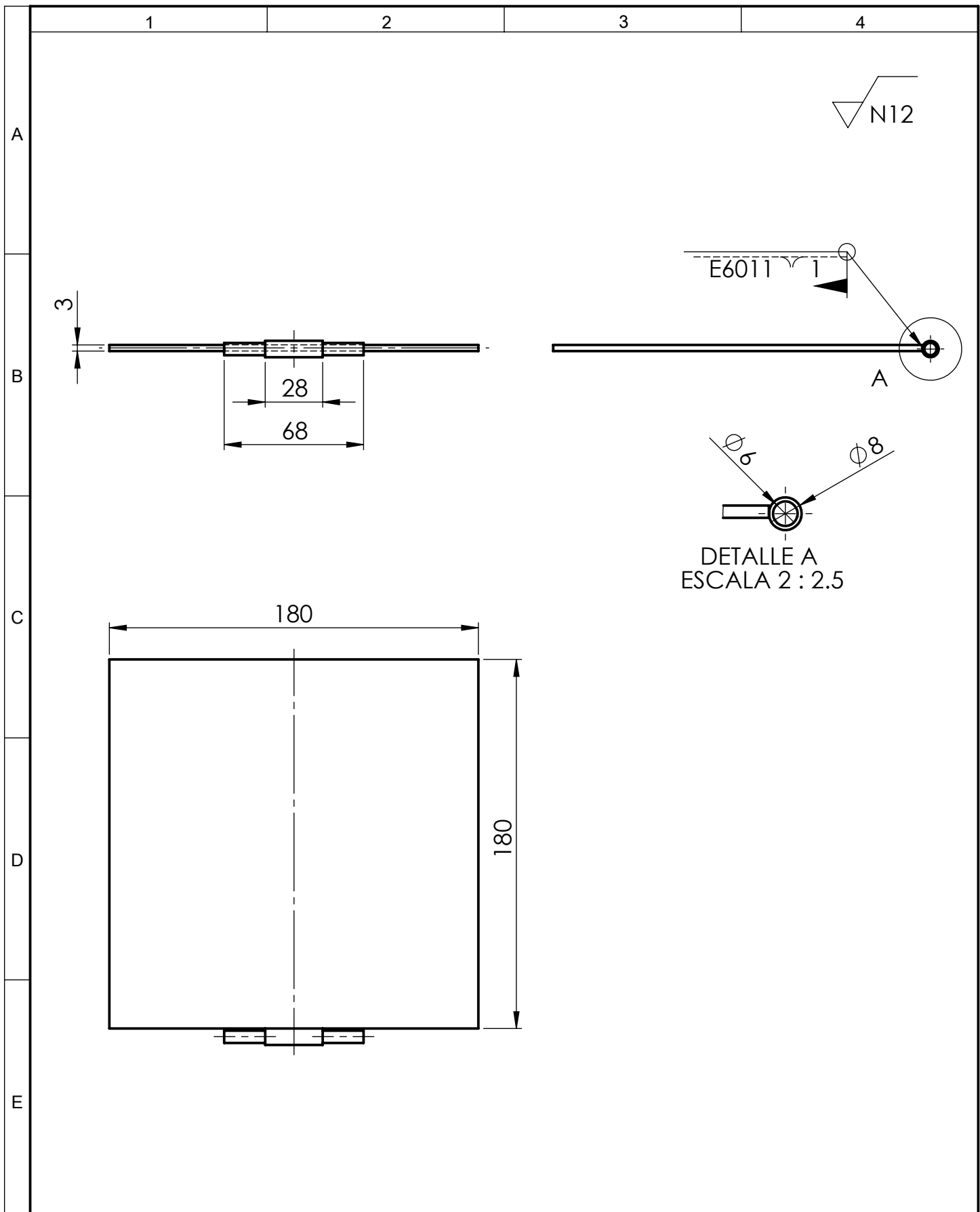
Se requiere un tratamiento de temple en el filo de corte

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				± 1	220.41 gr	1.8903 (S460NL)	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 22/10/2016	Esteban Cepeda	CUCHILLA MOVIL DERECHA	1:1
				Revisó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						10 de 15	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:			



N°	Tipo de dobles
1	Hacia abajo 90°
2	Hacia abajo 90°
3	Hacia arriba 90°
4	Hacia arriba 90°
5	Hacia arriba 90°
6	Hacia arriba 90°
7	Hacia arriba 90°

				Tolerancia: ± 1	Peso: 750.26 gr	Material: Acero galvanizado	
						Título: TOLVA DE SALIDA	Escala: 1:2.5
				Dibujó: 22/10/2016 Esteban Cepeda			
				Revisó: 22/10/2016 Ing. Cesar Arroba			
				Aprobó: 22/10/2016 Ing. Cesar Arroba		Número de lámina: 11de 15	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	



				Tolerancia: ± 1	Peso: 782.95 gr	Material: ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Título: SOBRETAPA	Escala: 1:2.5
				Dibujó: 22/10/2016	Esteban Cepeda	Número de lámina: 12 de 15	Registro:
				Revisó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
				Aprobó: 22/10/2016	Ing. César Arroba		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	

1

2

3

4



A

B

C

D

E

180

180

3

\perp	0,5	A
---------	-----	---

A



Tolerancia:

Peso:

Material:

 ± 1

91.37 gr

Caucho vulcanizado

Fecha

Nombre

Título:

Escala:

Dibujó: 22/10/2016

Esteban Cepeda

PROTECCIÓN DE SOBRETAPA

1:2.5

Revisó: 22/10/2016

Ing. César Arroba

Aprobó: 22/10/2016

Ing. César Arroba

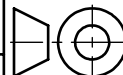
Número de lámina:

Registro:

13 de 15

U.T.A.**INGENIERÍA MECÁNICA**

Sustitución:

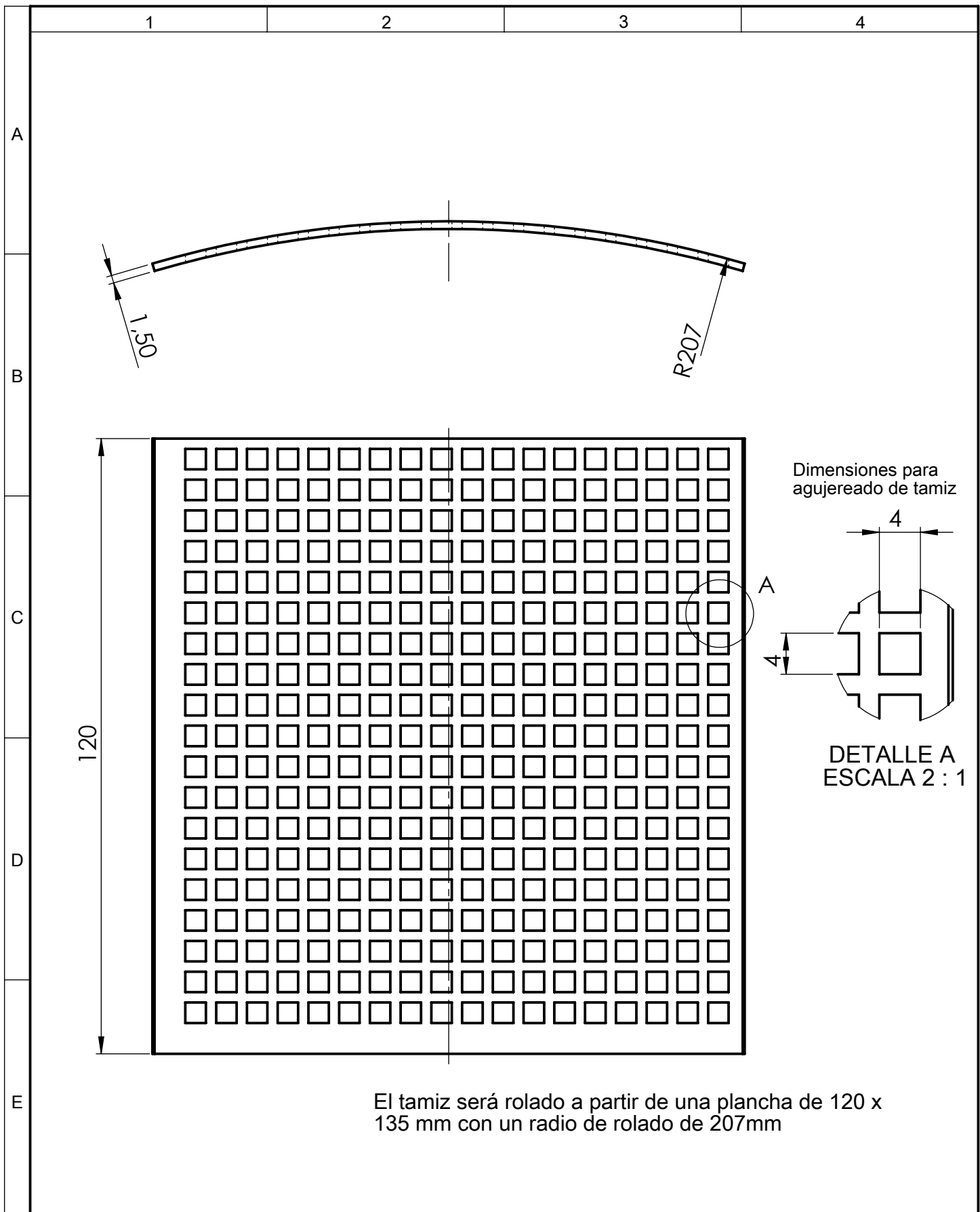


Edición

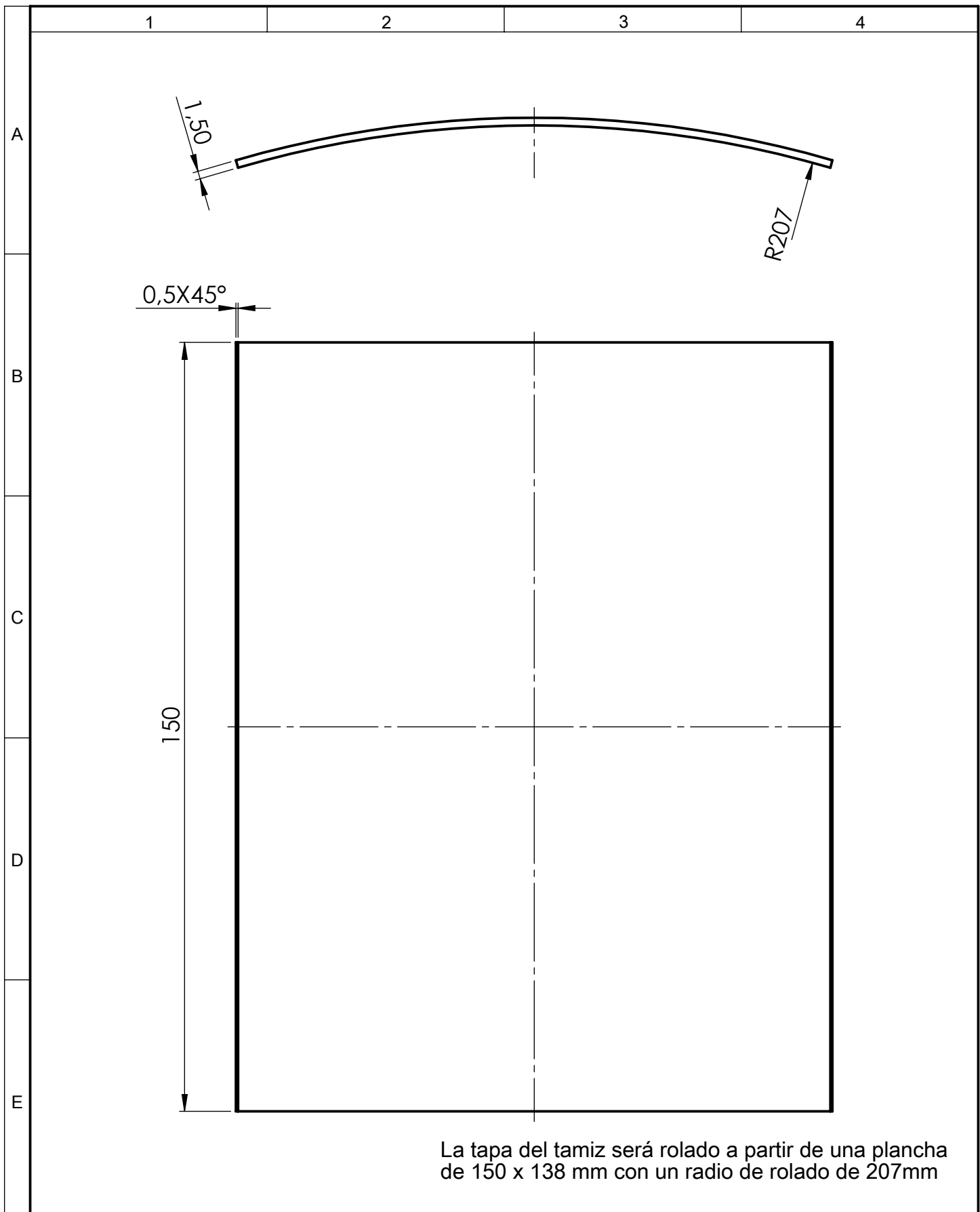
Modificación

Fecha

Nombre



				Tolerancia: ± 1	Peso: 99.71 gr	Material: ASTM A36 Acero		
						Título: TAMIZ	Escala: 1:1	
				Dibujó:	22/10/2016		Esteban Cepeda	
				Revisó:	22/10/2016		Ing. César Arroba	
				Aprobó:	22/10/2016	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 14 de 15	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:		



La tapa del tamiz será rolado a partir de una plancha de 150 x 138 mm con un radio de rolado de 207mm

				Tolerancia: ± 1	Peso: 207.64 gr	Material: ASTM A36 Acero		
						Título: TAPA DE TAMIZ	Escala: 1:1	
				Dibujó:	22/10/2016		Esteban Cepeda	
				Revisó:	22/10/2016		Ing. César Arroba	
				Aprobó:	22/10/2016	Ing. César Arroba		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 15 de 15	Registro: 	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:		