

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO

**TEMA:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA Y
EXTRUSORA PARA LA PRODUCCIÓN DE HILO PLÁSTICO
EMPLEADO EN IMPRESORAS 3D**

**AUTOR:
FREDDY MAURICIO GUALOTO CALUPIÑA**

**DIRECTOR:
PATRICIO QUITIAQUEZ**

Quito, Abril de 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por el señor Freddy Mauricio Gualoto Calupiña.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados, conclusiones, recomendaciones y manuales del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ing. Patricio Quitiaquez
DIRECTOR DEL PROYECTO

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Yo Freddy Mauricio Gualoto Calupíña autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Freddy Mauricio Gualoto Calupíña

CC: 1716454945

DEDICATORIA

A mis padres que con paciencia y sabiduría supieron guiarme por el infinito sendero del conocimiento, gracias por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, tuve un sueño y ese sueño continúa gracias a ustedes.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana y cuerpo de docentes quienes con profesionalismo supieron compartir sus conocimientos y experiencia durante estos años de estudio.

Un agradecimiento especial a mi tutor el Ingeniero Patricio Quitiaquez por sus valiosos aportes y guía durante el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 2 |
| MARCO TEÓRICO | 2 |
| 1.1 Generalidades | 2 |
| 1.2 Materia prima empleada en el proceso de trituración y extrusión | 2 |
| 1.2.1 Plástico ABS | 2 |
| 1.2.2 Propiedades del plástico ABS | 3 |
| 1.3 Plástico PLA | 3 |
| 1.3.1 Propiedades del plástico PLA | 3 |
| 1.4 Análisis ponderativo para la selección del plástico ABS y PLA | 4 |
| 1.5 Procesamiento de plásticos | 6 |
| 1.5.1 Conformado de plásticos..... | 6 |
| 1.5.2 Extrusión de plásticos | 6 |
| 1.6 Máquinas extrusoras..... | 7 |
| 1.6.1 Extrusoras de pistón..... | 7 |
| 1.6.2 Extrusora de tambor rotatorio | 8 |
| 1.6.3 Extrusora de rodillos. | 8 |
| 1.6.4 Extrusora de tornillo..... | 9 |
| 1.7 Cuadro ponderativo para la selección el tipo de extrusora | 9 |
| 1.8 Tipos de extrusoras de tornillo..... | 11 |
| 1.8.1 Mono husillo | 11 |
| 1.8.2 Doble husillo | 11 |
| 1.9 Selección de extrusora de tornillo | 12 |
| 1.10 Aceros empleados en la construcción de maquinaria | 12 |

| | |
|---|----|
| 1.10.1 Acero al carbono | 12 |
| 1.11 Materiales empleados en la construcción de la máquina extrusora y trituradora..... | 13 |
| 1.11.1 Acero AISI1045 | 13 |
| 1.11.2 Acero AISI 1018 | 14 |
| 1.12 Parámetros iniciales para el diseño del husillo | 14 |
| 1.12.1 Husillo de un canal con diámetro constante..... | 15 |
| 1.12.2 Definición de la relación de longitud del husillo..... | 15 |
| 1.12.3 Ventaja de la relación (l/D) corta..... | 15 |
| 1.13 Estudio de la extrusora de husillo simple para uso general..... | 16 |
| 1.13.1 Relación de longitud del husillo..... | 17 |
| 1.14 Formulación y nomenclatura de parametros básicos presentes en el husillo..... | 17 |
| 1.15 Formulación para el cálculo del ángulo de la hélice del husillo | 18 |
| 1.16 Flujos presentes en la extrusora | 18 |
| 1.17 Formulación para el cálculo del flujo total presente en la extrusora..... | 19 |
| 1.18 Formulación para el cálculo de la potencia en base al flujo | 19 |
| 1.19 Formulación para el cálculo de pérdidas de potencia.. | 20 |
| 1.19.1 Formulación para el cálculo de pérdidas por instalaciones eléctricas..... | 20 |
| 1.19.2 Formulación para el cálculo de pérdidas en motores y generadores..... | 20 |
| 1.20 Formulación para el cálculo de la potencia real..... | 20 |
| 1.21 Formulación para el cálculo de las revoluciones del husillo en base a la producción..... | 21 |
| 1.22 Formulación para el cálculo de la presión en la máquina extrusora | 21 |
| 1.23 Formulación para el cálculo de torque en base a la potencia. | 22 |
| 1.24 Formulación para el cálculo de la camisa o cilindro..... | 23 |
| 1.24.1 Formulación para el cálculo del espesor de la camisa o cilindro | 23 |

| | |
|---|----|
| 1.25 Formulación para el cálculo de masa y peso de cualquier elemento | 23 |
| 1.26 Formulación para el cálculo de los volúmenes principales en la extrusora | 24 |
| 1.27 Diseño estático por esfueroso..... | 25 |
| 1.28 Formulación para el cálculo del momento máximo..... | 26 |
| 1.29 Esfuerzos flectores | 25 |
| 1.29.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo de flexión en un eje macizo provocado por el momento flector | 25 |
| 1.29.2 Formulación para calcular el momento de inercia para un eje circular macizo | 25 |
| 1.29.3 Formulación para el cálculo del esfuerzo de flexión provocado por la fuerza de compresión | 26 |
| 1.29.4 Formulación para calcular el esfuerzo de flexión total | 26 |
| 1.30 Esfuerzos cortantes..... | 26 |
| 1.30.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por torsión | 26 |
| 1.30.2 Formulación para el cálculo del momento polar de inercia para un eje circular macizo | 27 |
| 1.30.3 Formulación para calcular el esfuerzo cortante máximo por flexión..... | 27 |
| 1.30.4 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante total | 27 |
| 1.31 Tercera teoría de distorsión (Von Misses) | 27 |
| 1.32 Formulación para el cálculo del factor de seguridad estático | 28 |
| 1.33 Formulación para el diseño estático por deformaciones | 28 |
| 1.33.1 Formulación para el cálculo de deflexiones en vigas..... | 29 |
| 1.33.2 Funciones de singularidad..... | 30 |
| 1.34 Deflexión permisible para maquinaria | 30 |
| 1.35 Formulación para el diseño del tornillo extrusor por fatiga..... | 31 |
| 1.35.1 Formulación para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga | 31 |
| 1.35.2 Formulación para el cálculo del factor de seguridad dinámico..... | 32 |

| | |
|---|----|
| 1.36 Diseño y selección de los calentadores | 32 |
| 1.36.1 Formulación para el cálculo del tiempo de residencia de la mezcla en secciones tubulares..... | 32 |
| 1.36.2 Flujo de calor presente en el sistema..... | 33 |
| 1.36.3 Formulación para el cálculo del número de Biot | 33 |
| 1.36.4 Formulación para el cálculo del volumen del cilindro o camisa..... | 34 |
| 1.36.5 Formulación para el cálculo del flujo de calor presente en la extrusora..... | 34 |
| 1.36.6 Formulación para el cálculo de potencia en las resistencias eléctricas..... | 34 |
| 1.37 Formulación para el cálculo del soporte de la máquina..... | 35 |
| 1.37.1 Formulación para determinar la tensión en los apoyos..... | 35 |
| 1.37.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo admisible en superficies sometidas a aplastamiento..... | 35 |
| 1.38 Formulación para el cálculo de elementos atornillados..... | 36 |
| 1.38.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo admisible en pernos sometidos a tracción | 36 |
| 1.38.2 Formulación para el cálculo del área transversal de pernos sometidos a tracción..... | 36 |
| 1.39 Trituración..... | 36 |
| 1.40 Tipos de trituradoras para compuestos sólidos | 37 |
| 1.40.1 Trituradora de mandíbulas | 37 |
| 1.40.2 Trituradora giratoria..... | 37 |
| 1.40.3 Trituradora de rodillo | 38 |
| 1.41 Cuadro ponderativo para la selección el tipo de trituradora | 39 |
| 1.42 Formulación para determinar el trabajo necesario para realizar la ruptura del material..... | 40 |
| 1.43 Formulación para el cálculo de la fuerza necesaria para romper el plástico ABS | 41 |
| 1.44 Formulación para el cálculo de la potencia del motor | 42 |

| | |
|---|----|
| 1.45 Formulación para el cálculo del volumen total de la trituradora | 42 |
| 1.46 Formulación para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en la cuchilla | 44 |
| 1.46.1 Formulación para el cálculo del momento de inercia para vigas con sección rectangular | 45 |
| 1.46.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo máximo de flexión en vigas con sección rectangular | 45 |
| 1.46.3 Formulación para el cálculo del esfuerzo permisible de miembros a flexión (vigas)..... | 45 |
| 1.47 Formulación para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en el árbol de transmisión..... | 45 |
| 1.47.1 Formulación para el cálculo del momento polar de inercia para vigas con sección exagonal..... | 46 |
| 1.47.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo máximo de flexión en el árbol de transmisión..... | 46 |
| 1.47.3 Formulación para el cálculo del momento torsor máximo en el árbol de transmisión | 47 |
| 1.47.4 Formulación para el cálculo de la potencia del motor | 47 |
| 1.48 Formulación para el cálculo de los esfuerzos cortantes en el árbol de transmisión..... | 48 |
| 1.48.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por torsión | 48 |
| 1.48.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por flexión..... | 48 |
| 1.49 Formulación para el cálculo de engranajes de dientes rectos | 48 |
| 1.49.1 Formulación para el cálculo de esfuerzo de flexión en ruedas dentadas..... | 49 |
| 1.49.2 Formulación para el cálculo de la fuerza tangencial presente en los dientes de la rueda | 50 |
| 1.49.3 Formulación para el cálculo del factor de seguridad en la rueda..... | 50 |
| 1.50 Formulación para el cálculo de rodamientos | 51 |
| 1.51 Formulación para el cálculo de pernos..... | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 1.51.1 Formulación para el cálculo de la carga total a la que está sometido el perno | 51 |
| 1.51.2 Formulación para el cálculo esfuerzo admisible en pernos | 52 |
| 1.52.3 Formulación para el cálculo del área transversal del perno... .. | 52 |
| CAPÍTULO 2 | 53 |
| DISEÑO MECÁNICO | 53 |
| 2.1 Generalidades..... | 53 |
| 2.2 Cálculos de la extrusora de hilo plástico ABS..... | 53 |
| 2.3 Cálculo de la capacidad de la máquina extrusora | 53 |
| 2.4 Cálculo de los principales parámetros del tornillo extrusor..... | 54 |
| 2.4.1 Cálculo de la profundidad del canal (h) | 54 |
| 2.4.2 Cálculo del ancho del canal del tornillo extrusor (w) | 54 |
| 2.4.3 Cálculo del paso del tornillo extrusor | 55 |
| 2.4.4 Cálculo del ángulo de la hélice | 55 |
| 2.4.5 Cálculo de la longitud de trabajo..... | 55 |
| 2.4.6 Cálculo de la longitud total del husillo | 56 |
| 2.4.7 Cálculo del número de hélices o filetes del husillo..... | 56 |
| 2.4.8 Cálculo del número de revoluciones en base a la producción | 56 |
| 2.5 Análisis de flujos presentes en un extrusora | 57 |
| 2.5.1 Cálculo del flujo de arrastre. | 57 |
| 2.5.2 Cálculo del flujo de presión. | 57 |
| 2.6 Cálculo de la presión máxima..... | 57 |
| 2.7 Cálculo del flujo total presente en la extrusora..... | 58 |
| 2.8 Cálculo de la potencia en base al flujo..... | 58 |
| 2.9 Cálculo de pérdidas de potencia..... | 58 |
| 2.9.1 Cálculo de pérdidas por instalaciones eléctricas..... | 58 |

| | |
|--|----|
| 2.9.2 Cálculo de pérdidas en motores y generadores | 59 |
| 2.10 Cálculo de la potencia real | 59 |
| 2.11 Cálculo del torque en base a la potencia | 59 |
| 2.12 Parámetros geométricos y físicos del husillo | 60 |
| 2.13 Análisis de fuerzas presentes en el tornillo extrusor | 60 |
| 2.14 Cálculo de la fuerza (Fx) o fuerza de compresión | 61 |
| 2.14.1 Cálculo o del área transversal del husillo..... | 61 |
| 2.15 Cálculo de reacciones en X y Y | 61 |
| 2.16 Cálculo de momentos flexionantes empleando funciones de singularidad..... | 62 |
| 2.17 Diseño estático del tornillo extrusor | 63 |
| 2.18 Diseño del husillo por esfuerzos | 64 |
| 2.18.1 Cálculo del esfuerzo flector | 64 |
| 2.18.2 Cálculo del esfuerzo cortante por torsión | 64 |
| 2.18.3 Cálculo del esfuerzo cortante por flexión | 64 |
| 2.18.4 Cálculo del esfuerzo equivalente (Von Misses)..... | 65 |
| 2.19 Cálculo del factor de seguridad estático del husillo..... | 65 |
| 2.20 Diseño del husillo por deflexiones..... | 66 |
| 2.20.1 Cálculo de la deflexión en una viga empleando funciones de singularidad ... | 66 |
| 2.21 Criterio de diseño | 68 |
| 2.22 Diseño del husillo por fatiga | 69 |
| 2.23 Cálculo del factor de seguridad dinámico en el husillo | 71 |
| 2.24 Diseño del barril o camisa..... | 71 |
| 2.24.1 Cálculo del espesor de la pared del cilindro..... | 72 |
| 2.25 Diseño y selección de calentadores..... | 73 |
| 2.25.1 Cálculo del número de biot | 73 |
| 2.25.2 Cálculo del tiempo de residencia de la mezcla en secciones tubulares..... | 73 |

| | |
|---|----|
| 2.25.3 Cálculo del flujo de calor presente en la extrusora | 74 |
| 2.26 Cálculo de la potencia de las resistencias eléctricas | 74 |
| 2.26.1 Cálculo de la potencia teórica | 74 |
| 2.26.2 Cálculo de la potencia real | 75 |
| 2.27 Selección de la resistencia para el calentamiento de la extrusora..... | 75 |
| 2.28 Cálculo del soporte de la extrusora | 75 |
| 2.28.1 Cálculo de la tensión en el apoyo..... | 75 |
| 2.28.2 Cálculo del esfuerzo admisible en superficies sometidas a aplastamiento | 76 |
| 2.29 Cálculo de las juntas atornilladas sometidas a corte..... | 77 |
| 2.29.1 Cálculo de la fuerza a la que está sometido un perno | 77 |
| 2.29.2 Cálculo del esfuerzo admisible en pernos | 77 |
| 2.29.3 Cálculo del área transversal del perno | 77 |
| 2.30 Diseño de la trituradora de plástico ABS | 78 |
| 2.31 Cuchillas de corte..... | 78 |
| 2.32 Energía que satisface la fractura por impacto | 79 |
| 2.33 Cálculo de la fuerza necesaria para romper una pared de plástico ABS..... | 80 |
| 2.34 Diseño de las cuchillas de corte | 80 |
| 2.35 Cálculo de las reacciones presentes en la cuchilla..... | 81 |
| 2.36 Diseño de la cuchilla por esfuerzos..... | 81 |
| 2.36.1 Cálculo del momento flexionante máximo | 81 |
| 2.36.2 Cálculo del momento de inercia para una viga con sección rectangular | 82 |
| 2.36.3 Cálculo del esfuerzo máximo de flexión en una viga con sección rectangular..... | 82 |
| 2.37 Diseño de la cuchilla por deformaciones | 83 |
| 2.37.1 Cálculo de la inercia en el punto crítico “empotramiento” | 83 |
| 2.37.2 Cálculo de la deflexión máxima en la cuchilla | 83 |

| | |
|--|----|
| 2.37.3 Deflexión permisible recomendada para maquinaria..... | 83 |
| 2.38 Cálculo de los parámetros del árbol de transmisión | 84 |
| 2.38.1 Cálculo de la carga concentrada..... | 86 |
| 2.38.2 Cálculo de reacciones..... | 87 |
| 2.39 Diseño por esfuerzos del árbol de transmisión | 87 |
| 2.39.1 Cálculo del momento flexionante máximo | 87 |
| 2.39.2 Cálculo del momento polar de inercia en vigas con sección hexagonal | 88 |
| 2.39.3 Cálculo del esfuerzo máximo de flexión en el árbol de transmisión | 88 |
| 2.39.4 Cálculo del momento torsor en el árbol de transmisión | 88 |
| 2.39.5 Cálculo del esfuerzo cortante por torsión | 89 |
| 2.39.6 Cálculo del esfuerzo cortante por flexión | 89 |
| 2.39.7 Cálculo del esfuerzo cortante total..... | 89 |
| 2.40 Cálculo de esfuerzo equivalente en el punto crítico (Von Misses)..... | 89 |
| 2.41 Cálculo del factor de seguridad estático en el eje porta cuchillas..... | 90 |
| 2.42 Cálculo de las revoluciones por minuto del motor..... | 90 |
| 2.43 Cálculo de la potencia del motor..... | 90 |
| 2.44 Diseño por deformaciones..... | 91 |
| 2.44.1 Cálculo de la deflexión máxima en el árbol de transmisión..... | 91 |
| 2.44.2 Criterio de diseño | 91 |
| 2.45 Diseño de engranajes..... | 91 |
| 2.45.1 Cálculo del engranaje de dientes rectos | 91 |
| 2.45.2 Cálculo de la fuerza tangencial presente en el diente de la rueda..... | 92 |
| 2.45.3 Cálculo del esfuerzo de flexión en los dientes de la rueda | 92 |
| 2.45.4 Cálculo del factor de seguridad de la rueda dentada..... | 93 |
| 2.46 Cálculo de los rodamientos | 94 |
| 2.46.1 Cálculo de la carga radial ejercida en el rodamiento | 94 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 3 | 96 |
| ANÁLISIS DE COSTOS | 96 |
| 3.1 Costos de trituradora de plástico ABS | 96 |
| 3.2 Costos de extrusora de hilo plástico ABS | 99 |
| 3.3 Costo total de la máquina..... | 101 |
| 3.4 Costo por servicios profesionales..... | 101 |
| 3.5 Costo real de la máquina..... | 101 |
| CONCLUSIONES | 102 |
| RECOMENDACIONES | 103 |
| LISTA DE REFERENCIAS CITADAS | 104 |
| LISTA DE REFERENCIAS CONSULTADAS | 105 |

ÍNDICE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Extrusora de pistón | 7 |
| Figura 1.2. Extrusora de tambor rotatorio | 8 |
| Figura 1.3. Extrusora de rodillos | 8 |
| Figura 1.4. Extrusora mono husillo para filamentos | 9 |
| Figura 1.5. Extrusora mono husillo | 11 |
| Figura 1.6. Extrusora doble husillo para filamentos | 12 |
| Figura 1.7. Sección de un cilindro con husillo de un canal (vista general)..... | 16 |
| Figura 1.8. Sección de un cilindro con husillo de un canal (desarrollo)..... | 17 |
| Figura 1.9. Sección transversal del cilindro o camisa..... | 23 |
| Figura 1.10. Trituradora de mandíbulas | 37 |
| Figura 1.11. Trituradora giratoria..... | 38 |
| Figura 1.12. Trituradora de rodillos con filos cortantes..... | 38 |
| Figura 2.1. Diagrama de cuerpo libre del tornillo extrusor..... | 60 |
| Figura 2.2. Diagrama de cuerpo libre del tornillo extrusor (cargas y reacciones)..... | 62 |
| Figura 2.3. Vista isométrica de cuchilla de disco con tres dientes..... | 78 |
| Figura 2.4. Vista frontal de cuchillas móviles en el proceso de corte..... | 79 |
| Figura 2.5. Representación grafica de diente de corte en la cuchilla circular..... | 80 |
| Figura 2.6. Diagrama de cuerpo libre de diente de corte en la cuchilla circular..... | 81 |
| Figura 2.7. Diagrama de cuerpo libre del eje porta cuchillas de la trituradora | 85 |
| Figura 2.8. Diagrama de cuerpo libre del eje porta cuchillas con una única carga concentrada..... | 86 |
| Figura 2.9. Diagrama de cuerpo libre cargas y reacciones presentes en el husillo | 87 |
| Figura 2.10. Vista transversal Rodamiento rígido de bolas 6202-2RSR | 94 |

ÍNDICE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1. Criterios para selección del plástico a procesar | 5 |
| Tabla 1.2. Propiedades mecánicas y térmicas del plástico ABS..... | 5 |
| Tabla 1.3. Cuadro ponderativo para la selección del tipo de extrusora | 10 |
| Tabla 1.4. Propiedades del acero AISI 1045..... | 13 |
| Tabla 1.5. Propiedades del acero AISI 1018..... | 14 |
| Tabla 1.6. Nomenclatura empleada en el husillo | 16 |
| Tabla 1.7. Formulas para calcular los parámetros básicos del husillo..... | 18 |
| Tabla 1.8. Fórmulas para calcular los flujos presentes en el husillo..... | 19 |
| Tabla 1.9. Fórmulas para calcular la masa y peso de cualquier elemento | 24 |
| Tabla 1.10. Fórmulas para calcular los volúmenes principales en la extrusora..... | 24 |
| Tabla 1.11. Ecuaciones que definen el comportamiento de una viga | 29 |
| Tabla 1.12. Funciones de singularidad según el tipo de carga aplicada | 30 |
| Tabla 1.13. Cuadro ponderativo para la selección del tipo de trituradora | 40 |
| Tabla 1.14. Fórmulas para calcular el volumen total de la trituradora. | 43 |
| Tabla 1.15. Fórmulas para el diseño de una viga en voladizo con carga puntual en el extremo | 44 |
| Tabla 1.16. Fórmulas para el diseño de viga con carga puntual en el centro..... | 46 |
| Tabla 1.17: Fórmulas para calcular las dimensiones de engranajes de dientes rectos..... | 49 |
| Tabla 2.1. Datos obtenidos de la geometría del husillo | 60 |
| Tabla 2.2. Parámetros geométricos del cilindro o barril | 71 |
| Tabla 2.3. Resumen de datos para la construcción de la resistencia eléctrica | 75 |
| Tabla 2.4. Resumen de parámetros correspondientes a cada tramo de la viga..... | 84 |
| Tabla 2.5. Resumen de dimensiones y cargas presentes en el eje porta cuchillas | 85 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.6. Resumen de las dimensiones y capacidad de la carga radial de el rodamiento 6202 | 95 |
| Tabla 3.1. Costo de mano de obra empleada en la construcción de la trituradora de plástico ABS..... | 96 |
| Tabla 3.2. Costo de materiales empleados en la construcción de la trituradora de plástico ABS..... | 97 |
| Tabla 3.3. Costo de accesorios empleados en el montaje de la trituradora de plástico ABS | 98 |
| Tabla 3.4. Costo de la mano de obra empleada en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS | 99 |
| Tabla 3.5. Costo de materiales empleados en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS | 100 |
| Tabla 3.6. Costo de accesorios empleados en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS | 101 |

ÍNDICE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo A1. Manual de operación de la máquina extrusora de hilo plástico ABS | 107 |
| Anexo A2. Manual de operación de la máquina trituradora de plástico ABS | 107 |
| Anexo B1. Manual de mantenimiento de la máquina extrusora de hilo plástico ABS | 110 |
| Anexo B2. Manual de mantenimiento de la máquina trituradora de plástico ABS | 113 |
| Anexo C1. Resultados de ensayos a tensión de algunos metales..... | 116 |
| Anexo C2. Factor de la condición superficial (ecuación de Marín) | 116 |
| Anexo C3. Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero (ecuación de Marín)..... | 117 |
| Anexo C4. Factor de confiabilidad (ecuación de Marín)..... | 117 |
| Anexo C5. Dimensiones de rodamiento de bolas 6202 – 2RSR..... | 118 |
| Anexo D. Planos | 119 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Monómero: Es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos generalmente covalentes forman macromoléculas llamadas polímeros.

Acrilonitrilo: Es un líquido sintético, incoloro, de olor penetrante. Puede disolverse en agua y se evapora rápidamente. El acrilonitrilo es usado para fabricar otras sustancias químicas tales como plásticos.

Butadieno: Es un alqueno que se produce en la destilación del petróleo. Se encuentra como un gas incoloro de olor levemente parecido a la gasolina.

Estireno: Es un compuesto químico líquido, incoloro y aromático que se utiliza en la preparación de polímeros que se emplean como cauchos sintéticos.

Elastómero: Es un polímero que presenta propiedades elásticas.

Termoplástico: Es un plástico que a temperaturas relativamente altas se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente.

Polímeros: Son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

Moldeo: Proceso mediante el cual se obtiene piezas echando materiales fundidos en un molde.

Émbolo: Pieza de una bomba o del cilindro de un motor que se mueve hacia arriba o hacia abajo impulsando un fluido o bien recibiendo el impulso de él.

Temperatura de fusión: Es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido - líquido, es decir la materia pasa de estado sólido a estado líquido.

Gravedad específica: Es el cociente entre la densidad de una sustancia dada y la densidad del agua. Cuando ambas están a la misma temperatura.

Esfuerzo de fluencia: Es el indicador del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material sin causar una deformación plástica.

Sección efectiva del husillo: Hace referencia a la sección del husillo en donde se encuentra la hélice, sin tomar en cuenta el vástago, es decir la sección que efectúa el transporte del material.

RESUMEN

El presente documento contempla el diseño y construcción de una máquina trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D.

El capítulo 1 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 opción para fabricar hilo plástico.

Una vez determinado el material a procesar se empleará factores como costos, operatividad y dimensionamiento de la máquina para seleccionar el tipo de trituradora y extrusora que permita obtener hilo plástico.

Como último punto 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 como la extrusora de hilo plástico.

En el capítulo 2 se desarrollará el diseño estático y dinámico, basado en esfuerzos y deformaciones, se determinará el material y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman la máquina trituradora y extrusora.

En el capítulo 3 se realizará un estudio económico, para lo cual se calcularán los costos y gastos intervinientes en la construcción las máquinas, para establecer la rentabilidad del proyecto.

ABSTRACT

This document includes the design and construction of a shredder and extruder for producing plastic thread used in 3D printers.

Chapter 1 begins with the study and selection of material to be processed, the physical properties will be used to select the polymer which by its nature is the best choice for manufacturing plastic thread.

Once determined the material to be processed factors as cost, operability and design of the machine will be used to select the type of crusher and plastic extruder to obtain thread.

As a last point in this chapter will proceed to write the theoretical foundation and necessary for the design of the elements of both the crusher and plastic extruder wire formulation.

In chapter 2 the static and dynamic design will be developed, based on stress and strain, the material and dimensions of each of the elements of the shredder and extruder be determined.

In chapter 3 an economic study, for which the costs and expenses shall be calculated involved in building machines to establish the profitability of the project will take.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador la fabricación de productos plásticos usando impresoras 3D no es económicamente rentable en comparación con otros procesos de fabricación, una de las razones es el alto valor de la materia prima (hilo plástico 3D).

Inexistencia de fabricantes de hilo plástico 3D en el país, compra indirecta a proveedores internacionales son algunas de las razones que han provocado un incremento en el precio de esta materia prima. Es aquí donde parte la necesidad de proveer al mercado ecuatoriano, específicamente a los microempresarios, de máquinas que permitan fabricar su propio hilo plástico para poder emplearlo en la impresión 3D.

Para realizar el proyecto se priorizó el uso del método deductivo. Partiendo de enunciados y formulaciones de carácter universal se analizará las posibles soluciones a las problemáticas planteadas en este proyecto, una vez solucionada la problemática general se procederá a desarrollar enunciados y formulaciones particulares que permitirán resolver problemas puntuales del mismo.

El objetivo del trabajo es diseñar y construir una máquina de bajo costo que permita triturar y extruir hilo plástico empleado en impresoras 3D.

Se buscará disminuir el tamaño de las cuchillas cortantes y espaciadores de la trituradora, en comparación con máquinas similares, esto con el objetivo de obtener partículas pequeñas, las cuales puedan ser empleadas sin problema en la extrusora de plástico.

Se buscará disminuir el tamaño de la extrusora, en comparación con máquinas similares, sin permitir que esto afecte la uniformidad geométrica y acabado superficial del hilo plástico extruido.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades.

El presente capítulo contiene el estudio y selección del material a procesar para obtener hilo plástico, partiendo de los dos tipos de plástico más usados en la impresión 3D se realizará un proceso de evaluación de sus características y propiedades con el fin de determinar cuál es la mejor opción.

Además se indicará las principales máquinas empleadas en el procesamiento de plásticos, tanto en la trituración como en la extrusión, al terminar la etapa de evaluación se seleccionará las máquinas que por sus características son la mejor opción para procesar el plástico, posteriormente se realizará el diseño y construcción de los diferentes elementos que conforman cada una de las máquinas.

1.2 Materia prima empleada en el proceso de trituración y extrusión.

1.2.1 Plástico ABS.

Se conoce que el “Plástico ABS es la nomenclatura dada a una familia de termoplásticos compuesto por tres monómeros (acrilonitrilo, butadieno y estireno)” (Torras, 2013).

El acrilonitrilo proporciona rigidez, resistencia a ataques químicos, estabilidad a altas temperaturas y dureza., los bloques de butadieno que es un elastómero proporcionan tenacidad a cualquier temperatura, el bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

1.2.2 Propiedades del plástico ABS.

- Su procesamiento es más fácil en comparación con el procesamiento del plástico PLA.
- Al llegar al punto de fusión el ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivos
- El post proceso (mecanizar, pintar, pegar) es muy fácil de realizar.
- Es extremadamente resistente y posee poca flexibilidad, esto hace que sea un material perfecto para aplicaciones industriales.
- Es el material más usado en la impresión 3D, no es biodegradable pero es muy tenaz, duro y rígido.

1.3 Plástico PLA.

Se conoce que “El plástico PLA es un poliéster termoplástico derivado de recursos renovables como el maíz, remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón” (MacMurry, 2008, p.1278).

1.3.1 Propiedades del plástico PLA.

- Tiene propiedades mecánicas similares al PET (Tereftalato de polietileno).
- No emite gases nocivos.
- Tiene una alta capacidad de biodegradarse volviéndolo amigable con el ambiente.
- No resiste las altas temperaturas, se empieza a descomponer a partir de los 50 °C.
- Pos procesos como el mecanizado y pintado son muy complicados.
- Su procesamiento y reciclaje es complejo lo que eleva su coste de producción.
- Es menos conocido que el plástico ABS, se utiliza comparativamente mucho menos en impresoras 3D.

1.4 Análisis ponderativo para la selección del plástico ABS y PLA.

Para seleccionar el material a procesar se empleará el método ponderativo, mediante este se asignará un valor a cada una de las características y propiedades del termoplástico en estudio. El criterio de evaluación será.

De 1 a 3. Se pondera que el material no cumple con ninguna de las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico.

De 4 a 6. Se pondera que el material cumple con algunas características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente a: tiene un costo elevado, una alta toxicidad al ser procesado, poca disponibilidad en el mercado.

De 7 a 8. Se pondera que el material cumple con la mayoría de las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente a: tiene un costo medianamente caro, baja toxicidad, su disponibilidad en el mercado es limitada.

De 9 a 10. Se pondera que el material cumple con todas las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente a: tiene costo bajo, no es tóxico, el material está disponible en el mercado local.

Con los criterios anteriormente enlistados se procederá a asignar un valor a cada parámetro, posteriormente se procederá a sumar estos valores tanto en la opción 1 y 2, siendo seleccionada la opción cuyo resultado total sea mayor.

En la tabla 1.1 se muestra los resultados obtenidos para la selección del plástico a procesar.

Tabla 1.1: Cuadro ponderativo para la selección del plástico a procesar

| | Plástico ABS | Plástico PLA |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Parámetro | Calificación 1 | Calificación 2 |
| Facilidad de procesamiento | 9 | 6 |
| Toxicidad | 9 | 6 |
| Disponibilidad en el mercado ecuatoriano | 9 | 6 |
| Costo de Kg de material | 6 | 6 |
| % de uso en impresoras 3D | 9 | 7 |
| TOTAL | 42 | 31 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

Estos resultados conducen a seleccionar al plástico ABS como la mejor alternativa para ser procesado y transformado en hilo plástico.

En la tabla 1.2 se presentan las principales propiedades del plástico ABS, que resultan de interés para posteriores cálculos.

Tabla 1.2: Propiedades del plástico ABS.

| Plástico ABS | | |
|----------------------------------|-------------------|---------------|
| PROPIEDAD | UNIDAD | ABS |
| Gravedad específica a T°amb | — | 1.03 a 1.11 |
| Módulo de elasticidad | g/cm ³ | 1.04 a 1.11 |
| Densidad aparente | g/cm ³ | 0.25 a 0.36 |
| Temperatura de transición vítrea | °K | 377.6 |
| Calor específico a T°amb | Btu/lb/°F | 0.397 a 0.400 |
| Temperatura de extrusión | °K | 533 - 588 |

Fuente: Prospector, 2011.

1.5 Procesamiento de plásticos.

1.5.1 Conformado de plásticos.

Los termoplásticos formados por polímeros lineales se caracterizan por fundirse fácilmente a bajas temperaturas, se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse.

Se conoce que “Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica” (Tecnología de los plásticos, 2011).

Una de las operaciones más comunes para el conformado de plásticos es la extrusión, en esta un aparato empuja el plástico a través de un molde o boquilla con la forma deseada.

Otros procesos utilizados son el moldeo por compresión, en este la presión fuerza al plástico a adoptar una forma concreta y el moldeo por transferencia en el que el pistón introduce el plástico fundido a presión en un molde.

1.5.2 Extrusión de plásticos.

Se conoce que “La extrusión es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal definida” (Castillo, 2012, p.53).

La extrusión puede ser continua produciendo materiales largos o semi continua produciendo muchas partes, este proceso de extrusión se lo puede realizar en caliente o frío.

1.6 Máquinas extrusoras.

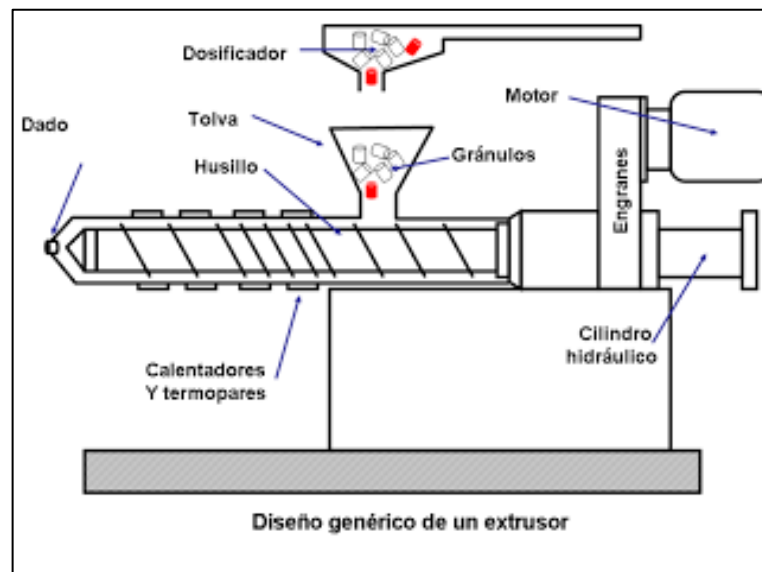
Según el autor Castillo “En el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. El polímero es transportado desde la tolva (sistema de alimentación), a través de la camisa calefactora, hasta la boca de descarga (cabezal) en una corriente continua” (Castillo, 2012, p.57).

Para el presente trabajo se necesita obtener fibras e hilo plástico, este objetivo se puede cumplir al emplear diferentes tipos de extrusoras como las que se enlistan a continuación.

1.6.1 Extrusoras de pistón.

Estas máquinas constan de un cilindro que posee elementos de calefacción, la materia prima descende desde una tolva al interior del cilindro donde el material es plastificado. Este es obligado a pasar a través de una boquilla, empujándolo con un pistón el cual es accionado por presión hidráulica.. En la figura 1.1 se muestra una representación de una extrusora de pistón.

Figura 1.1. Extrusora de pistón

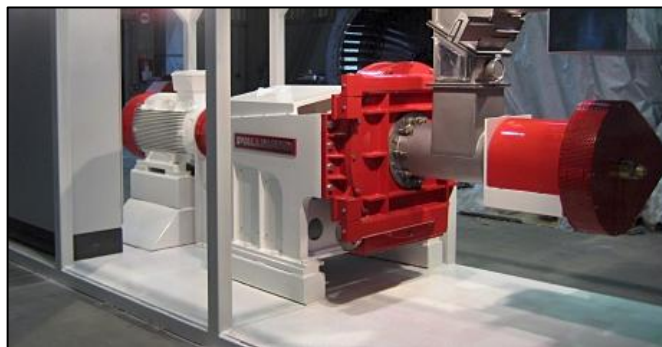


Fuente: Tecnología de los plásticos, 2011

1.6.2 Extrusora de tambor rotatorio.

En esta máquina el material desciende por gravedad e ingresa por el émbolo hasta la cámara. En la cámara el polímero es arrastrado por el cilindro rotor que lo pone en contacto con las paredes calientes del bastidor con lo que se efectúa la plastificación. El plástico así fundido es separado del cilindro rotatorio mediante una pieza en forma de cuchilla dándole la forma requerida. En la figura 1.2 se muestra una foto de una extrusora de tambor rotatorio.

Figura 1.2. Extrusora de tambor rotatorio

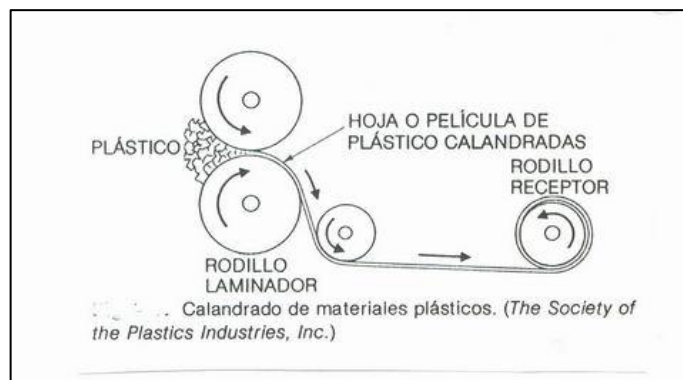


Fuente: Incalfer, 2014.

1.6.3 Extrusora de rodillos.

Es utilizada para la denominada extrusión plana empleada en la fabricación de láminas y películas, su funcionamiento está basado en la utilización de rodillos para dar forma al material. La figura 1.3 muestra una extrusora de rodillo.

Figura 1.3. Extrusora de rodillos

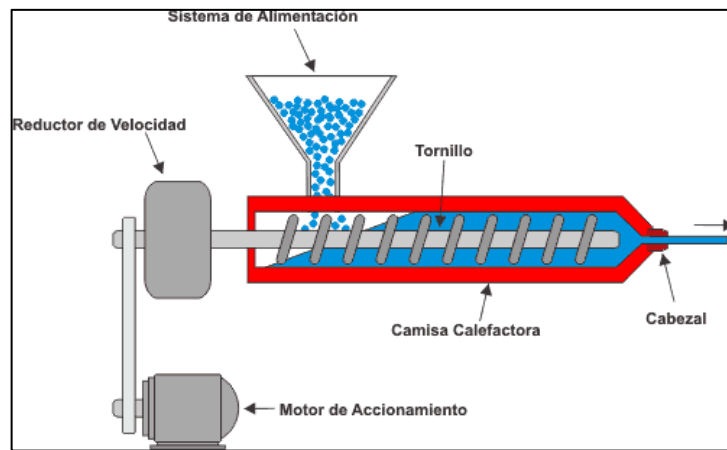


Fuente: Procesamiento de plásticos, 2015.

1.6.4 Extrusora de tornillo.

El polímero se alimenta a través de una tolva hasta el tornillo helicoidal el cual transporta el polímero hacia el extremo, aquí es calentado con resistencias eléctricas hasta ser fundido, la masa fundida es empujada por el tornillo hasta atravesar la cabeza perfiladora. La figura 1.4 muestra una extrusora de tornillo.

Figura 1.4. Extrusora mono husillo para filamentos



Fuente: Tecnicas de conformación, 2010.

1.7 Cuadro ponderativo para la selección el tipo de extrusora.

Para seleccionar la mejor alternativa en cuanto al tipo de extrusora se empleará el método ponderativo, basándose en las características de cada máquina se asignará una calificación a cada opción cuyo criterio será.

De 1 a 3. Se pondera que la extrusora no cumple con ninguna de las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico.

De 4 a 6. Se pondera que la extrusora cumple con algunas de las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente tiene un costo elevado, no es muy segura, algunos materiales no están disponibles en el mercado para su construcción.

De 7 a 8. Se pondera que la extrusora cumple con la mayoría de las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente a tiene un costo medianamente caro, es segura, limitada disponibilidad de materiales en el mercado.

De 9 a 10. Se pondera que la extrusora cumple con todas las características deseadas para la fabricación y procesamiento de hilo plástico, en lo referente a tiene un costo bajo, es muy segura, todos los materiales están disponibles en el mercado local.

Con los criterios anteriormente enlistados se procederá a asignar una valor a cada parámetro, posteriormente se procederá a sumar estos valores en cada una de las opciones disponibles, siendo seleccionada aquella opción cuyo resultado total sea mayor.

En la tabla 1.3 se muestran los resultados obtenidos en la selección del tipo de extrusora basándonos en los criterios de ponderación anteriormente enlistados.

Tabla 1.3. Cuadro ponderativo para la selección del tipo de extrusora

| | Extrusora pistón | Extrusora tambor rotatorio | Extrusora rodillos | Extrusora tornillo |
|---|-----------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Parámetro | Calificación 1 | Calificación 2 | Calificación 3 | Calificación 4 |
| Tamaño de la máquina | 6 | 7 | 7 | 9 |
| Costos | 7 | 8 | 7 | 9 |
| Seguridad | 8 | 7 | 7 | 8 |
| Disponibilidad de materiales para su construcción | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Facilidad de construcción | 7 | 7 | 9 | 9 |
| Facilidad de operación | 7 | 7 | 7 | 9 |
| TOTAL | 44 | 45 | 46 | 53 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

Con estos resultados se concluye que la mejor alternativa es la extrusora de tornillo.

1.8 Tipos de extrusoras de tornillo.

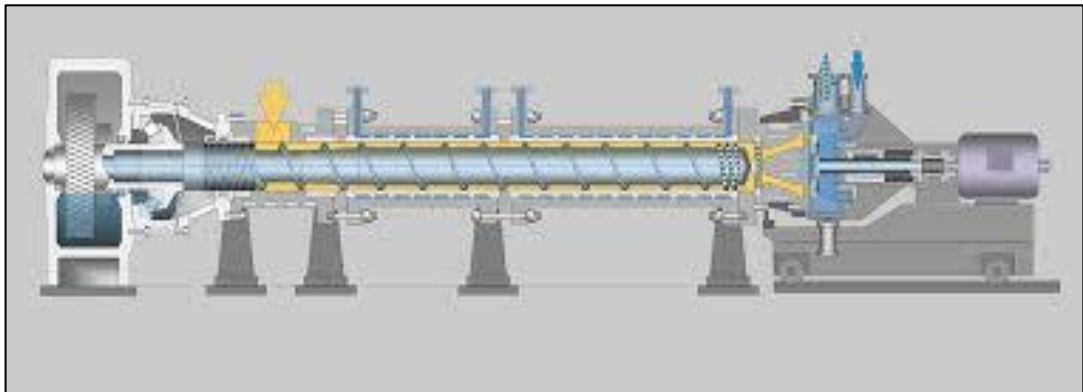
1.8.1 Mono husillo.

Son máquinas que constan de un solo tornillo, estas son empleadas para mezclar, plastificar, granular materiales, fabricar películas, láminas, tubos o como tornillo de arrastre.

Existen varios tipos, los cuales difieren entre sí por sus características y formas constructivas, este tipo de extrusora está disponible en diferentes tamaños y precios.

La figura 1.5 muestra una extrusora mono husillo para filamentos.

Figura 1.5. Extrusora mono husillo



Fuente: kraussmaffeiberstorff ,2010.

1.8.2 Doble husillo.

Son máquinas que como su nombre lo indica poseen dos husillos consiguiendo así un mezclado completo de los materiales termoplásticos en un menor tiempo. La figura 1.6 muestra una extrusora de doble husillo para filamentos.

Figura 1.6. Extrusora doble husillo para filamentos



Fuente: Infoplastico`s blog, 2010.

1.9 Selección de extrusora de tornillo.

El sistema seleccionado para este trabajo es la extrusora de tornillo con un solo husillo (mono husillo), las principales razones se enlistan a continuación:

- Diseño estable, sin vibraciones.
- Fácil redimensionamiento.
- Bajo costo de fabricación.
- Bajo consumo eléctrico.

1.10 Aceros empleados en la construcción de maquinaria.

1.10.1 Acero al carbono.

Según la información publicada en el sitio web (Utp.edu, 2015).

“La composición química de los aceros al carbono se basa en hierro y carbono, el aumento del contenido de carbono eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad”

Los aceros al carbono constituyen una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas, dentro de esta denominación se incluyen a los aceros para construcción.

El acero para construcción y su denominación engloba tanto aceros para construcción civil como para construcción mecánica.

1.11 Materiales empleados en la construcción de la máquina extrusora y trituradora.

1.11.1 Acero AISI 1045.

Según el manual de suministros técnicos (Sumitec S.A, 2015, p.2) el acero AISI 1045.

“Es utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Este material responde al tratamiento térmico y endurecimiento por inducción, no es recomendado para cementación. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.”

En la tabla 1.4 se muestra las principales propiedades del acero AISI 1045.

Tabla 1.4. Propiedades del acero AISI 1045

| Propiedades mecánicas | |
|------------------------------|--|
| Dureza | 163 HB (84 HRb) |
| Esfuerzo de fluencia | 310 MPa (45000 PSI) |
| Esfuerzo máximo | 565 MPa (81900 PSI) |
| Elongación máxima | 16% (en 50 mm) |
| Modulo de elasticidad | 200 GPa (29000 KSI) |
| Propiedades Físicas | |
| Densidad | 7.87 g/cm ³ (0.284 lb/in ³) |

Fuente: Sumitec, 2010.

Las principales aplicaciones de este acero son la construcción de: piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

1.11.2 Acero AISI 1018.

Según el manual de suministros técnicos (Sumitec S.A, 2015, p.2) el acero AISI 1018 “Es un acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono”.

En la tabla 1.5 se muestra las principales propiedades del acero AISI 1018.

Tabla 1.5. Propiedades del acero AISI 1018

| Propiedades AISI 1018 | |
|------------------------------|---|
| Propiedades mecánicas | |
| Dureza | 126 HB (71 HRb) |
| Esfuerzo de fluencia | 370 MPa (53700 PSI) |
| Esfuerzo máximo | 440 MPa (63800 PSI) |
| Modulo de elasticidad | 205 GPa (29700 KSI) |
| Propiedades físicas | |
| Densidad | Densidad 7.87 g/cm ³ (0.284 lb/in ³) |

Fuente: Sumitec, 2010.

Las principales aplicaciones para este acero son: operaciones de deformación plástica como remachado y extrusión, se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo.

1.12 Parámetros iniciales para el diseño del husillo.

Para este proyecto se empleará un husillo de un solo canal con diametro constante, esto debido a que el diseño propuesto debe tener un tamaño reducido, baja capacidad de producción y bajo costo de fabricación.

El ángulo del filete en el husillo será grande entre (15°- 30°) ángulos recomendados para procesar materiales reciclados o previamente procesados.

1.12.1 Husillo de un canal con diámetro constante.

Estos husillos son comúnmente denominados como husillo de transporte, el diámetro y profundidad del canal son constantes lo que permite el arrastre adecuado del material, sin embargo no realizan el proceso de compresión y por ende no existe variación de temperatura en el material. Al emplear este tipo de husillo el calor necesario para incrementar la temperatura del polímero debe suministrarse en su totalidad por resistencias eléctricas.

Su diámetro y profundidad constante evita largos procesos de fabricación por lo que su costo final es bajo en comparación con el husillo de diámetro variable.

1.12.2 Definición de la relación de longitud del husillo.

En un husillo la capacidad de fundir, mezclar y homogenizar a una velocidad aumenta al incrementar su longitud (l). Para determinar una correcta longitud del husillo esta debe estar relacionada directamente con su diámetro (D).

Esta relación se expresa como (l / D) la misma que puede ser larga o corta, cada una con ventajas y desventajas dependiendo de su aplicación. Para este proyecto y basado en requerimientos específicos como la baja producción y reducido espacio de operación se ha seleccionado la relación corta.

1.12.3 Ventaja de la relación (l/D) corta.

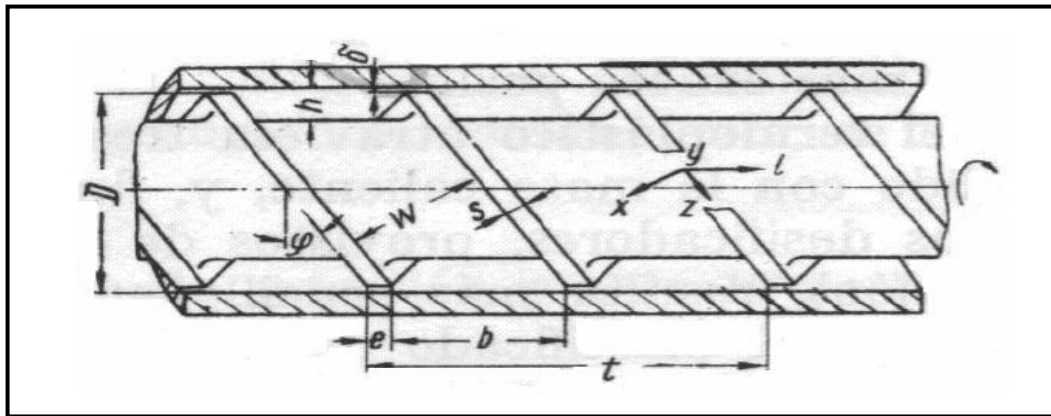
Al tener una longitud del cilindro corta los materiales permanecerán a una temperatura de fusión por un menor tiempo lo que reduce las posibilidades de degradación.

Sus dimensiones, torque y potencia del motor serán bajas , lo que reduce significativamente el costo de fabricación y facilita el intercambio de repuestos.

1.13 Estudio de la extrusora de husillo simple para uso general.

En la figura 1.7 se muestra el corte transversal del husillo de un canal con su respectiva simbología.

Figura 1.7. Sección de un cilindro con husillo de un canal (vista general)



Fuente: Savgorodny V.K, 1973, p.4

En la tabla 1.6 se muestra el significado de la simbología empleada en la figura 1.7

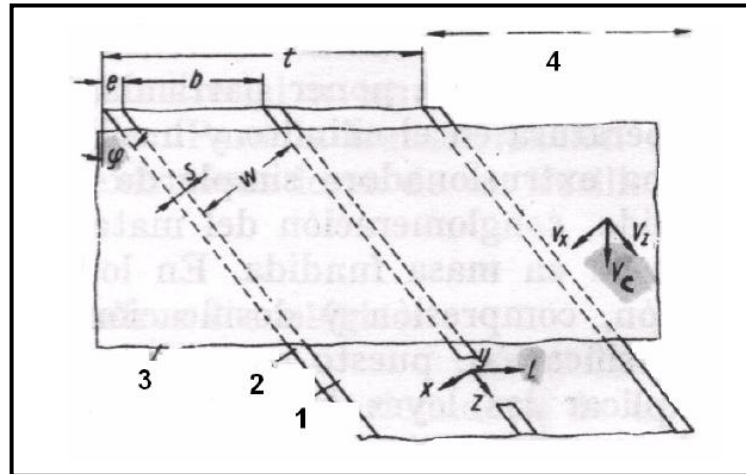
Tabla 1.6. Nomenclatura empleada en el husillo de un canal

| Simbología | Significado |
|------------|---------------------------------|
| D | Diámetro del canal |
| t | Paso del husillo |
| φ | Ángulo de hélice de canal |
| h | Profundidad del canal |
| w | Ancho del canal |
| e | Anchura de la cresta del filete |

Fuente: Savgorodny V.K, 1973, p.4

Para una mejor visualización de los diferentes elementos presentes en el husillo se puede prescindir de la curvatura del canal, de esta forma se puede realizar el desarrollo en un plano tal como se muestra en la figura 1.8.

Figura 1.8. Sección de un cilindro con husillo de un canal (desarrollo)



Fuente: Savgorodny V.K, 1973, p.4

Según el Investigador Soviético Savgorodny (Savgorodny, 1973, p.4) “uno de los parámetros fundamentales del husillo es la relación de longitud, su magnitud influirá directamente en el dimensionamiento de otros elementos que conforman la extrusora”.

1.13.1 Relación de longitud del husillo.

Generalmente, para la transformación del plástico se emplean extrusoras con husillos de diámetros que parten de (9 a 500) mm y relaciones de longitud de [(6 a 40) : 1].

1.14 Formulación y nomenclatura de parámetros básicos presentes en el husillo.

Según el Investigador Soviético Savgorodny (Savgorodny, 1973, p.23) para el cálculo del husillo se recomienda emplear las ecuaciones empíricas mostradas en la tabla 1.7.

Tabla 1.7. Fórmulas para calcular los parámetros básicos del husillo

| Definición | Símbolo | Fórmula | Nomenclatura | Ref |
|--|----------|--|--|----------|
| Paso del husillo | t | $(0.8 - 1.6)D$ | D: Diámetro del husillo (m) | (Ec.1.1) |
| Área de la sección transversal del husillo | Au | $Au = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D)^2$ | D: Diámetro del husillo (m) | (Ec.1.2) |
| Longitud de trabajo | l | $(0.5 - 0.7)L$ | L: Longitud total del husillo (m) | (Ec.1.3) |
| Huelgo radial entre la cresta del filete del husillo y el cilindro | δ | $(0.002 - 0.003)D$ | D: Diámetro del husillo (m) | (Ec.1.4) |
| Número de filetes del husillo | $\#$ | $\frac{l}{D}$ | l: Longitud de trabajo del husillo (m) | (Ec.1.5) |

Fuente: Savgorodny V.K, 1973, p.23

1.15 Formulación para el cálculo del ángulo de la hélice del husillo.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \cdot D} \quad (\text{Ec.1.6})$$

1.16 Flujos presentes en la extrusora.

Flujo de arrastre (α): Es el responsable de mover el fluido a través del husillo.

Flujo de presión (β): Es el flujo opuesto causado por la diferencia de presión.

Según el investigador Soviético Savgorodny (Savgorodny, 1973, p.13) para el cálculo de los flujos presentes en husillo se debe emplear las ecuaciones empíricas mostradas en la tabla 1.8.

Tabla 1.8. Fórmulas para calcular los flujos presentes en el husillo

| Flujo | Ecuación | Nomenclatura | Ref |
|-------------------|--|---|----------|
| Flujo de arrastre | $\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e\right) \cos^2 \varphi}{2}$ | m = Número de canales del husillo h = Profundidad del canal en la zona de dosificación (m) | (Ec.1.7) |
| Flujo de presión | $\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e\right) \sin \varphi \cos \varphi}{12(l)}$ | l = Longitud de trabajo (m) | (Ec.1.8) |

Fuente: Savgorodny V.K, 1973, p.13

1.17 Formulación para el cálculo del flujo total presente en la extrusora.

$$Q_T = \alpha(N) - \beta \left(\frac{\Delta P}{\eta}\right) \quad (\text{Ec.1.9})$$

Donde:

Q_T = Flujo total del fluido en la extrusora (m^3/s)

α = Flujo de arrastre (m^3)

β = Flujo de presión (m^3)

N = Revoluciones por segundo (*r. p. s*)

ΔP = Presión promedio (*MPa*)

η = Viscosidad (*MPa · s*)

1.18 Formulación para el cálculo de la potencia en base al flujo.

La potencia en base al flujo se calcula mediante el flujo total calculado y la variación de la presión de trabajo.

$$P_F = Q_T \cdot \Delta P \quad (\text{Ec.1.10})$$

Donde:

P_F = Potencia en base al flujo (W)

Q_T = Flujo total presente en la extrusora (m^3/s)

ΔP = Presión promedio (MPa)

1.19 Formulación para el cálculo de pérdidas de potencia.

1.19.1 Formulación para el cálculo de pérdidas por instalaciones eléctricas.

Al hablar de pérdidas en instalaciones eléctricas, se refiere a la potencia que se pierde en un motor, y que no es otra cosa que la diferencia entre la potencia que recibe la línea de origen y la que entrega al final.

$$Z_e = 0.015(P_F) \quad (\text{Ec.1.11})$$

Donde:

Z_e = Pérdidas por instalaciones eléctricas (W)

P_F = Potencia en base al flujo (W)

1.19.2 Formulación para el cálculo de pérdidas en motores y generadores.

Las pérdidas en motores y generadores se producen por un incorrecto pre encendido, que se puede producir al momento de querer hacer funcionar a la máquina.

$$Z_m = 0.03(P_F) \quad (\text{Ec.1.12})$$

Donde:

Z_m = Pérdidas en motores y generadores (W)

P_F = Potencia en base al flujo (W)

1.20 Formulación para el cálculo de la potencia real.

La potencia real del motor se calcula por la sumatoria de la potencia en base al flujo, las pérdidas por instalaciones eléctricas y pérdidas en motores.

$$P_R = P_F + Z_e + Z_m \quad (\text{Ec.1.13})$$

Donde:

P_R = Potencia real (W)

Z_m = Pérdidas en motores y generadores (W)

Z_e = Pérdidas por instalaciones eléctricas (W)

P_F = Potencia en base al flujo (W)

1.21 Formulación para el cálculo de las revoluciones del husillo en base a la producción.

$$N = \frac{R}{2.3 \cdot D^2 \cdot h \cdot G} \quad (\text{Ec.1.14})$$

Donde:

N = Revoluciones por minuto del husillo ($r.p.m$)

D = Diámetro del husillo (plg)

h = Profundidad del canal (plg)

G = Gravedad específica del plástico ABS

R = Cantidad de material procesado (lb/h)

1.22 Formulación para el cálculo de la presión en la máquina extrusora.

La presión en las máquinas de extrusión se genera en la parte delantera del husillo cumpliendo un papel importante en el proceso y en el acabado del material, de igual manera es importante porque de ella se derivan diferentes cálculos para el diseño de la máquina.

La presión a emplear en los cálculos será la presión crítica, es decir la presión máxima presente en la extrusora.

$$P_{MAX} = \frac{6 \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot N \cdot \mu}{h^2 \cdot \tan \varphi} \quad (\text{Ec.1.15})$$

Donde:

P_{MAX} = Presión máxima en la extrusora (MPa)

D = Diámetro del husillo (m)

μ = Viscosidad efectiva ($N/m^2 \cdot s$)

N = Revoluciones por minuto del husillo ($r.p.m$)

h = Profundidad del canal (m)

l = Longitud de trabajo del husillo (m)

φ = Ángulo de hélice del husillo (rad)

1.23 Formulación para el cálculo del torque en base a la potencia.

El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, el motor produce fuerza en el tornillo extrusor la cual le permite girar.

$$T = \frac{P_{REAL}}{W} \quad (\text{Ec.1.16})$$

Donde:

T = Torque en el tornillo extrusor ($N \cdot m$)

W = Revoluciones por segundo ($r.p.s$)

P_{REAL} = Potencia real (W)

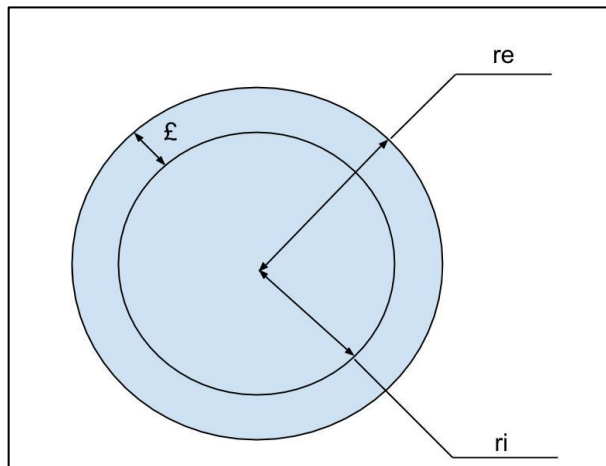
1.24 Formulación para el cálculo de la camisa o cilindro.

1.24.1 Formulación para el cálculo del espesor de la camisa o cilindro.

La camisa o cilindro es una barra perforada generalmente del mismo material del que está hecho el husillo, para calcular el espesor se realizará el análisis de este elemento como un cilindro de pared gruesa. El espesor del cilindro se lo utilizará para la posterior selección de temperaturas y elementos de calefacción.

La figura 1.9 muestra un corte transversal de un cilindro con la nomenclatura empleada para el cálculo del espesor.

Figura 1.9: Sección transversal de la camisa o cilindro



Elaborado por: Freddy Gualoto

$$\varepsilon = r_i \left[1 - \sqrt{\frac{2p_i}{\sigma_T - 2p_i}} \right] \quad (\text{Ec.1.17})$$

Donde:

ε = Espesor de la pared del cilindro (m)

r_i = Radio interno del cilindro (m)

p_i = Presión interna en el cilindro (MPa)

σ_T = Esfuerzo máximo de fluencia del material (cilindro) (MPa)

1.25 Formulación para el cálculo de masa y peso de cualquier elemento.

Se deberá calcular la masa y el peso de los diferentes elementos ya que es fundamental para determinar las fuerzas presentes en los mismos.

Según el autor (Larburu. N, 2000, p.53) la masa y peso de cuerpos geométricos regulares se calculan con las fórmulas mostradas en la tabla 1.9.

Tabla 1.9. Fórmulas para calcular la masa y peso de cualquier elemento.

| Magnitud | Fórmula | Nomenclatura | Referencia |
|----------|----------------------|---|------------|
| Masa | $m = \rho \cdot V_X$ | ρ = Densidad del material (Kg/m ³) V_X = Volumen del elemento (m ³) | (Ec.1.18) |
| Peso | $\varpi = m \cdot g$ | m = Masa del husillo (Kg) g = Gravedad (m/s ²) ϖ = Peso del husillo (N) | (Ec.1.19) |

Fuente: Larburu. N, 2000, p.53

1.26 Formulación para el cálculo de los volúmenes principales en la extrusora.

Es fundamental para posteriores cálculos, determinar el volumen del husillo y el volumen que ocupa el plástico fundido, para esto se empleará la formulación planteada por el autor (Larburu. N, 2000, p.41). Un resumen se muestra en la tabla 1.10.

Tabla 1.10. Fórmulas para calcular los volúmenes principales en la extrusora

| Tramo | Volumen | Nomenclatura | Ref |
|---------------------------------------|---|--|-----------|
| Husillo | $V_h = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$ | D = Diámetro (m) h = longitud de trabajo (m) | (Ec.1.20) |
| Espacio que ocupa el plástico fundido | $V_p = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi \cdot h}{4}$ | D = Diámetro interior de la camisa (m) d = Diámetro del alma del husillo (m) h = Longitud de trabajo del husillo (m) | (Ec.1.21) |

Fuente: Larburu. N, 2000, p.41

1.27 Diseño estático por esfuerzos.

1.28 Formulación para el cálculo del momento flector máximo.

Para calcular el momento flector máximo en una viga, se empleará fórmulas directas de manual de fórmulas (Kurt Gieck, 2003, p.139). Si la viga no se puede resolver por fórmulas directas se empleará otros métodos como la resolución por tramos.

1.29 Esfuerzos flectores.

1.29.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo de flexión en un eje macizo provocado por el momento flector.

$$\sigma_{max} = -\frac{Mc}{I} \quad (\text{Ec.1.22})$$

Donde

σ_{max} = Esfuerzo máximo de flexión (N/m^2)

M = Momento flector máximo ($N.m$)

c = Distancia del eje neutro a la fibra más flexionada (m)

I = Momento de inercia de la sección con respecto al eje neutro x (m^4)

1.29.2 Formulación para el cálculo del momento de inercia para un eje circular macizo.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (\text{Ec.1.23})$$

Donde

I = Momento de inercia de la sección con respecto al eje neutro x (m^4)

π = Es un valor constante

d = Diámetro del eje (m)

1.29.3 Formulación para el cálculo del esfuerzo de flexión provocado por la fuerza de compresión.

Este esfuerzo será el resultado de la compresión provocada por la fuerza que el plástico fundido ejerce sobre el área transversal del husillo.

$$\sigma_{max} = -\frac{Fx}{A} \quad (\text{Ec.1.24})$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo de flexión provocado por la fuerza de compresión (N/m^2)

Fx = Fuerza aplicada en el área transversal del husillo (N)

A = Área transversal del husillo (m^2)

1.29.4 Formulación para el cálculo del esfuerzo de flexión total.

$$\sigma_{max} = -\frac{Mc}{I} - \frac{Fx}{A} \quad (\text{Ec.1.25})$$

1.30 Esfuerzos cortantes.

1.30.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por torsión.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T * r}{I_p} \quad (\text{Ec.1.26})$$

Donde:

$\tau_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo cortante máximo (N)

T = Par de torsión máximo ($N.m$)

r = Radio del eje (m)

I_p = Momento polar de inercia en el eje

1.30.2 Formulación para el cálculo del momento polar de inercia para un eje circular macizo.

$$I_p = \frac{\pi * d^4}{32} \quad (\text{Ec.1.27})$$

Donde:

I_p = Momento polar de inercia (m^4)

π = Es un valor constante

d = Diámetro del eje (m)

1.30.3 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por flexión.

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A} \quad (\text{Ec.1.28})$$

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante por flexión (N/m^2)

V = Esfuerzo cortante máximo (N)

A = Área de la sección transversal del eje (m^2)

1.30.4 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante total.

$$\tau_{total} = \tau_{torsión} + \tau_{flexión} \quad (\text{Ec.1.29})$$

1.31 Tercera teoría de distorsión (Von Misses).

Al tratarse de esfuerzos combinados (torsión y flexión) se empleará la ecuación de Von Misses (Shigley, 1983, p.198) para calcular el esfuerzo equivalente en el punto crítico.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2} \quad (\text{Ec.1.30})$$

Una vez obtenidos todos los esfuerzos se procederá a determinar el factor de seguridad.

1.32 Formulación para el cálculo de factor de seguridad estático.

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma_e} \quad (\text{Ec.1.31})$$

Donde:

η_s = Factor de seguridad

S_y = Esfuerzo de fluencia del material (MPa)

σ_e = Esfuerzo equivalente (MPa)

Una vez que el husillo cumple con el diseño basado en esfuerzos se procederá al diseño por deformaciones.

1.33 Formulación para el diseño estático por deformaciones.

Además de los esfuerzos en una viga, se debe tener en cuenta a las deflexiones, cualquier carga de flexión aplicada a una viga provocará una deflexión, si esta no causa deformaciones más allá del punto de fluencia del material la viga regresará a su estado de inflexión cuando se retire la carga, si por el contrario excede ese punto la viga cederá y adquirirá dureza si es dúctil o fractura si es frágil.

Las deflexiones pueden causar interferencias entre las piezas móviles o desalineamientos que destruyen la exactitud requerida en la máquina, es por ello que el cálculo de las deflexiones es parte indispensable en el diseño de elementos de máquinas.

Para calcular las deformaciones se emplearán los factores más críticos, en este caso el momento máximo previamente calculado.

1.33.1 Formulación para el cálculo de deflexión en vigas.

Para determinar la deflexión en una viga se empleará la ecuación 1.34 correspondiente al momento flexionante, sin embargo esta misma ecuación puede diferenciarse dos veces o integrarse dos veces para obtener el conjunto de ecuaciones características de una viga, las mismas que se presentan a continuación en la tabla 1.11.

Tabla 1.11. Ecuaciones que definen el comportamiento de una viga

| Ecuación | Fórmula | Nomenclatura | Referencia |
|---------------------------------|----------------------------------|--|------------|
| Ecuación de carga | $\frac{q}{EI} = \frac{d^2y}{dx}$ | q = Carga E = Modulo de elasticidad | (Ec.1.32) |
| Ecuación de esfuerzo cortante | $\frac{V}{EI} = \frac{d^2y}{dx}$ | q = Esfuerzo cortante | (Ec.1.33) |
| Ecuación de momento flexionante | $\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx}$ | M = Momento flexionante | (Ec.1.34) |
| Ecuación de deflexión | $y = f(x)$ | | (Ec.1.35) |
| Ecuación de ángulo de giro | $\phi = \frac{dy}{dx}$ | | (Ec.1.36) |

Fuente: Robert L Norton, 2011, p.42

La resolución de estas ecuaciones se lo realizará por cualquier método de derivación e integración conocido, las constantes que surjan al realizar la integración se evalúan a partir de las condiciones de frontera dependientes de la configuración específica de la viga.

Para simplificar la resolución de las ecuaciones mostradas en la tabla 1.11 se empleará las funciones de singularidad dependientes del tipo de carga aplicada sobre la viga.

1.33.2 Funciones de singularidad.

Las funciones de singularidad constituyen un método útil y fácil para integrar ecuaciones a través de discontinuidades, al emplear estas ecuaciones se puede establecer expresiones generales para la fuerza cortante y momento flexionante cuando se consideran vigas cargadas por fuerzas o momentos concentrados.

La tabla 1.12 muestra las funciones de singularidad según el tipo de carga.

Tabla 1.12. Funciones de singularidad según el tipo de carga aplicada

| Tipo de Carga | Función de singularidad | Criterio | Referencia |
|--|------------------------------|--|------------|
| Carga distribuida cuadráticamente | $\langle x - a \rangle^2$ | $= \begin{cases} \langle x - a \rangle^2 & x \geq a \\ 0 & x < a \end{cases}$ | (Ec.1.37) |
| Carga linealmente distribuidas | $\langle x - a \rangle^1$ | $= \begin{cases} \langle x - a \rangle & x \geq a \\ 0 & x < a \end{cases}$ | (Ec.1.38) |
| Carga uniformemente distribuida sobre una porción de la viga | $\langle x - a \rangle^0$ | $= \begin{cases} 1 & x \geq a \\ 0 & x < a \\ \text{Indefinida} & x = a \end{cases}$ | (Ec.1.39) |
| Fuerza concentrada | $\langle x - a \rangle^{-1}$ | $= \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$ | (Ec.1.40) |
| Momento concentrado | $\langle x - a \rangle^{-2}$ | $= \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$ | (Ec.1.41) |

Fuente: Robert L Norton, 2011, p.43

1.34 Deflexión permisible para maquinaria

$$[y] \leq \frac{L}{1000} \quad (\text{Ec.1.42})$$

Donde:

$[y]$ = Deflexión permisible para maquinaria (m)

L = Longitud total del husillo (m)

1.35 Formulación para el diseño del tornillo extrusor por fatiga.

A menudo, se encuentra que los elementos de máquinas han fallado bajo la acción de esfuerzos repetidos o fluctuantes; no obstante, el análisis más cuidadoso revela que los esfuerzos máximos reales estuvieron por debajo de la resistencia última del material y con mucha frecuencia incluso por debajo de la resistencia a la fluencia. La característica más notable de estas fallas consiste en que los esfuerzos se repitieron un gran número de veces, por lo tanto a la falla se la conoce como falla por fatiga.

Para calcular el límite de resistencia a la fatiga de un elemento se utiliza la fórmula de Marín (Shigley, 1983, p.210), que identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura, y varios otros puntos.

1.35.1 Formulación para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = (S_e'')(K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_f) \quad (\text{Ec.1.43})$$

Donde:

S_e'' = Límite de resistencia a la fatiga en una viga rotatoria.

$$S_e'' = 0.5 \cdot S_{ut}$$

K_a = Factor de modificación de la condición superficial.

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

K_b = Factor de modificación del tamaño dependiente del diámetro.

$$K_b = \left(\frac{D}{7.62} \right)^{-0.1133}$$

K_c = Factor de modificación de carga para el caso de torsión y cortante.

K_d = Factor de modificación de temperatura.

K_e = Factor de confiabilidad.

K_f = Factor de modificación de esfuerzos varios.

1.35.2 Formulación para el cálculo del factor de seguridad dinámico.

$$\eta_d = \frac{\sigma_y}{S_e} \quad (\text{Ec.1.44})$$

Donde:

η_d = Factor de seguridad dinámico

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material (MPa)

S_e = Límite de resistencia a la fatiga (MPa)

1.36 Diseño y selección de los calentadores.

La selección de calentadores consiste en determinar la energía necesaria que se debe transmitir al polímero para alcanzar la temperatura de transición vítrea, temperatura a la cual el material pasa de estado sólido a líquido.

1.36.1 Formulación para el cálculo del tiempo de residencia de la mezcla en secciones tubulares.

Se refiere al tiempo que el material debe permanecer dentro de la extrusora hasta conseguir el cambio de estado sólido a líquido.

$$\mathcal{T} = \frac{\pi \cdot l \cdot r^2}{Q_T} \quad (\text{Ec.1.45})$$

Donde:

\mathcal{T} = Tiempo de residencia de la mezcla (seg)

π = Constante

l = Longitud de trabajo del husillo (m)

r = Radio del husillo (m)

Q_T = Caudal total presente en la extrusora (m^3/s)

1.36.2 Flujo de calor presente en el sistema.

Para determinar el flujo de calor primero se comprobará que en la extrusora se puede considerar despreciables parámetros como la variación de presión y el rozamiento interno en las paredes del cilindro.

Para esto se calculará el número de Biot (B_i) y se verificará si cumple o no con la siguiente condición: $B_i < 0.1$.

1.36.3 Formulación para el cálculo del número de Biot.

$$B_i = \frac{h_c \cdot e_c}{K} \quad (\text{Ec.1.46})$$

Donde:

B_i = Número de Biot

h_c = Coeficiente de transferencia de calor del material del cilindro ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

e_{ci} = Espesor de la pared del cilindro o camisa (m)

K = Coeficiente de convección libre ($W/m \cdot ^\circ K$)

1.36.4 Formulación para el cálculo del volumen del cilindro o camisa.

$$V_{ci} = L \cdot \pi \cdot (R_e^2 - R_i^2) \quad (\text{Ec.1.47})$$

Donde:

V_{ci} = Volumen del cilindro (m^3)

R_e = Radio exterior del cilindro (m)

R_i = Radio interior del cilindro (m)

L_{ci} = Longitud del cilindro (m)

π = Constante

1.36.5 Formulación para el cálculo del flujo de calor presente en la extrusora.

Es el calor que las resistencias deben transmitir al cilindro para alcanzar la temperatura de transición vítrea, temperatura a la cual el material cambiará de estado sólido a líquido.

$$Q_r = \rho \cdot V_{ci} \cdot c \cdot \theta_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{\mathcal{T} \cdot h_c \cdot A_s}{\rho \cdot V_{ci} \cdot c}\right) \right] \quad (\text{Ec.1.48})$$

Donde:

Q_r = Flujo de calor presente en el sistema (*Joule*)

ρ = Densidad del material (cilindro) (Kg/m^3)

V_{ci} = Volumen del cilindro (m^3)

c = Calor específico del material (cilindro) ($\text{J}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K})$)

h_c = Coeficiente de transferencia de calor (cilindro) ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$)

θ_1 = Diferencial de temperaturas en el cilindro ($\text{Text} - \text{Tint}$) ($^\circ\text{K}$)

\mathcal{T} = Tiempo de residencia de la mezcla (s)

1.36.6 Formulación para el cálculo de potencia en las resistencias eléctricas.

Se determinará la potencia de las resistencias en base al flujo de calor presente en la extrusora y el tiempo de residencia de la mezcla.

$$P_R = \frac{Q_r}{\mathcal{T}} \quad (\text{Ec.1.49})$$

Donde:

P_R = Potencia de las resistencias eléctricas (*Watt*)

Q_r = Flujo de calor proporcionado presente en el sistema (*Joule*)

\mathcal{T} = Tiempo de residencia de la mezcla (s)

1.37 Formulación para el cálculo del soporte de la máquina.

Las cargas que soportan las vigas las transmiten a sus apoyos, dependiendo de cuantos apoyos existan la carga se distribuye uniformemente en cada uno de ellos.

1.37.1 Formulación para determinar la tensión en los apoyos.

La tensión en el apoyo tiende a producir el aplastamiento, para evitar este aplastamiento la tensión del apoyo no debe rebasar el límite de seguridad, el mismo que depende de la clase y calidad de los materiales empleados.

$$\sigma_A = \frac{R_A}{S_A} \quad (\text{Ec.1.50})$$

Donde:

σ_A = Tensión en el apoyo (N/m^2)

R_A : Presión transmitida al aplicar una carga contra el soporte (N)

S_A : Superficie de contacto en el apoyo (m^2)

1.37.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo admisible en superficies sometidas a aplastamiento.

$$[\sigma p] = 0.90 S_y \quad (\text{Ec.1.51})$$

Donde:

$[\sigma p]$ = Esfuerzo admisible en superficies sometidas a aplastamiento (N/m^2)

S_y : Esfuerzo de fluencia del material (perno) (MPa)

1.38 Formulación para el cálculo elementos atornillados.

1.38.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo admisible en pernos sometidos a tracción.

$$[\sigma \text{ perno}] = 0.90 S_y \quad (\text{Ec.1.52})$$

Donde:

$[\sigma \text{ perno}]$: Esfuerzo admisible en pernos sometidos a tracción (N/m²)

S_y : Esfuerzo de fluencia del material (perno) (MPa)

1.38.2 Formulación para el cálculo del área transversal de pernos sometidos a tracción.

$$A_p = \frac{P_{\text{carga}}}{[\sigma \text{ perno}]} \quad (\text{Ec.1.53})$$

Donde:

A_p = Área transversal del perno (m²)

$[\sigma \text{ perno}]$: Esfuerzo permisible en pernos sometidos a tracción (N/m²)

P_{carga} : Carga a la que está sometido el perno (N)

1.39 Trituración.

Es el proceso mediante el cual se busca reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por medio de la molienda, para conseguir este objetivo se puede emplear diversos métodos tanto mecánicos como químicos, sin embargo en este trabajo se analizará únicamente el método mecánico el cual emplea máquinas para realizar la trituración.

1.40 Tipos de trituradoras para compuestos sólidos.

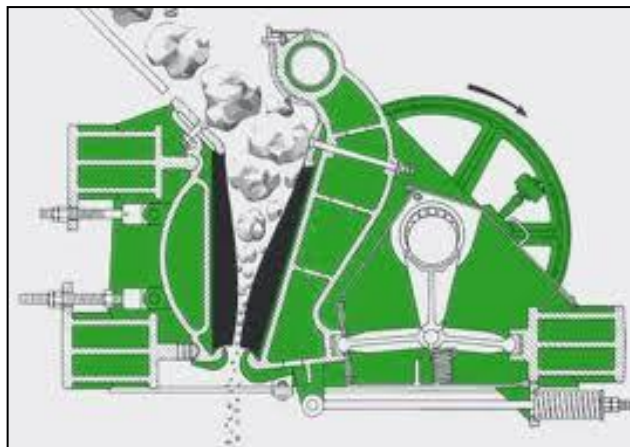
1.40.1 Trituradora de mandíbulas.

Consiste en un equipo para la reducción de sólidos en grandes cantidades, su funcionamiento se basa en hacer pasar el material a través de dos quijadas pesadas o placas planas, una placa es fija y la otra es móvil, la quijada móvil oscila constantemente y el material es reducido mientras pasa a través de ellas.

Esta trituradora se emplean en la fragmentación de materiales duros y abrasivos, su construcción es relativamente sencilla, tiene un bajo costo de mantenimiento y actualmente se dispone solo de unidades de gran tamaño.

El gráfico de una trituradora de mandíbulas se muestra en la figura 1.10.

Figura 1.10: Trituradora de mandíbulas



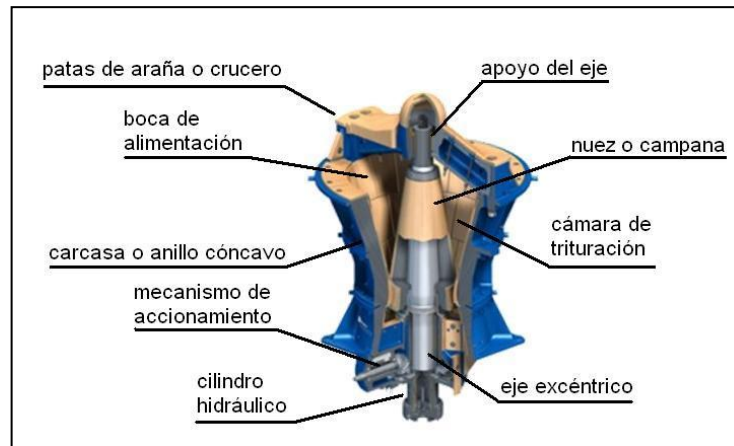
Fuente: Trituradora de mandíbulas, 2010.

1.40.2 Trituradora giratoria.

Las trituradoras giratorias son esencialmente empleadas para materiales duros. La cabeza trituradora móvil tiene forma de cono truncado invertido, la cabeza trituradora gira excéntricamente y el material que se tritura queda atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio, durante cada rotación el cono móvil se aproxima y se aleja del punto correspondiente del cono fijo lo que produce la trituración de los sólidos.

En la figura 1.11 se muestra una gráfica de una trituradora giratoria.

Figura 1.11: Trituradora giratoria

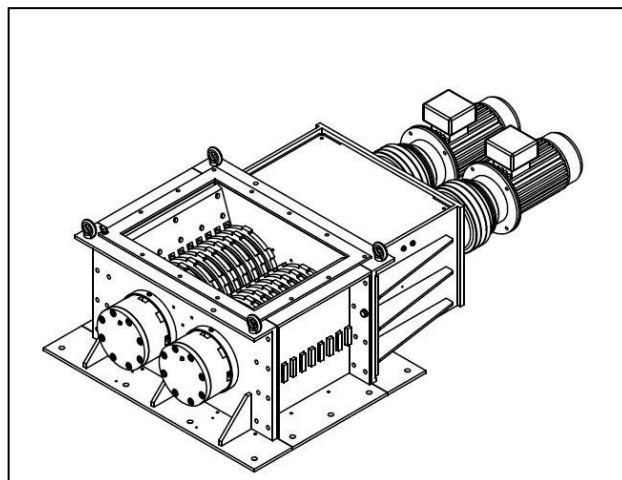


Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, 2015

1.40.3 Trituradora de rodillo.

Este tipo de triturador consiste en dos cilindros de ejes paralelos, con o sin filos cortantes, girando en sentido inverso y a la misma velocidad de rotación formando entre ellos una cámara de trituración en forma de “V”. En la figura 1.12 se muestra una representación gráfica de una trituradora de rodillos con ruedas dentadas.

Figura 1.12: Trituradora de rodillos con filos cortantes



Fuente: Haarslev, 2015, p.25.

1.41 Cuadro ponderativo para la selección el tipo de trituradora.

Para seleccionar la mejor alternativa en cuanto al tipo de trituradora se empleará el método ponderativo, basado en las características de cada trituradora a cada opción se asignará una calificación cuyo criterio será.

De 1 a 3. Se pondera que la trituradora no cumple con ninguna de las características deseadas para la trituración de plástico ABS.

De 4 a 6. Se pondera que la trituradora cumple con algunas de las características deseadas para la trituración de plástico ABS, en lo referente a: tiene un costo de fabricación muy elevado, no es muy segura, difícil construcción, difícil operación, algunos materiales para su construcción no están disponibles en el mercado local.

De 7 a 8. Se pondera que la trituradora cumple con la mayoría de las características deseadas para la trituración de plástico ABS, en lo referente a tiene un costo de fabricación elevado, es segura, fácil construcción, fácil operación, limitada disponibilidad de materiales en el mercado.

De 9 a 10. Se pondera que la trituradora cumple con todas las características deseadas para la trituración de plástico ABS, en lo referente a: tiene un costo de fabricación bajo, es muy segura, construcción muy sencilla, fácil operación, todos los materiales para su construcción están disponibles en el mercado local.

Con los criterios anteriormente enlistados se procederá a asignar un valor a cada parámetro, luego se sumará estos valores en cada una de las opciones disponibles, siendo seleccionada aquella cuyo resultado total sea mayor.

En la tabla 1.13 se muestran los resultados obtenidos para la selección del tipo de trituradora basado en los criterios de ponderación anteriormente enlistados.

Tabla 1.13: Cuadro ponderativo para la selección del tipo de trituradora

| | T. Mandíbulas | T. Giratoria | T. Rodillo |
|---|----------------------|---------------------|-------------------|
| Parámetro | Calificación 1 | Calificación 2 | Calificación 3 |
| Costos | 5 | 5 | 9 |
| Seguridad | 7 | 7 | 7 |
| Disponibilidad de materiales para su construcción | 9 | 9 | 9 |
| Facilidad de construcción | 9 | 7 | 9 |
| Facilidad de operación | 7 | 7 | 7 |
| TOTAL | 37 | 35 | 41 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

Estos resultados conducen a seleccionar la trituradora de rodillo con filos cortantes como la mejor alternativa para triturar el plástico ABS.

Como primer paso, previo al diseño de la trituradora, se determinará el balance de energía y la fuerza necesaria para romper el plástico ABS.

1.42 Formulación para determinar el trabajo necesario para realizar la ruptura del material.

$$\partial W = \partial W^{el} + G_c \cdot \ell \cdot \partial a \quad (\text{Ec.1.54})$$

Donde:

∂W = Trabajo necesario para realizar la ruptura del material (*Joule*)

∂W^{el} = Cambio de energía elástica (*Joule*)

G_c = Energía absorbida por unidad de área (*Joule/m²*)

ℓ = Longitud del material cortado por la cuchilla (longitud del filo cortante) (*m*)

∂a = Avance de la fractura durante el impacto (*m/s*)

Esta ecuación indica que el trabajo necesario para realizar la ruptura del material debe ser mayor que el cambio de energía elástica más la energía absorbida por el material en ruptura, en el caso de termoplásticos ABS el cambio de energía elástica (∂W^{el}) es nula o insignificante comparado con el trabajo hecho por la cuchilla al realizar el corte. Por lo tanto se reduce a la ecuación 1.55.

$$\partial W = G_c \cdot \ell \cdot \partial a \quad (\text{Ec.1.55})$$

Donde:

∂W = Trabajo necesario para realizar la ruptura del material (*Joule*)

G_c = Energía absorbida por unidad de área (*Joule/m²*)

ℓ = Longitud del material cortado por la cuchilla (longitud del filo cortante) (*m*)

∂a = Avance de la fractura durante el impacto (*m/s*)

1.43 Formulación para el cálculo de la fuerza necesaria para romper el plástico ABS.

Una vez obtenida la ecuación de trabajo se procederá a determinar la fuerza necesaria para provocar su fractura del plástico ABS.

Partiendo de la definición de trabajo mecánico según el autor Larburu “El trabajo es el producto de la fuerza aplicada por el desplazamiento” (Larburu, 2000, p.111), en este caso el desplazamiento se da mientras la grieta se propaga a través del material durante el impacto. Este fenómeno se representa en la ecuación 1.56.

$$\partial W = F \cdot \partial a \quad (\text{Ec.1.56})$$

Donde:

∂W = Trabajo necesario para realizar la ruptura del material (*Joule*)

F = Fuerza aplicada por la cuchilla (*N*)

Al ser el avance el mismo, se procederá a igualar las ecuaciones 1.55 y 1.56 teniendo como resultado la fuerza necesaria para provocar el corte del plástico ABS.

$$F_c = G_c \cdot \ell \quad (\text{Ec.1.57})$$

Donde:

F_c = Fuerza aplicada por la cuchilla (N)

G_c = Energía absorbida por unidad de área (Joule/m²)

ℓ = Longitud del material cortado por la cuchilla (longitud del filo cortante) (m)

1.44 Formulación para el cálculo de la potencia del motor.

$$P = T \cdot w \quad (\text{Ec.1.58})$$

Donde:

P = Potencia del motor (W)

T = Torque del husillo (N.m)

w = Velocidad angular (rad/s)

1.45 Formulación para el cálculo del volumen total de la trituradora.

El volumen de la trituradora es fundamental ya que permitirá calcular el peso de los diferentes elementos que la conforman.

Según el autor (Gieck, 2003, p.25) los volúmenes de cuerpos geométricos regulares se calculan con las fórmulas mostradas en la tabla 1.14.

Tabla 1.14. Fórmulas para calcular el volumen total de la trituradora

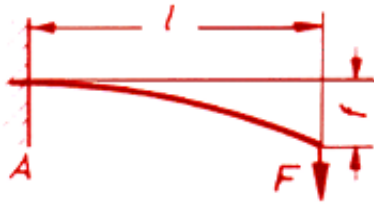
| Tramo | Volumen | Nomenclatura | Ref |
|--|--|--|-----------|
| Sección A Tramo roscado | $V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$ | $D =$ Diámetro del tramo (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.59) |
| Sección B Tramo eje sujeción | $V_2 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot h$ | $D =$ Diámetro del tramo (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.60) |
| Sección C Tramo rodamiento | $V_3 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot h$ | $D =$ Diámetro del tramo (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.61) |
| Sección D: Tramo hexagonal soporte cuchillas | $V_4 = \frac{3}{2} \cdot l^2 \cdot \sqrt{3} \cdot h$ | $l =$ Longitud del lado del hexágono (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.62) |
| Sección E: Tramo rodamiento | $V_5 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot h$ | $D =$ Diámetro del tramo (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.63) |
| Volúmenes espaciadores | $V_6 = \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot (D^2 - d^2)$ | $D =$ Diámetro del espaciador (m) $d =$ Diámetro interior (m) $h =$ Longitud del tramo (m) | (Ec.1.64) |
| Volumen Cuchillas | $V_7 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$ | $D =$ Diámetro de la cuchilla (m) $h =$ Longitud de la cuchilla (m) | (Ec.1.65) |
| $V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7$ | | | |

Fuente: Gieck, 2003, p.25

1.46 Formulación para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en la cuchilla.

Se analizará la cuchilla como una viga en voladizo con carga puntual, Según el autor (Gieck, 2003, p.139) las fórmulas que se emplea para el diseño de este tipo de viga se muestran en la tabla 1.15.

Tabla 1.15. Fórmulas para el diseño de una viga en voladizo, sección transversal rectangular, con carga puntual en el extremo

| Tipo de carga | | |
|--|-----------------------------|------------|
|  | | |
| Nomenclatura | Fórmula | Referencia |
| Fuerza en A | F | (Ec.1.66) |
| Momento flexionante máximo | $F \cdot l$ | (Ec.1.67) |
| Deflexión máxima | $\frac{F \cdot l^3}{3EI_e}$ | (Ec.1.68) |

Fuente: Kurt Gieck, 2003, p.139

1.46.1 Formulación para el cálculo del momento de inercia para vigas con sección rectangular.

$$I_R = \frac{e \cdot h^3}{12} \quad (\text{Ec.1.69})$$

Donde:

I_R = Momento de inercia en una viga con sección rectangular (m^4)

e = Ancho de la sección (m)

h = Alto de la sección (m)

1.46.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo máximo de flexión en vigas con sección rectangular.

$$\sigma_{max} = \frac{M_f \cdot Z_c}{I_R} \quad (\text{Ec.1.70})$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo de flexión

M_f = Momento flexionante máximo

I_R = Momento de inercia en una viga con sección rectangular (m^4)

Z_c = Distancia del eje neutro a la fibra más flexionada (m)

1.46.3 Formulación para el cálculo del esfuerzo permisible de miembros a flexión (vigas).

$$[\sigma_f] = 0.66(Sy) \quad (\text{Ec.1.71})$$

Donde:


$[\sigma_f]$ = Esfuerzo permisible de miembros a flexión (N/m^2)

Sy = Esfuerzo de fluencia del material (N/m^2)

1.47 Formulación para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en el árbol de transmisión.

Basado en la distribución y simetría de los diferentes elementos montados en la trituradora, el eje de transmisión será analizado como una viga con carga puntual en el centro y apoyado en los extremos. Según el autor (Gieck, 2003, p.139) las fórmulas que se emplean para el diseño de este tipo de viga se muestran en la tabla 1.16.

Tabla 1.16. Fórmulas para el diseño de una viga con carga puntual en el centro

| Viga con carga puntual en el centro | | |
|--|-------------------------------|------------|
|  | | |
| Nomenclatura | Fórmula | Referencia |
| Fuerza en A | $\frac{F}{2}$ | (Ec.1.72) |
| Fuerza en B | $\frac{F}{2}$ | (Ec.1.73) |
| Momento flexionante máximo | $\frac{1}{4} \cdot F \cdot l$ | (Ec.1.74) |
| Deflexión máxima | $\frac{F \cdot l^3}{48EI_R}$ | (Ec.1.75) |

Fuente: Kurt Gieck, 2003, p.139

1.47.1 Formulación para el cálculo del momento polar de inercia para vigas con sección hexagonal.

$$I_e = 1.0825 (l_e^4) \quad (\text{Ec.1.76})$$

Donde:

I_e = Momento polar de inercia en una viga con sección hexagonal (m^4)

l_e = Longitud de un lado del hexágono (m)

1.47.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo máximo de flexión en el árbol de transmisión.

$$\sigma_{max} = \frac{M_f \cdot Z_e}{I_e} \quad (\text{Ec.1.77})$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo máximo de flexión en el árbol de transmisión (N/m^2)

M_f = Momento flexionante máximo ($N \cdot m$)

I_e = Momento polar de inercia en una viga con sección hexagonal (m^4)

Z_e = Distancia del eje neutro a la fibra flexionada (m)

1.47.3 Formulación para el cálculo del momento torsor máximo en el árbol de transmisión.

$$T = F \cdot rcuchilla \quad (\text{Ec.1.78})$$

Donde:

T = Momento torsor máximo ($N \cdot m$)

F = Fuerza aplicada por la cuchilla para romper el material (N)

$rcuchilla$ = Radio de la cuchilla circular (m)

1.47.4 Formulación para el cálculo de la potencia del motor.

Para hallar la potencia del motor se empleará el torque máximo y la velocidad angular.

$$P_m = T \cdot w \quad (\text{Ec.1.79})$$

Donde:

P_m = Potencia del motor (W)

T = Momento torsor máximo ($N \cdot m$)

w = Velocidad angular del husillo (rad/s)

1.48 Formulación para el cálculo de los esfuerzos cortantes en el árbol de transmisión.

1.48.1 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por torsión.

$$\tau_t = \frac{T \cdot c}{I_e} \quad (\text{Ec.1.80})$$

Donde:

τ_t = Esfuerzo cortante máximo por torsión

T = Momento torsor máximo ($N \cdot m$)

I_e = Momento polar de inercia en una viga con sección hexagonal (m^4)

c = Distancia del eje neutro a la fibra más torsionada (m)

1.48.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo cortante máximo por flexión.

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A_e} \quad (\text{Ec.1.81})$$

Donde:

τ_{max} = Esfuerzo cortante máximo por flexión (N/m^2)

V = Esfuerzo cortante máximo (N)

A_e = Área de la sección transversal del eje hexagonal (m^2)

1.49 Formulación para el cálculo de engranajes de dientes rectos.

Según (Bosco, 2000, p.32) “Los engranajes también conocidas como ruedas dentadas son elementos mecánicos que tienen por objetivo transmitir un movimiento circular generado por un sistema de transmisión de energía (motor) a otro sistema, ya sea aumentando o disminuyendo la velocidad y la fuerza inicial”.

La trituradora consta de un sistema de engranajes conformado por dos ruedas dentadas de dientes rectos, en este proyecto los engranajes tendrán las mismas dimensiones ya que el único objetivo será la transmisión de movimiento.

Según la guía práctica de máquinas fresadoras (Bosco, 2000, p.33), el cálculo de las principales dimensiones del engranaje de dientes rectos se conseguirá empleando las fórmulas que se muestran en la tabla 1.17.

Tabla 1.17. Fórmulas para calcular las dimensiones de engranajes de dientes rectos

| Denominación | Fórmula | Nomenclatura | Referencia |
|--------------------|-------------------------|--|------------|
| Módulo | $M = \frac{D_e}{z + 2}$ | D_e = Diámetro exterior de la rueda (m) z = Número de dientes | (Ec.1.82) |
| Diámetro primitivo | $D_p = M \cdot z$ | M = Módulo (m) | (Ec.1.83) |
| Altura del diente | $h = 2.25 \cdot M$ | M = Módulo (m) | (Ec.1.84) |
| Paso | $Paso = M \cdot \pi$ | M = Módulo (m) π = Constante | (Ec.1.85) |
| Radio primitivo | $R_p = \frac{1}{2} D_p$ | D_p = Diámetro primitivo (m) | (Ec.1.86) |

Fuente: I.T.S.S.D.B, 2005.

Una vez calculada las dimensiones se procede a determinar los esfuerzos producidos en la rueda dentada.

1.49.1 Formulación para el cálculo de esfuerzo de flexión en ruedas dentadas.

Para el diseño de engranajes se determinará el esfuerzo de flexión en el punto crítico de cada rueda, es decir en los dientes de la misma.

$$\sigma_R = \frac{F_t \cdot K_a \cdot K_m \cdot K_S}{F \cdot m \cdot K_V} \quad (\text{Ec.1.87})$$

Donde:

σ_R = Esfuerzo de flexión en los dientes de la rueda (N/m^2)

F_t = Fuerza tangencial aplicada al diente de la rueda (N)

F = Ancho de la rueda (m)

m = Modulo de la rueda

K_V = Factor dinámico

K_m = Factores de distribución de carga

K_a = Factor de carga no constante transmitida en el tiempo

K_s = Factor de tamaño

J = Factor geométrico AGMA

Cada uno de los factores se obtiene directamente en tablas del anexo C.

1.49.2 Formulación para el cálculo de la fuerza tangencial presente en los dientes de la rueda.

La fuerza tangencial se obtiene empleando el momento torsor provocado por la fuerza ejercida sobre el diente y el radio primitivo de la rueda.

$$F_t = \frac{M_t}{R_p} \quad (\text{Ec.1.88})$$

Donde:

F_t = Fuerza tangencial en los dientes de la rueda (N)

M_t = Momento torsor en la rueda ($N \cdot m$)

R_p = Radio primitivo de la rueda (m)

1.49.3 Formulación para el cálculo del factor de seguridad en la rueda.

Una vez determinado el esfuerzo en la rueda y conociendo el material a emplear se obtendrá el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma R} \quad (\text{Ec.1.89})$$

Donde:

η = Factor de seguridad de la rueda dentada

σR = Esfuerzo de flexión en los dientes de la rueda (N/m^2)

S_y = Esfuerzo de fluencia del material (N/m^2)

1.50 Formulación para el cálculo de rodamientos.

Para seleccionar el rodamiento primero se determinará la carga radial, esta carga será el resultado de la sumatoria de los pesos de los diferentes elementos que conforman la trituradora.

Los rodamientos radiales de una hilera soportan únicamente cargas aplicadas directamente en su radio. En el caso de la trituradora y al tener como soportes rodamientos la carga radial será la sumatoria de pesos y fuerzas presentes en el eje de transmisión en el que están acoplados los rodamientos.

Una vez obtenida esta carga radial se procederá a seleccionar el rodamiento en catálogos de proveedores, para este proyecto el catalogo correspondiente se muestra en el anexo C5, página 117.

1.51 Formulación para el cálculo de pernos.

Para el cálculo de pernos se empleará fórmulas directas del manual de diseño para la construcción con acero (AHMSA, 2013, p.3).

1.51.1 Formulación para el cálculo de la carga total a la que está sometido el perno.

$$Carga\ total = C_{husillo} + C_{camisa} + C_{plástico} + C_{boquilla} \quad (\text{Ec.1.90})$$

1.51.2 Formulación para el cálculo del esfuerzo admisible en pernos.

$$[\sigma p] = 0.90 S_y \quad (\text{Ec.1.91})$$

Donde:

$[\sigma p]$ = Esfuerzo admisible en pernos (N/m^2)

S_y = Esfuerzo de fluencia del material (N/m^2)

1.51.3 Formulación para el cálculo del área transversal del perno.

$$A = \frac{\text{Carga}}{[\sigma p]} \quad (\text{Ec.1.92})$$

Donde:

Carga = Carga a la que está sometido el perno (N)

$[\sigma p]$ = Esfuerzo admisible en pernos (N/m^2)

CAPÍTULO 2

DISEÑO MECÁNICO

2.1 Generalidades.

El presente capítulo contiene los cálculos de todos los elementos que conforman la máquina extrusora como son: el tornillo extrusor, la camisa, el sistema de calentamiento y de control. En segundo lugar estarán los cálculos de todos los elementos que conforman la trituradora como son las cuchillas, ejes porta cuchillas y engranajes. En tercer lugar se realizan los cálculos del soporte y elementos de sujeción para las dos máquinas, para esto se tomará como referencia al capítulo 1, ya que en él se explicó todo lo referente a las propiedades de los materiales a ser utilizados así como las fórmulas empleadas para el dimensionamiento de cada uno de los elementos. En el transcurso del capítulo se empleará el diseño por esfuerzos y diseño por deformaciones para garantizar la correcta funcionalidad de los elementos.

2.2 Diseño de la extrusora de hilo plástico ABS.

2.3 Cálculo de la capacidad de la máquina extrusora.

Para el cálculo de la capacidad de producción de la extrusora de hilo plástico se tomará un valor estimado, el cual servirá como guía para calcular los diferentes elementos de la máquina.

La capacidad estimada de la extrusora será de 2 Kg/h , como referencia para este dato se ha tomado la velocidad de alimentación requerida en la boquilla de una impresora 3D para un funcionamiento continuo.

Capacidad en libras por hora.

$$\text{Producción} = 4.4 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Capacidad en kilogramos por segundo.

$$\text{Producción} = 0.00055 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

2.4 Cálculo de los principales parámetros del husillo o tornillo extrusor.

Las partículas que se van a introducir en la extrusora tienen un volumen promedio de 125 mm^3 , por lo que la altura del filete y el paso del husillo deben tener dimensiones que permitan acoger y transportar el plástico sin problemas.

No existirá variación en su diámetro, la función del husillo será únicamente el arrastre del material, el incremento de temperatura del plástico no se dará por aplastamiento este se dará en su totalidad por el calor proveniente de resistencias eléctricas.

2.4.1 Cálculo de la profundidad del canal (h).

La altura promedio de las partículas de plástico triturado es de 5 mm por lo tanto se elegirá una profundidad del canal de 8mm con lo que se garantiza que las partículas no se atasquen mientras son transportadas por el husillo.

$$\text{Profundidad} = 8\text{mm}$$

$$\text{Profundidad} = 0,008\text{m}$$

2.4.2 Cálculo del ancho del canal del tornillo extrusor (w).

Para determinar el ancho del canal se considero tener el espacio suficiente para contener un promedio de 3 partículas de plástico por cada giro del husillo.

$$\text{Ancho del canal} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho del canal} = 0.002 \text{ m}$$

Con estas consideraciones iniciales se procederá a determinar las dimensiones restantes del tornillo extrusor empleando las fórmulas planteadas en el capítulo 1.

2.4.3 Cálculo del paso del tornillo extrusor.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.1 se obtendrá.

$$t = 1.2 \text{ (22.2)}$$

$$t = 35 \text{ mm}$$

$$t = 0.035 \text{ m}$$

2.4.4 Cálculo del ángulo de la hélice.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.6 se obtendrá.

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{0.035}{\pi \cdot 0.022} \right)$$

$$\varphi = 26.623^\circ$$

2.4.5 Cálculo de la longitud de trabajo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.3 se obtendrá.

$$l = 0.6 \text{ (216)}$$

$$l = 146 \text{ mm}$$

$$l = 0.146 \text{ m}$$

2.4.6 Cálculo de la longitud total del husillo.

La longitud total del husillo tomando en cuenta el vástago será de 0.216 m, esta dimensión se seleccionó de acuerdo a los requerimientos de espacio propios del proyecto.

$$L = 0.216 \text{ m}$$

2.4.7 Cálculo del número de hélices o filetes del husillo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.5 se obtendrá.

$$\# = \frac{0.146}{0.035}$$

$$\# = 4$$

2.4.8 Cálculo del número de revoluciones en base a la producción.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.14 se obtendrá.

$$N = \frac{4.4}{(2.3) (0.875)^2 (0.134) (1.04)}$$

$$N = 7.6 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$N = 0.12 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

$$N = 3.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

2.5 Análisis de flujos presentes en una extrusora.

2.5.1 Cálculo del flujo de arrastre.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.7 se obtendrá.

$$\alpha = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 2.22 \cdot 0.8 \cdot \left(\frac{3.5}{1} - 1.5\right) \cos^2 26.6}{2}$$

$$\alpha = 4.4 \text{ cm}^3$$

$$\alpha = 4.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

2.5.2 Cálculo del flujo de presión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.8 se obtendrá.

$$\beta = \frac{1 \cdot (0.8)^3 \left(\frac{3.5}{1} - 1.5\right) \sin 26.6 \cdot \cos 26.6}{12(14.6)}$$

$$\beta = 2.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

$$\beta = 2.3 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$

2.6 Cálculo de la presión máxima.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.15 se obtendrá.

$$P_{MAX} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 0.02 \cdot 0.146 \cdot 34 \cdot 600}{(0.06)^2 \cdot \tan 26.6}$$

$$P_{MAX} = 3884552,053 \text{ Pa}$$

$$P_{MAX} = 3.9 \text{ MPa}$$

La variación de presión dentro de la extrusora será el promedio de la presión máxima.

$$\Delta P = 1.94 \text{ MPa}$$

2.7 Cálculo del flujo total presente en la extrusora.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.9 se obtendrá.

$$Q_T = 4.4 \times 10^{-6}(3.4) - 2.3 \times 10^{-9} \left(\frac{1942276,026}{600} \right)$$

$$Q = 7.6 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

2.8 Cálculo de la potencia en base al flujo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.10 se obtendrá.

$$P_F = 7.6 \times 10^{-6} (1942276,026)$$

$$P_F = 14.72 \text{ W}$$

2.9 Cálculo de pérdidas de potencia.

2.9.1 Cálculo de pérdidas por instalaciones eléctricas.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.11 se obtendrá.

$$Z_e = 0.015 (14.72)$$

$$Z_e = 0.22 \text{ W}$$

2.9.2 Cálculo de pérdidas en motores y generadores.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.12 se obtendrá.

$$Z_m = 0.05 (14.72)$$

$$Z_m = 0.736 \text{ W}$$

2.10 Cálculo de la potencia real.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.13 se obtendrá.

$$P_R = 14.72 + 0.22 + 0.736$$

$$P_{REAL} = 15.678 \text{ W}$$

$$P_{REAL} = 0.02 \text{ HP}$$

2.11 Cálculo del torque en base a la potencia.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.16 se obtendrá.

$$T = \frac{15.678}{3.4}$$

$$T = 4.616 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2.12 Parámetros geométricos y físicos del husillo.

El volumen, masa y peso del husillo se obtendrán empleando las formulaciones planteadas en las tablas 1.9 y 1.10, los resultados se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Datos obtenidos de la geometría del husillo

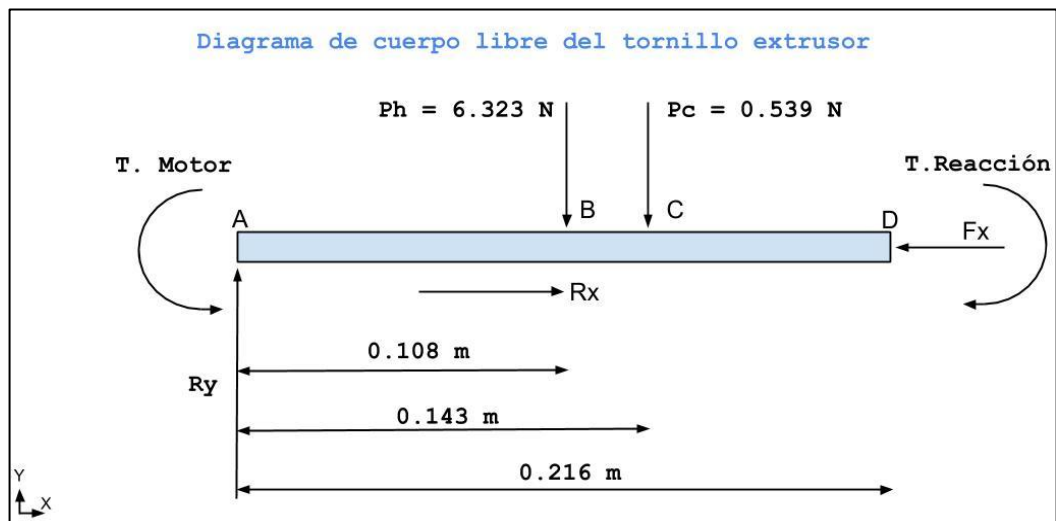
| Husillo | | |
|----------------------------|------------------------|-------|
| Volumen husillo | 8.379×10^{-5} | m^3 |
| Masa husillo | 0.645 | Kg |
| Peso husillo (Ph) | 6.323 | N |
| Plástico Fundido | | |
| Volumen Plástico fundido | 5.242×10^{-5} | m^3 |
| Masa Plástico fundido | 0.055 | Kg |
| Peso Plástico Fundido (Pc) | 0.539 | N |

Elaborado por: Freddy Gualoto

2.13 Análisis de fuerzas presentes en el tornillo extrusor.

Las fuerzas y reacciones presentes en el husillo se muestran en la figura 2.1.

Figura 2.1. Diagrama de cuerpo libre del tornillo extrusor



Elaborado por: Freddy Gualoto

2.14 Cálculo de la fuerza (Fx) o fuerza de compresión.

2.14.1 Calculo del área transversal del husillo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.2 se obtendrá.

$$A_u = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (22.2)^2$$

$$A_u = 387.075 \text{ mm}^2$$

$$A_u = 3,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Al multiplicar el área transversal del husillo por la variación de presión se obtendrá.

$$F_x = 1869560.274 (3,8 \times 10^{-4})$$

$$F_x = 725.3 \text{ N}$$

2.15 Cálculo de reacciones en X y Y.

Se realizará una sumatoria de fuerzas en el eje X y Y para calcular las reacciones.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_x - F_x = 0$$

$$R_x = 725.3 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_y - P_h - P_c = 0$$

$$R_y - 6.323 - 0.539 = 0$$

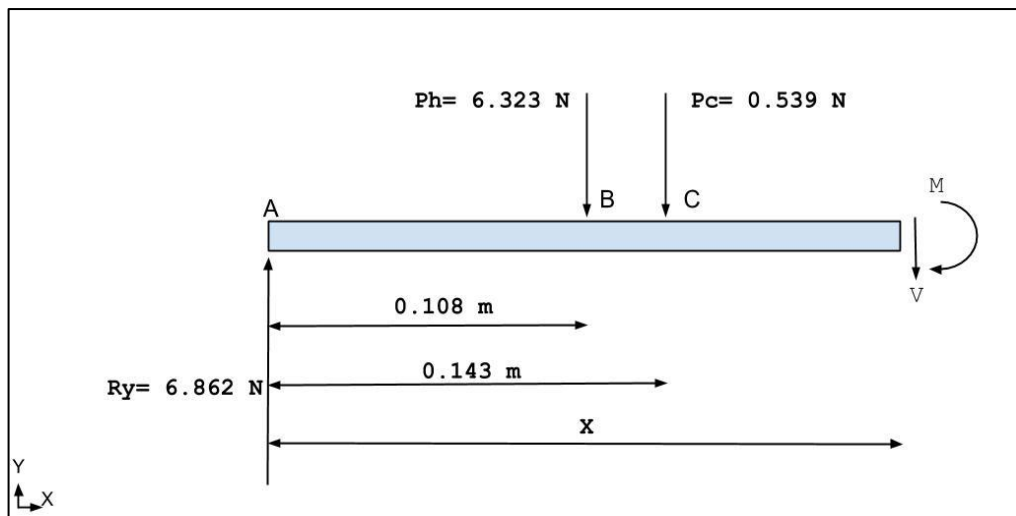
$$R_y = 6.862 \text{ N}$$

2.16 Cálculo de momentos flexionantes empleando funciones de singularidad.

Para calcular los momentos flexionantes se empleará las ecuaciones que definen el comportamiento de la viga planteadas en la tabla 1.11, así como las funciones de singularidad planteadas en la tabla 1.12.

Para esto se empleará el tramo de la viga en el que están presentes todas las fuerzas ejercidas tal y como se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.2. Diagrama de cuerpo libre del tornillo extrusor (cargas y reacciones)



Elaborado por: Freddy Gualoto

Función de Carga.

$$q = R_y \langle x - 0 \rangle^{-1} - P_h * \langle x - 0.108 \rangle^{-1} - P_c \langle x - 0.143 \rangle^{-1}$$

Función de Esfuerzo cortante.

$$V = R_y \langle x - 0 \rangle^0 - P_h * \langle x - 0.108 \rangle^0 - P_c \langle x - 0.143 \rangle^0 + C1$$

Función de Momento flexionante.

$$M = Ry(x - 0)^1 - Ph * (x - 0.108)^1 - Pc(x - 0.143)^1 + C1x + C2$$

C1 y C2 tienen un valor de cero ya que todas las reacciones y momentos existentes en la viga están presentes en la función de carga.

El momento máximo se da donde el esfuerzo cortante es cero, al ser una viga en voladizo este punto se encuentra en su extremo libre, es decir donde $x = 0.216 \text{ m}$.

$$M_{max} = Ry(x - 0)^1 - Ph (x - 0.108)^1 - Pc(x - 0.143)^1$$

$$M_{max} = 6.862 (0.216 - 0)^1 - 6.323 (0.216 - 0.108)^1 - 0.539(0.216 - 0.143)^1$$

$$M_{max} = 1.482 - 0.682 - 0.0393$$

$$M_{max} = 0.760 \text{ N.m}$$

Momento máximo se produce donde el esfuerzo cortante tiene un valor de cero.

Por lo tanto el esfuerzo máximo se da en el tramo $0.143 \text{ m} < X < 0.216\text{m}$ y tiene un valor de 0.760 N.m .

2.17 Diseño estático del tornillo extrusor.

Para este cálculo se empleará el momento máximo y torque máximo obtenidos anteriormente.

$$M_{max} = 0.760 \text{ N.m}$$

$$T_x = 4.6 \text{ N.m}$$

2.18 Diseño del husillo por esfuerzos.

2.18.1 Cálculo del esfuerzo flector.

El esfuerzo flector máximo se divide en esfuerzo debido al momento flector y a la fuerza de compresión, el esfuerzo resultante será la sumatoria de los dos.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.25 se obtendrá.

$$\sigma_{max} = -\frac{32(0.76)}{\pi (0.02)^3} - \frac{4(725.3)}{\pi (0.02)^2}$$

$$\sigma_{max} = -2574721.443 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = -2.574 \text{ MPa}$$

2.18.2 Cálculo del esfuerzo cortante por torsión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.26 se obtendrá.

$$\tau_{max} = \frac{16(4.6)}{\pi (0.0222)^3}$$

$$\tau_{max} = 2141921.337 \text{ Pa}$$

$$\tau_{max} = 2,14 \text{ MPa}$$

2.18.3 Cálculo del esfuerzo cortante por flexión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.28 se obtendrá.

$$\tau_{max} = \frac{4(8.103)}{3(3.8 \times 10^{-4})}$$

$$\tau_{max} = 27849.099 \text{ Pa}$$

$$\tau_{max} = 0.0278 \text{ MPa}$$

Por lo tanto para el caso de flexión y torsión combinados el esfuerzo cortante total se obtendrá con la ecuación 1.29.

$$\tau_{total} = 2141921.337 + 27849.099$$

$$\tau_{total} = 2169770.437 \text{ Pa}$$

$$\tau_{total} = 2.17 \text{ MPa}$$

2.18.4 Cálculo del esfuerzo equivalente (Von Misses)

Al tratarse de esfuerzos combinados (torsión y flexión) se empleará la ecuación 1.30.

$$\sigma_e = \sqrt{(-2.574)^2 + 3(2.17)^2}$$

$$\sigma_e = 4.6 \text{ MPa}$$

El material seleccionado para construir el husillo será AISI 1045 se empleará su esfuerzo de fluencia para calcular el factor de seguridad.

2.19 Cálculo del factor de seguridad estático del husillo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.31 se obtendrá.

$$\eta_s = \frac{310}{4.444}$$

$$\eta_s = 67$$

2.20 Diseño del husillo por deflexiones.

2.20.1 Cálculo de la deflexión en una viga empleando funciones de singularidad.

Al emplear la ecuación 1.34 y reemplazar los valores correspondientes se obtendrá la función de singularidad que representa el momento flexionante del husillo.

$$EI \frac{d^2y}{dx} = Ry \langle x - 0 \rangle^1 - Ph \langle x - 0.108 \rangle^1 - Pc \langle x - 0.143 \rangle^1$$

Integrando esta ecuación se obtendrá el conjunto de ecuaciones características del husillo.

$$EI \frac{d^2y}{dx} = Ry \langle x - 0 \rangle^1 - Ph \langle x - 0.108 \rangle^1 - Pc \langle x - 0.143 \rangle^1$$

$$EI \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{Ry}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{Ph}{2} \langle x - 0.108 \rangle^2 - \frac{Pc}{2} \langle x - 0.143 \rangle^2 + C1$$

$$EI y(x) = \frac{Ry}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{Ph}{6} \langle x - 0.108 \rangle^3 - \frac{Pc}{6} \langle x - 0.143 \rangle^3 + C1x + C2$$

Condiciones de borde para una viga en voladizo.

$$x = 0 ; y = 0$$

$$x = 0 ; y' = 0$$

Al reemplazar las condiciones de borde en las ecuaciones para obtener las constantes.

Al despejar la constante C1 de la ecuación de pendiente se obtendrá.

$$EI y' = \frac{6.862}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{6.323}{2} \langle x - 0.108 \rangle^2 - \frac{0.539}{2} \langle x - 0.143 \rangle^2 + C1$$

$$EI (0) = \frac{6.862}{2} (0 - 0)^2 - \frac{6.323}{2} (0 - 0.108)^2 - \frac{0.539}{2} (0 - 0.143)^2 + C1$$

$$0 = 0 - \frac{6.323}{2} (0 - 0.108)^2 - \frac{0.539}{2} (0 - 0.143)^2 + C1$$

$$C1 = 0.0368 + 0.00511$$

$$C1 = 0.0423 \text{ N.m}^2$$

Al reemplazar la constante C1 en la ecuación de deflexión se obtendrá.

$$EI y(x) = \frac{6.862}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{6.323}{6} \langle x - 0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle x - 0.143 \rangle^3 + (0.0423)x + C2$$

$$EI y(0) = \frac{6.862}{6} \langle 0 - 0 \rangle^3 - \frac{6.323}{6} \langle 0 - 0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle 0 - 0.143 \rangle^3 + (0.0423)0 + C2$$

$$0 = 0 - \frac{6.323}{6} \langle -0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle -0.143 \rangle^3 + 0 + C2$$

Al despejar la constante C2 se obtendrá.

$$-C2 = -\frac{6.323}{6} \langle -0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle -0.143 \rangle^3$$

$$C2 = -1.327 \times 10^{-3} - 2.6 \times 10^{-4}$$

$$C2 = -1.587 \times 10^{-3} \text{ N.m}^3$$

Al reemplazar la constante C1 y C2 en la ecuación de deflexión se obtendrá.

$$EI y(x) = \frac{6.862}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{6.323}{6} \langle x - 0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle x - 0.143 \rangle^3 + (0.0423)x - 1.587 \times 10^{-3}$$

Al ser una viga en voladizo la deflexión máxima se da en el extremo libre, es decir cuando $x = 0.216m$.

$$EI y(x) = \frac{6.862}{6} \langle 0.216 - 0 \rangle^3 - \frac{6.323}{6} \langle 0.216 - 0.108 \rangle^3 - \frac{0.539}{6} \langle 0.216 - 0.143 \rangle^3 + (0.0423)(0.216) - 1.587 \times 10^{-3}$$

$$EI y(x) = 0.0115 - 1.32 \times 10^{-3} - 3.5 \times 10^{-5} + 9.1 \times 10^{-3} - 1.587 \times 10^{-3}$$

$$EI y(x) = 0.0176 N.m^3$$

El material a emplear es acero AISI 1045 (Tabla 1.4).

Al reemplazar el valor del módulo de elasticidad y la inercia I se obtendrá.

$$y(x) = \frac{1}{200 \times 10^9 (1.570 \times 10^{-8})} (0.0176)$$

$$y(x) = 5.6 \times 10^{-6} m$$

2.21 Criterio de diseño.

Para el cálculo de la deflexión permisible para maquinaria se empleará la ecuación 1.42.

$$[y] = \frac{0.216}{1000}$$

$$[y] = 2.16 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$y \leq [y]$$

$$5.6 \times 10^{-6} \text{ m} \leq 2.16 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Por lo tanto el husillo cumple con el criterio de diseño, evitando así una deformación permanente en el husillo.

2.22 Diseño del husillo por fatiga.

Primero se obtendrá en las tablas del anexo C los factores correspondientes a la ecuación de Marín.

S_e'' = Limite de resistencia a la fatiga en una viga rotatoria.

$$S_e'' = 0.5 \cdot 368 \text{ MPa}$$

$$S_e'' = 184 \text{ MPa}$$

K_a = Factor de modificación de la condición superficial.

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

Proceso: Maquinado en frío.

$$a = 4.51 \text{ MPa}$$

$$b = -0.265$$

$$K_a = 4.51 (368)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.84$$

Factor de modificación del tamaño dependiente del diámetro.

$$K_b = \left(\frac{20}{7.62} \right)^{-0.1133}$$

$$K_b = 0.896$$

Factor de modificación de carga para el caso de torsión y cortante.

$$K_c = 0.577$$

Factor de modificación de temperatura a $T = 350 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$K_d = 0.943$$

Factor de confiabilidad, con una confiabilidad del 99.9 %.

$$K_e = 0.753$$

Factor de modificación de esfuerzos varios.

$$K_f = 0.65$$

Al obtener los parámetros pertenecientes a la ecuación de Mari, se reemplazará en la ecuación 1.44.

$$S_e = (184 \text{ MPa})(0.84)(0.896)(0.577)(0.943)(0.753)(0.65)$$

$$S_e = 36.8 \text{ MPa}$$

2.23 Cálculo del factor de seguridad dinámico en el husillo.

El material a emplear para la construcción del husillo será el acero AISI 1045 (Tabla 1.4).

$$\sigma_y = 310 \text{ MPa}$$

Al reemplazar los valores obtenidos en la ecuación 1.44 se obtendrá.

$$\eta_d = \frac{310}{36.8}$$

$$\eta_d = 10$$

Como el factor de seguridad está en el rango de 1 a 10 se concluirá que el diseño está correcto.

2.24 Diseño del barril o camisa.

Para el diseño del barril se partirá del cálculo del volumen al emplear la ecuación 1.47, para el cálculo del peso y masa se empleará las ecuaciones de la tabla 1.9. Un resumen de resultados se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros geométricos del cilindro o barril

| Magnitud | Valor | Unidades |
|----------------------------|----------------------|----------|
| Volumen | 1.2×10^{-4} | m^3 |
| Masa | 0.99 | Kg |
| Peso | 9.7 | N |
| Área de superficie externa | 0.0183 | m^2 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

2.24.1 Cálculo del espesor de la pared del cilindro.

Para el diseño y gracias a los cálculos preliminares se conoce que el cilindro va a estar sometido a una presión interna máxima $P_i = 3.7MPa$.

Se debe considerar que el radio interior del cilindro es el resultado de la suma del radio del husillo y el huelgo radial.

Para determinar la holgura se empleará la ecuación 1.4.

$$\delta = (0.002)(0.002)$$

$$\delta = 4 \times 10^{-5} m$$

El radio interior del cilindro será el resultado de la suma del diámetro del husillo más la holgura, tal como se presenta en la siguiente ecuación.

$$r_i = 0.0111 + 4 \times 10^{-5}$$

$$r_i = 0.01114 m$$

El material seleccionado para la construcción de la camisa o barril será acero AISI 1018, esfuerzo máximo = $565 MPa$.

Al reemplazar los valores obtenidos en la ecuación 1.17 se obtendrá.

$$\epsilon = 0.0111 \left[1 - \sqrt{\frac{2(3.7)}{565 - 2(3.7)}} \right]$$

$$\epsilon = 0.014 m$$

El resultado es un espesor de 0.014 m, sin embargo en la máquina extrusora se empleará un espesor de 8mm, la razón es que en el cálculo del espesor no se ha considerado las pérdidas por transferencia de calor con el ambiente, al existir estas pérdidas lo ideal es que la distancia que atraviesa el calor, es decir el grosor de la pared del cilindro, sea lo más corta posible para conseguir que el calor llegue al plástico lo más pronto posible antes de disiparse y perderse por convección.

2.25 Diseño y selección de calentadores.

2.25.1 Cálculo del número de Biot.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.46 se obtendrá.

$$B_i = \frac{36 (8.8 \times 10^{-3})}{51.9}$$

$$B_i = 0.006$$

Condición.

$$0.006 < 0.1$$

Por lo tanto al cumplirse la condición se puede considerar en los cálculos posteriores que tanto el rozamiento en las paredes así como la variación de temperatura dentro del cilindro son valores despreciables.

2.25.2 Cálculo del tiempo de residencia de la mezcla en secciones tubulares.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.45 se obtendrá.

$$\mathcal{T} = \frac{\pi \cdot 0.146 \cdot (0.0111)^2}{7.5 \times 10^{-6}}$$

$$\mathcal{T} = 7.5 \text{ s}$$

2.25.3 Cálculo del flujo de calor presente en la extrusora.

Material del cilindro acero AISI 1045.

Temperaturas en el interior y exterior del cilindro.

$$T_{int} = 673.15 \text{ } ^\circ K$$

$$T_{amb} = 298.15 \text{ } ^\circ K$$

Variación de temperaturas.

$$\theta = 673.15 \text{ } ^\circ K - 298.15 \text{ } ^\circ K$$

$$\theta = 375 \text{ } ^\circ K$$

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.48 se obtendrá.

$$Q_r = (7870) (1.2 \times 10^{-4})(1800) (375) \left[1 - \exp\left(-\frac{(7.5) (36) (0.0183)}{(7870)(1.2 \times 10^{-4})(1800)}\right) \right]$$

$$Q_r = 1848.318 \text{ } J$$

2.26 Cálculo de la potencia de las resistencias eléctricas.

2.26.1 Cálculo de la potencia teórica.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.50 se obtendrá.

$$P_t = \frac{1848.318}{7.5}$$

$$P_t = 247.342 \text{ } W$$

2.26.2 Cálculo de la potencia real.

A la potencia teórica se le multiplicará por el factor de sobre dimensionamiento y envejecimiento.

$$P_{RTOTAL} = P_R \cdot 1.2 \cdot 1.4$$

$$P_{RTOTAL} = 247.342 \cdot 1.2 \cdot 1.4$$

$$P_{RTOTAL} = 415.535 \text{ W}$$

2.27 Selección de la resistencia para el calentamiento de la extrusora.

La resistencia se realizará bajo pedido con los valores obtenidos anteriormente, un resumen de los parámetros para su construcción se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Resumen de datos para la construcción de la resistencia eléctrica

| Diámetro interior (m) | Longitud (mm) | Potencia (W) | Voltaje (V) |
|------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 0.04 | 0.05 | 500 | 110 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

2.28 Cálculo del soporte de la extrusora.

2.28.1 Cálculo de la tensión en el apoyo.

Primero se calculará el peso total ejercido sobre el apoyo, para esto se empleará los valores obtenidos en la tabla 2.1 y 2.2

$$R_A = \text{Peso}_{\text{husillo}} + \text{Peso}_{\text{cilindro}} + \text{Peso}_{\text{plástico}} + \text{Peso}_{\text{boquilla}}$$

$$R_A = 6.323 + 9.764 + 0.539 + 3.8$$

$$R_A = 20.426 \text{ N}$$

Para determinar la tensión en el apoyo se empleará la ecuación 1.50.

$$\sigma_A = \frac{20.426}{0.635}$$

$$\sigma_A = 32.1667 \text{ Pa}$$

$$\sigma_A = 32.1 \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

2.28.2 Cálculo del esfuerzo admisible en superficies sometidas a aplastamiento.

Para determinar el esfuerzo admisible en el apoyo (superficies sometidas a aplastamiento) se empleará la ecuación 1.51.

$$[\sigma_p] = 0.90 (55 \text{ MPa})$$

$$[\sigma_p] = 49.5 \text{ MPa}$$

Criterio de diseño.

$$\sigma_A < [\sigma_p]$$

$$32.1 \times 10^{-6} \text{ MPa} < 49.5 \text{ MPa}$$

Por lo tanto se cumple con el criterio de diseño y el soporte no sufrirá una deformación permanente.

2.29 Cálculo de las juntas atornilladas sometidas a corte.

2.29.1 Cálculo de la fuerza a la que está sometido un perno.

El peso total al que estarán sometidos los pernos será la sumatoria de los pesos de los diferentes elementos, este dato es el mismo que se obtuvo en el punto 2.28.1.

$$F_{perno} = 20.426 \text{ N}$$

2.29.2 Cálculo del esfuerzo admisible en pernos.

El material a emplear para el soporte será madera ($S_y = 70 \text{ MPa}$).

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.52 se obtendrá.

$$[\sigma_{perno}] = 0.90 (70)$$

$$[\sigma_{perno}] = 63 \text{ MPa}$$

2.29.3 Cálculo del área transversal del perno.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.53 se obtendrá.

$$A = \frac{20.426}{63 \times 10^6}$$

$$A = 3.24 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$\pi \cdot r^2 = 3.24 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$r = 3.2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$d = 6.4 \times 10^{-4} \text{ m}$$

En el soporte se empleará pernos de $6 \times 10^{-3} m$, al comparar con el diámetro mínimo necesario obtenido anteriormente se concluye que el diámetro de perno seleccionado es el correcto.

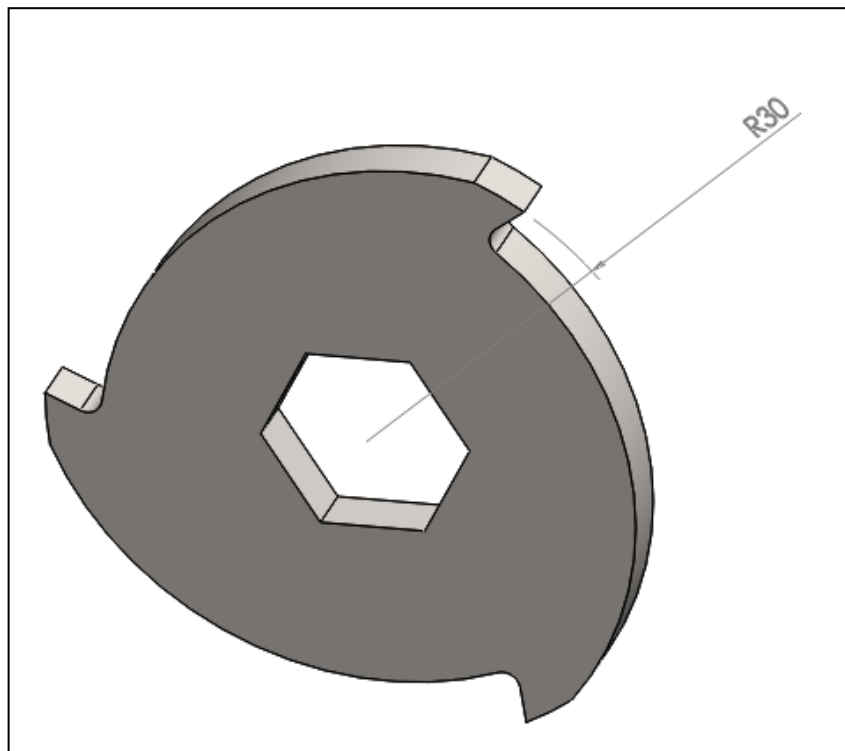
2.30 Diseño de la trituradora de plástico ABS.

Para realizar el cálculo de esfuerzos y deformaciones y basado en la distribución simétrica de los diferentes elementos que conforman la trituradora se procederá a emplear las fórmulas directas del Manual de Gieck (Gieck, 2003, p.139).

2.31 Cuchillas de corte.

Para triturar el plástico ABS se empleará una cuchilla de disco de tres dientes cortantes como la que se muestra en la figura 2.3.

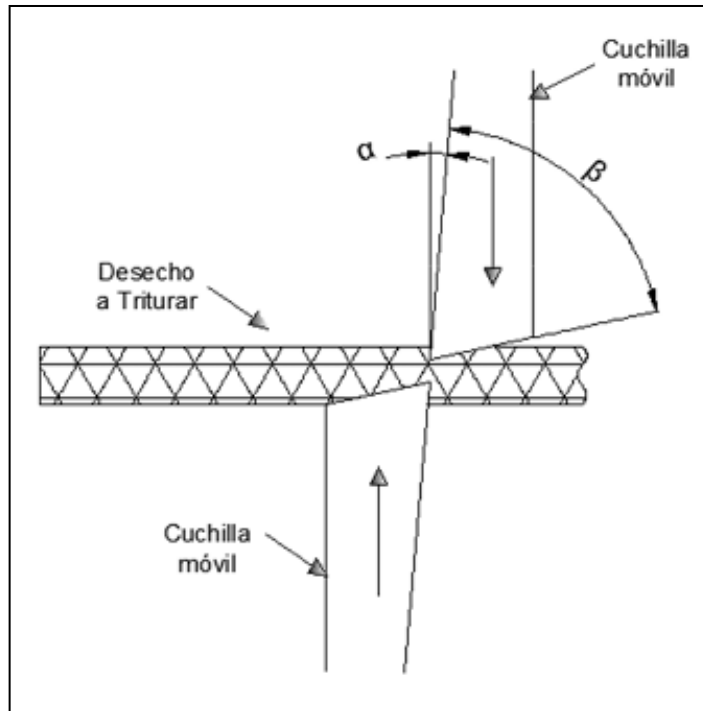
Figura 2.3. Vista isométrica de cuchilla circular con tres filos cortantes



Elaborado por: Freddy Gualoto

Las cuchillas de disco actúan dependientes una de otras, sus ángulos característicos y disposición de las mismas provocan un efecto de cizalla al momento de girar sobre su eje. El efecto de cizalla y ángulos característicos se muestran en la figura 2.4.

Figura 2.4. Vista frontal de cuchillas móviles en el proceso de corte



Fuente: The new zealand digital library, 2015, p.15

El ángulo de corte β está entre 70° a 80°

El ángulo de ataque α está entre 4° a 6°

El ángulo de abertura γ está entre 8° a 10°

2.32 Energía que satisface la fractura por impacto.

Valor de la energía absorbida por unidad de área para el plástico ABS.

$$G_c = 15000 \frac{J}{m^2}$$

2.33 Cálculo de la fuerza necesaria para romper una pared de plástico ABS.

Al reemplazar G_c y ℓ en la ecuación 1.57 se obtendrá.

$$F_c = 15000 (0.005)$$

$$F_c = 75 \text{ N}$$

Debido a la variabilidad en la forma de los prototipos o piezas plásticas a ser trituradas se considerará un factor de servicio de ($F_{ser} = 1.2$). Por lo tanto la fuerza real será.

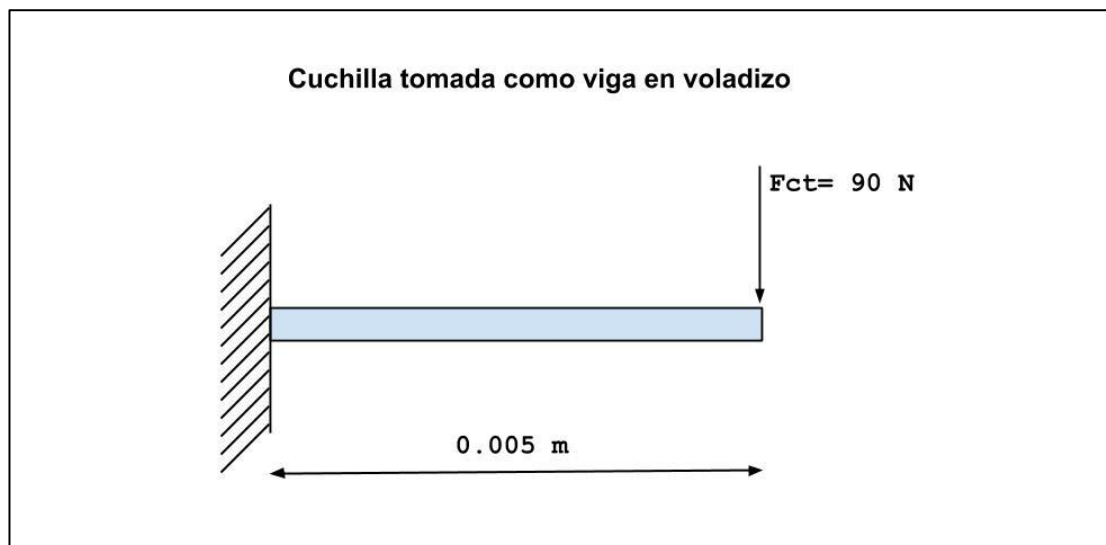
$$F_{ct} = 75 (1.2)$$

$$F_{ct} = 90 \text{ N}$$

2.34 Diseño de las cuchillas de corte.

Para el diseño de las cuchillas se analizará uno de sus filos cortantes como una viga en voladizo empotrada en un extremo y con una carga puntual en otro, tal como se muestra en la figura 2.5.

Figura 2.5. Representación gráfica del diente de corte en una cuchilla circular



Elaborado por: Freddy Gualoto

2.35 Cálculo de las reacciones presentes en la cuchilla.

Para calcular la reacción en el empotramiento se realizará la sumatoria de las fuerzas en el eje y.

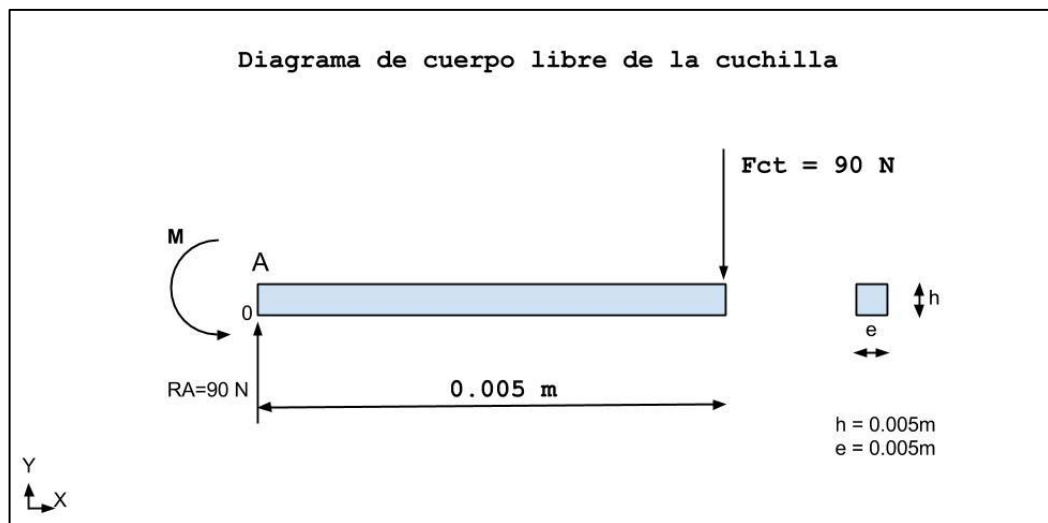
$$R_A - 90 = 0$$

$$R_A = 90 \text{ N}$$

2.36 Diseño de la cuchilla por esfuerzos.

Al realizar el diseño por esfuerzos se tendrá en cuenta las dimensiones, reacciones y fuerzas que se encuentran presentes en la viga, tal como se muestra en la figura 2.6.

Figura 2.6. Diagrama de cuerpo libre del diente en la cuchilla circular



Elaborado por: Freddy Gualoto

2.36.1 Cálculo del momento flexionante máximo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.67 se obtendrá.

$$M_{max} = 90 (0.005)$$

$$M_{max} = 0.45 \text{ N.m}$$

2.36.2 Cálculo del momento de inercia para una viga con sección rectangular.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.69 se obtendrá.

$$I_R = \frac{0.005 \cdot (0.005)^3}{12}$$

$$I_R = 5.2 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

2.36.3 Cálculo de esfuerzo máximo de flexión en una viga con sección rectangular.

Una vez conocidos todos los parámetros se procederá a reemplazarlos en la ecuación 1.70.

$$\sigma_{max} = \frac{0.45 \cdot 0.0025}{5.2 \times 10^{-11}}$$

$$\sigma_{max} = 5400000 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = 5.4 \text{ MPa}$$

Para calcular el esfuerzo permisible de miembros en flexión (vigas) se empleará la ecuación 1.71.

Se reemplazará los datos del Acero K - 100 ; $S_y = 1385 \text{ MPa}$.

$$[\sigma_f] = 0.66 (1385 \text{ MPa})$$

$$[\sigma_f] = 941 \text{ MPa}$$

Criterio de diseño.

$$\sigma_{max} \leq [\sigma_f]$$

$$5.4 \text{ MPa} \leq 941 \text{ MPa}$$

Por lo tanto se concluirá que al ser el esfuerzo máximo menor que el esfuerzo admisible del material el diseño está correcto.

2.37 Diseño de la cuchilla por deformaciones.

2.37.1 Cálculo de la inercia en el punto crítico “empotramiento”.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.69 se obtendrá.

$$I_R = \frac{0.005 \cdot (0.005)^3}{12}$$

$$I_R = 5.2 \times 10^{-11} \text{ m}^4$$

2.37.2 Cálculo de la deflexión máxima en la cuchilla.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.68 se obtendrá.

$$y_{max} = \frac{90 (0.005)^3}{3 (198.24 \times 10^9)(5.2 \times 10^{-11})}$$

$$y_{max} = 4.5 \times 10^{-8} \text{ m}$$

2.37.3 Deflexión permisible recomendada para maquinaria.

Empleando la ecuación 1.42 se obtendrá.

$$y_{max} \leq \frac{0.005}{1000}$$

$$4.5 \times 10^{-8} \text{ m} \leq 5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Por lo tanto se concluirá que la deflexión no sobrepasará el límite elástico y por ende no causará una deformación permanente en la viga.

2.38 Cálculo de los parámetros del árbol de transmisión.

Se procederá a calcular el volumen de los elementos que conforman la trituradora empleando las ecuaciones planteadas en la tabla 1.14; luego se calculará la masa y peso empleando las ecuaciones presentes en la tabla 1.9. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 2.4.

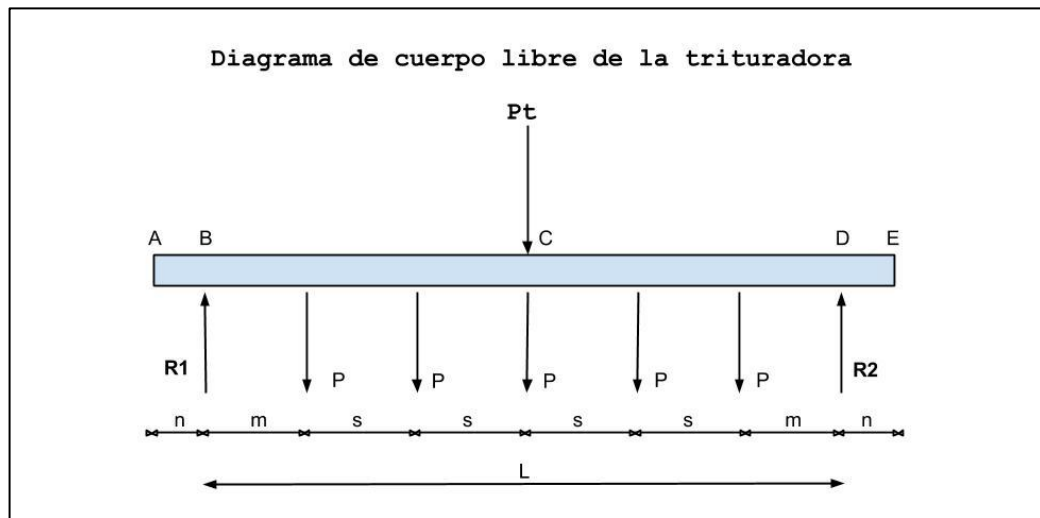
Tabla 2.4. Resumen de parámetros correspondientes a los diferentes tramos del árbol de transmisión.

| Tramo | Cantidad | Volumen (m^3) | Masa (Kg) | Peso Total (N) | Referencia de fórmula empleada |
|---|----------|------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|
| Sección A Tramo roscado | 1 | 2.2×10^{-6} | 0.01 | 0.17 | (Ec.1.60) |
| Sección B Tramo eje sujeción | 1 | 3.95×10^{-6} | 0.0311 | 0.3 | (Ec.1.61) |
| Sección C Tramo rodamiento | 1 | 1.9×10^{-6} | 0.015 | 0.15 | (Ec.1.62) |
| Sección D: Tramo hexagonal soporte cuchillas | 1 | 1.267×10^{-5} | 0.0998 | 0.978 | (Ec.1.63) |
| Sección E: Tramo rodamiento | 1 | 1.9×10^{-6} | 0.015 | 0.15 | (Ec.1.64) |
| Volúmenes espaciadores | 10 | 1.445×10^{-6} | 0.011 | 1.11 | (Ec.1.65) |
| Volumen Cuchillas | 10 | 1.413×10^{-5} | 0.1088 | 10.66 | (Ec.1.66) |
| <i>Peso total (Pt) = 13.5 N</i> | | | | | |

Elaborado por: Freddy Gualoto

La trituradora tendrá un eje principal (árbol de transmisión) sobre el cual estarán montadas las cuchillas, estas ejercen sobre el eje una fuerza debido a su propio peso y a la fuerza de corte necesaria para romper el material, estos valores fueron obtenidos en la tabla 2,4 y el punto 2.33. Una representación gráfica de estas fuerzas se muestra en la figura 2.7.

Figura 2.7. Diagrama de cuerpo libre de la trituradora



Elaborado por: Freddy Gualoto

Un resumen de resultados geométricos y físicos correspondientes a la figura 2.7, se muestra en la tabla 2.5.

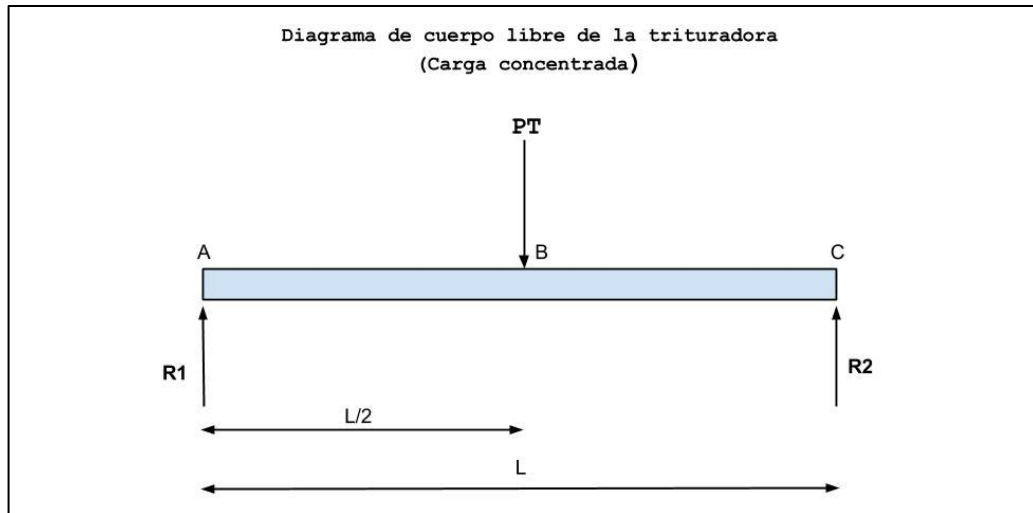
Tabla 2.5. Resumen de dimensiones y cargas presentes en el eje porta cuchillas

| Nomenclatura | Magnitud | Unidad |
|--------------|----------|--------|
| P_t | 13.5 | N |
| P | 90 | N |
| m | 0.012.5 | m |
| n | 0.005 | m |
| s | 0.01 | m |
| L | 0.073 | m |

Elaborado por: Freddy Gualoto

Con el fin de simplificar el cálculo y gracias a la simetría de cada uno de los elementos que conforman la trituradora, se realizará una sumatoria de todas las fuerzas presentes para convertirla en una carga puntual la cual estará ubicada en el centro de la viga, su representación se muestra en la figura 2.8.

Figura 2.8. Diagrama de cuerpo libre de la trituradora con una única carga concentrada



Elaborado por: Freddy Gualoto

2.38.1 Cálculo de la carga concentrada.

Para conseguir la carga concentrada se sumará la carga provocada por el peso de todos los elementos y la fuerza aplicada por cinco cuchillas de corte.

$$P_T = P_t + 5P$$

$$P_T = 13.5 + 5(90)$$

$$P_T = 463.5 \text{ N}$$

2.38.2 Cálculo de reacciones.

Al ser una carga aplicada en el centro de la viga cada reacción presente en los extremos tendrán un valor de:

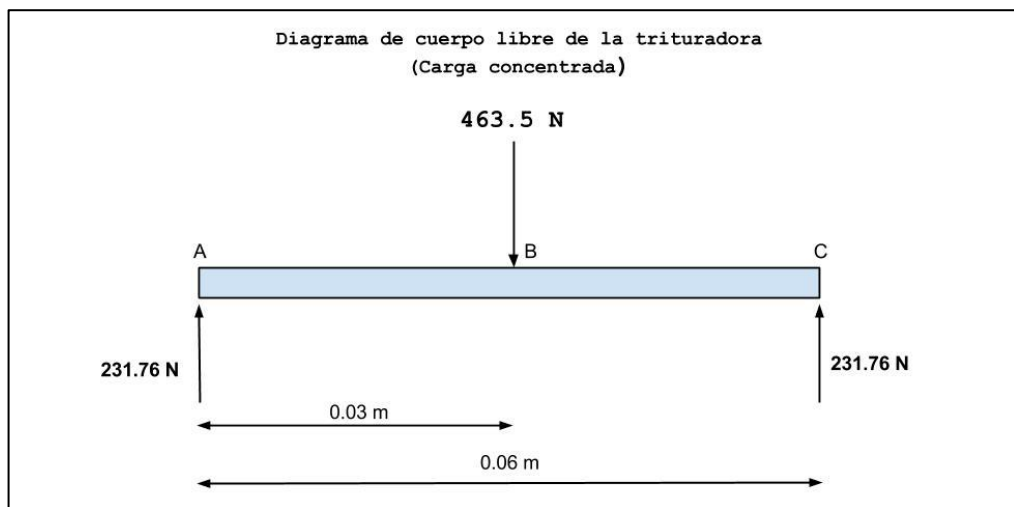
$$R = PT/2$$

$$R1 = 231.76 \text{ N}$$

$$R2 = 231.76 \text{ N}$$

2.39 Diseño por esfuerzos del árbol de transmisión.

Figura 2.9. Diagrama de cuerpo libre con cargas y reacciones presentes en el árbol de transmisión



Elaborado por: Freddy Gualoto

2.39.1 Cálculo del momento flexionante máximo.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.74 se obtendrá.

$$M_{MAX} = \frac{1}{4} (463.5) (0.06)$$

$$M_{MAX} = 6.95 \text{ N.m}$$

2.39.2 Cálculo del momento polar de inercia en vigas con sección hexagonal.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.76 se obtendrá.

$$I = 0.5417 (9.81 \times 10^{-3})^4$$

$$I = 5 \times 10^{-9} \text{m}^4$$

2.39.3 Cálculo del esfuerzo máximo de flexión en el árbol de transmisión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.77 se obtendrá.

$$\sigma_{max} = \frac{6.95 (8.5 \times 10^{-3})}{5 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma_{max} = 11.815 \text{ MPa}$$

2.39.4 Cálculo del momento torsor en el árbol de transmisión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.78 se obtendrá

$$T = 90 (0.03)$$

$$T = 2.7 \text{ N.m}$$

Este es el momento torsor provocado por una cuchilla, al tener cinco cuchillas distribuidas uniformemente en el eje porta cuchillas, el momento torsor resultante será la sumatoria de todas ellas.

$$T_T = 2.7 \text{ N.m (5)}$$

$$T_T = 13.5 \text{ N.m}$$

2.39.5 Cálculo del esfuerzo cortante por torsión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.26 se obtendrá.

$$\tau_t = \frac{13.5 \cdot 0.0085}{5 \times 10^{-9}}$$

$$\tau_t = 22.95 \text{ MPa}$$

2.39.6 Cálculo del esfuerzo cortante por flexión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.28 se obtendrá.

$$\tau_{max} = \frac{4(231.76)}{3(0.866 \cdot 0.017^2)}$$

$$\tau_{max} = 1.2 \text{ MPa}$$

2.39.7 Cálculo del esfuerzo cortante total.

Al emplear la ecuación 1.29 se obtendrá el esfuerzo equivalente

$$\tau_{total} = 22.95 + 1.2$$

$$\tau_{total} = 24.15 \text{ MPa}$$

2.40 Cálculo de esfuerzo equivalente en el punto crítico (Von Misses).

Al emplear la ecuación 1.30 se obtendrá el esfuerzo equivalente.

$$\sigma_e = \sqrt{(11.815)^2 + 3(24.15)^2}$$

$$\sigma_e = 43.46 \text{ MPa}$$

2.41 Cálculo del factor de seguridad estático en el árbol de transmisión.

El material seleccionado para el eje será: Acero AISI 1045. $S_y = 310 \text{ MPa}$.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.31 se obtendrá.

$$\eta_s = \frac{310}{43.46}$$

$$\eta_s = 7$$

2.42 Cálculo de las revoluciones por minuto del motor.

Las revoluciones de una máquina trituradora de plástico según recomendaciones de fabricantes varían entre 20 y 40 *r.p.m* por lo que para la trituradora en estudio se empleará una velocidad promedio de 30 *r.p.m*.

2.43 Cálculo de la potencia del motor.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.79 se obtendrá.

$$P_m = 13.5 \text{ (3.14)}$$

$$P_m = 42 \text{ W}$$

Al multiplicar por el factor de servicio de 1.8 se obtendrá la potencia real del motor.

$$P_{rm} = 42 \text{ (1.8)}$$

$$P_{rm} = 76.34 \text{ W}$$

Al transformar a caballos de fuerza (HP) se obtendrá.

$$P_{rm} = 0.1 \text{ HP}$$

2.44 Diseño por deformaciones.

2.44.1 Cálculo de la deflexión máxima en el árbol de transmisión.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.75 se obtendrá.

$$y_{max} = \frac{463.53 \text{ N} (0.06)^3}{48 (200 \times 10^9)(5 \times 10^{-9})}$$

$$y_{max} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

2.44.2 Criterio de diseño.

Para concluir si el diseño cumple o no con la deflexión permisible para maquinaria se empleará la ecuación 1.42.

$$[y] = \frac{0.06}{1000}$$

$$[y] = 6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$y_{max} \leq [y]$$

$$2 \times 10^{-6} \text{ m} \leq 6 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Por lo tanto el eje porta cuchillas cumple con el criterio de diseño basado en deflexiones, evitando así una deformación permanente.

2.45 Diseño de engranajes.

2.45.1 Cálculo del engranaje de dientes rectos.

Al emplear las ecuaciones que se indican en la tabla 1.17 se obtendrá las dimensiones básicas de la rueda.

$$M = \frac{0.05}{18 + 2} = 0.0025 \text{ m}$$

$$D_p = 0.0025 (18)$$

$$D_p = 0.045 \text{ m}$$

$$h = 2.25 (0.0025)$$

$$h = 5.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Paso} = (0.0025)(\pi)$$

$$\text{Paso} = 7.8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$R_p = \frac{1}{2} (0.05 \text{ m})$$

$$R_p = 0.025 \text{ m}$$

$$F = 0.022 \text{ m}$$

2.45.2 Cálculo de la fuerza tangencial presente en el diente de la rueda.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.88 se obtendrá.

$$F_t = \frac{13.5}{0.025}$$

$$F_t = 540 \text{ N}$$

2.45.3 Cálculo del esfuerzo de flexión en los dientes de la rueda.

Factores requeridos para el cálculo, valores obtenidos del Anexo C.

J = Factor geométrico AGMA.

$$J = 0.24$$

K_V = Factor Dinámico.

$$K_V = 0.4$$

K_m = Factores de distribución de carga.

$$K_m = 1.6$$

K_a = Factor de carga no constante transmitida en el tiempo.

$$K_a = 1.5$$

K_s = Factor de tamaño.

$$K_s = 1$$

Al reemplazar estos factores en la ecuación 1.87 se obtendrá.

$$\sigma_R = \frac{540 \cdot 1.5 \cdot 1.6 \cdot 1}{0.022 \cdot 0.0025 \cdot 0.24 \cdot 0.4}$$

$$\sigma_R = 245 \text{ MPa}$$

2.45.4 Cálculo del factor de seguridad de la rueda dentada.

Al reemplazar los parámetros conocidos en la ecuación 1.89 se obtendrá.

$$\eta = \frac{310}{245.45}$$

$$\eta = 1.2$$

2.46 Cálculo de los rodamientos.

2.46.1 Cálculo de la carga radial ejercida en el rodamiento.

En la trituradora se empleará un rodamiento en cada extremo del eje porta cuchillas, por lo tanto la carga radial en cada rodamiento será el peso total del eje porta cuchillas y sus elementos dividido entre dos, en otras palabras será el valor de la reacción en cada apoyo.

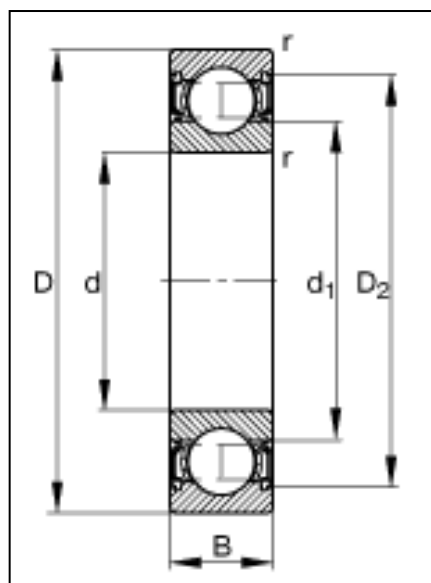
$$F_{ar} = R_A = R_B$$

$$F_{ar} = 231.7 \text{ N}$$

$$F_{ar} = 0.23 \text{ KN}$$

Basado en la carga aplicada el rodamiento seleccionado será el 6202-2RSR, en la figura 2.10 se muestra la nomenclatura empleada. Las medidas principales y cargas admisibles según DIN 625-1 se enlistan en la tabla 2.6.

Figura 2.10. Vista transversal de rodamiento rígido de bolas 6202-2RSR



Fuente: Schaeffler, 2015.

Tabla 2.6. Resumen de las dimensiones y capacidad de la carga radial de rodamiento 6202

| Dimensión | Magnitud | Unidad |
|---------------------------|-----------------|---------------|
| D | 0.035 | m |
| d | 0.015 | m |
| B | 0.011 | m |
| Capacidad de carga radial | 3.7 | KN |

Elaborado por: Freddy Gualoto

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE COSTOS

3.1 Costos de la trituradora de plástico ABS.

La tabla 3.1 se muestra el costo por hora de mano de obra utilizada para la construcción de la máquina trituradora de plástico ABS.

Tabla 3.1. Costo de mano de obra empleada en la construcción de la trituradora de plástico ABS

| Elemento | Máquina/Proceso | Cantidad | Valor Unitario USD | Subtotal USD | Total USD |
|------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|------------------|
| Cuchillas | Fresadora | 10 | 15,00 | 150,00 | 200,00 |
| | Rectificadora | 10 | 5,00 | 50,00 | |
| Eje Porta cuchillas | Fresadora | 2 | 25,00 | 50,00 | 50,00 |
| | Torno | 2 | 20,00 | 40,00 | |
| Placa espaciadora | Fresadora | 10 | 15,00 | 150,00 | 150,00 |
| | Rectificadora | 10 | 10,00 | 100,00 | |
| Buje espaciador | Torno | 10 | 7,00 | 70,00 | 40,00 |
| Placa soporte rodamiento | Fresadora | 2 | 30,00 | 60,00 | 60,00 |
| Placas laterales de sujeción | Cizalla | 2 | 5,00 | 10,00 | 20,00 |
| | Dobladora | 2 | 5,00 | 10,00 | |
| Rueda dentada | Torno | 2 | 20,00 | 40,00 | 100,00 |
| | Fresa | 2 | 30,00 | 60,00 | |
| Soporte de trituradora | Dobladora | 1 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Subtotal 1 | | | | | 680,00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

La tabla 3.2 muestra el costo de los materiales para la construcción de la trituradora de plástico ABS.

Tabla 3.2. Costo de materiales empleados en la construcción de la trituradora de plástico ABS

| Material de fabricación | Precio del material USD | Cantidad | Total USD |
|---|--------------------------------|-----------------|------------------|
| Cuchillas (eje Ø 75 mm, L=55mm, Acero K-100) | 100,00 | 1 | 100,00 |
| Eje porta cuchilla (eje hexagonal lado 13 mm, L= 150 mm, Acero 1045) | 40,00 | 1 | 40,00 |
| Placa espaciadora(placa plana espesor 7mm, largo=50mm,ancho=50mm, Acero 1045) | 50,00 | 2 | 100,00 |
| Buje espaciador (buje D=20mm,d=15mm, L=60mm, Acero 1045) | 30,00 | 1 | 30,00 |
| Placa soporte rodamiento (placa plana espesor 12mm,largo=140mm, ancho=250mm, Acero 1045) | 20,00 | 2 | 40,00 |
| Placas laterales de sujeción (lamina espesor 3mm, largo=120mm,ancho=150mm, tol) | 10,00 | 1 | 10,00 |
| Rueda dentada (eje Ø 40 mm, largo=100mm, Acero 1045) | 60,00 | 1 | 60,00 |
| Soporte de trituradora (lámina de tol, espesor 3mm, largo=120mm,ancho=150mm, Acero A 36) | 40,00 | 1 | 40,00 |
| Subtotal 2 | | | 420,00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

La tabla 3.3 muestra el costo de accesorios para la construcción de la trituradora de plástico ABS.

Tabla 3.3. Costo de accesorios empleados en el montaje de la trituradora de plástico ABS

| Nombre | Costo Unitario USD | Cantidad | Total USD |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Rodamiento Radial de bolas SKF - 6202 | 8,00 | 4 | 32,00 |
| Pernos Allen M5 x 12 | 0.25 | 24 | 6,00 |
| Prisionero M6 x 16 | 0.50 | 2 | 1,00 |
| Motor | 95,00 | 1 | 95,00 |
| Cables y conectores | 50,00 | 1 | 50,00 |
| Poleas | 10,00 | 2 | 20,00 |
| Subtotal 3 | | | 204,00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

El costo total de la máquina trituradora de plástico ABS es de USD 1304,00.

3.2 Costos de la extrusora de hilo plástico ABS.

La tabla 3.4 muestra el costo por hora de mano de obra utilizada para la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS.

Tabla 3.4. Costo de la mano de obra empleada en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS

| Elemento | Máquina/Proceso | Cantidad | Valor Unitario USD | Subtotal USD | Total USD |
|-------------------|------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|------------------|
| Husillo | Fresadora | 1 | 120 | 120, 00 | 150, 00 |
| | Torno | 1 | 30 | 30, 00 | |
| Cilindro o camisa | Torno | 1 | 50 | 50, 00 | 40, 00 |
| Boquilla | Torno | 1 | 40 | 40, 00 | 30, 00 |
| | Hilo de corte | 1 | 10 | 10, 00 | |
| Tolva-contenedor | Cortadora | 1 | 30 | 30, 00 | 30, 00 |
| Placa aislante | Torno | 1 | 20 | 20, 00 | 20, 00 |
| Soporte | Cortadora | 1 | 30 | 30, 00 | 30, 00 |
| Subtotal 1 | | | | | 270, 00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

La tabla 3.5 muestra el costo de los materiales para la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS.

Tabla 3.5. Costo de materiales empleados en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS

| Material de fabricación | Precio del material USD | Cantidad | Total USD |
|--|------------------------------------|-----------------|----------------------|
| Husillo (eje Ø 25 mm, L=250mm, Acero K-100) | 50, 00 | 1 | 20, 00 |
| Camisa (eje hueco Dext=50mm,dint=20mm, L= 130 mm, Acero 1045) | 30, 00 | 1 | 30, 00 |
| Boquilla (eje macizo D=50mm, L= 40 mm, Bronce) | 40 | 1 | 20, 00 |
| Tolva-contenedor (lámina plana espesor 12mm,largo= 100mm, ancho=100mm, Madera) | 30, 00 | 1 | 15, 00 |
| Placa Aislante(eje macizo D=70mm, L= 15mm, Fibra de vidrio) | 10, 00 | 1 | 5, 00 |
| Soporte (lámina plana espesor 12mm,largo= 1000mm, ancho=500mm, Madera) | 20, 00 | 1 | 15, 00 |
| Subtotal 2 | | | 105, 00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

La tabla 3.6 muestra el costo de accesorios para la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS.

Tabla 3.6. Costo de accesorios empleados en la construcción de la extrusora de hilo plástico ABS

| Nombre | Costo Unitario USD | Cantidad | Total USD |
|--|-------------------------------|-----------------|----------------------|
| Resistencia tipo abrazadera Pot= 500W | 40,00 | 1 | 40,00 |
| Termocupla Tipo J | 10,00 | 1 | 10,00 |
| Pernos M6 x 12 | 0.25 | 8 | 2,00 |
| Controlador de temperatura | 50,00 | 1 | 50,00 |
| Cables y conectores | 50,00 | 1 | 50,00 |
| Motor | 60,00 | 1 | 60,00 |
| Subtotal 3 | | | 212,00 |

Elaborado por: Freddy Gualoto

Costo total de la máquina extrusora de hilo plástico ABS es de USD 587,00.

3.3 El costo total de la máquina.

El costo total de la máquina trituradora y extrusora para la fabricación de hilo plástico empleado en impresoras 3D es de USD 1621,00.

3.4 Costo por servicios profesionales.

Para el costo de servicios profesionales se considerará un 30% del valor total de la máquina en este caso el valor sería USD 486.3.

3.5 Costo real de la máquina.

Sumando los costos de la máquina trituradora y extrusora así como los costos por servicios profesionales se tiene un total de USD 2107,3.

CONCLUSIONES

El reducido tamaño de las máquinas y el empleo de materiales no convencionales en su construcción permitieron reducir hasta un 30% del costo total de la máquina en comparación con máquinas existentes en el mercado.

El redimensionamiento de cuchillas y espaciadores en la máquina trituradora permitió obtener partículas con un volumen no mayor a 125 mm^3 , como resultado se consiguió trabajar sin problemas en el siguiente proceso que es la extrusión.

La disminución de medidas en la extrusora, ocasionó que se empleara parámetros únicos para este proyecto como la temperatura y velocidad de extrusión, esto debido a que los resultados obtenidos en el diseño previo, empleando las fórmulas planteadas por diversos autores, no satisfacían las necesidades puntuales de producción de este proyecto.

La limitada longitud del husillo y por ende el limitado tiempo de permanencia del plástico dentro del cilindro provocó variaciones de diámetro e irregularidades en la textura del hilo plástico, sin embargo estas irregularidades fueron corregidas al incrementar la temperatura 20°C y disminuir a un 50% la velocidad de giro del husillo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el volumen de la pieza a triturar no sobrepase los 125 mm^3 , esto con el fin de evitar posibles atascamientos o rebotes del material. En el caso de requerir triturar prototipos de mayor volumen se recomienda despedazarlos previamente empleando cualquier método.

Se recomienda que la lubricación de la trituradora y extrusora se realice 24 horas previas a su utilización, con esto se evitará que las piezas se manchen con el lubricante fresco.

Se recomienda un precalentamiento del cilindro o barril no menor a 20 minutos, así se conseguirá que la temperatura de extrusión esté presente en el barril antes que el husillo arrastre el material, fundiéndolo instantáneamente y evitando así posibles atascamientos.

Se recomienda emplear en el cilindro de la extrusora lana de vidrio, aislante recomendado para extrusoras, esto con el fin de evitar pérdidas de calor ocasionadas por el ambiente en el que se trabaja.

Debido a las características del motor a emplear en la extrusora se recomienda que su periodo de funcionamiento continuo no sea mayor a 8 horas diarias, esto evitará un sobrecalentamiento del motor y posibles fallos futuros.

LISTA DE REFERENCIAS CITADAS

Bosco, I. T. (2000). *Guía para prácticas en máquinas fresadoras*. Ecuador. Don Bosco.

Castillo, R. F. (2012). *Conformado de materiales Plásticos*. México. Departamento de Ingeniería UNAM.

Gieck, K. (2003). *Manual de fórmulas técnicas*. Rusia. Alfaomega.

Savgorodny, V. K. (1973). *Proceso de extrusión y cálculo de los parámetros tecnológicos*. España. Gustavo Gili S.A.

Shigley, J. E. (1983). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México. McGraw Hill.

Torras, M. (2013). *Impresoras3D*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2014 de: <http://www.impresoras3d.com/abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas/>.

LISTA DE REFERENCIAS CONSULTADAS

AHMSA. (2013). *Manual AHMSA*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2014 de: http://www.ahmsa.com/manual_ahmsa_2013.

Crawford, R. (1992). *Plastic Engineering*. Rusia. Butterworth-Heinemann.

Faires, V. M. (2002). *Diseño de elementos de máquinas*. España. Montaner y Simon S.A.

Groover, R. (2006). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Argentina. Editex.

Iñagui M. (2011). *Tecnología de los plásticos*. Recuperado el 26 de Mayo de 2014 de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>.

ANEXO A

Manual de operación de la máquina trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D.

Anexo A1

Manual de operación de la máquina extrusora de hilo plástico ABS.

Pasos a seguir para operar correctamente la máquina extrusora de hilo plástico ABS.

1. Colocar la máquina sobre una superficie plana.
2. Conectar la toma de corriente de 110V.
3. Colocar en la tolva ABS triturado, hasta cubrir la altura total de la tolva.
4. Encender el interruptor de las resistencias eléctricas
5. Fijar la temperatura 160°C.
6. Dejar por 30 minutos para el precalentamiento de la extrusora hasta llegar a la
7. Dejar por 30 minutos para el precalentamiento de la extrusora hasta llegar a la temperatura de extrusión 160 °C.
8. Encender el interruptor del motor para iniciar la extrusión.
9. Verificar el diámetro del hilo extruido cada 15 minutos.
10. De ser necesario variar la temperatura ± 160 °C para controlar el diámetro de salida del hilo extruido.

Anexo A2

Manual de operación de la máquina trituradora de plástico ABS.

Pasos a seguir para operar correctamente la máquina trituradora de plástico ABS.

1. Colocar la máquina sobre una superficie plana.
2. Conectar el toma de corriente de 110V.
3. Encender el interruptor del motor.
4. Colocar las figuras de plástico ABS a ser trituradas.
5. Retirar el colector de plástico triturado cada vez que este se llene.

6. Colocar nuevamente el colector para continuar con el proceso de triturado.
7. Verificar que las partículas obtenidas no superen la dimensión requerida (5mm x 5mm x 5mm).

ANEXO B

Manual de mantenimiento para la máquina trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D.

Anexo B1

Manual de mantenimiento de la máquina extrusora de hilo plástico ABS.

Procedimiento para el mantenimiento de la máquina extrusora de plástico ABS.

Por las características del motor, la máquina extrusora podrá funcionar por un periodo de ocho horas al día con intervalos de descanso de 15 minutos cada hora.

Debido a las paras de 15 minutos y a la elevada temperatura, alrededor de 180°C, se puede formar en el interior de la boquilla una capa de estopa muy dura que puede obstruir el paso del plástico fundido.

Un parámetro a tener en cuenta es el tamaño de los gránulos, si estos son demasiado grandes podría producir un atascamiento en el tornillo.

Con todos estos antecedentes previos se enlistan a continuación las actividades de mantenimiento que se deben realizar en la máquina extrusora.

1. Verificar obstrucción del tornillo extrusor por partículas demasiado grandes.
2. Verificar obstrucción en la boquilla de la extrusora por estopa quemada y prensada.
3. Verificar el tiempo de funcionamiento máximo del motor para evitar sobrecalentamiento.
4. No permitir el ingreso de objetos extraños o de material que no sea plástico ABS en la máquina extrusora.

Limpieza de la máquina extrusora de hilo plástico ABS.

Para la limpieza de ciertas partes, como el tornillo extrusor, la máquina debe estar en marcha y con carga para que el plástico adherido a las paredes sea extraído en su totalidad.

Para realizar la limpieza y mantenimiento de la máquina, se seguirá el siguiente orden.

1. Desenroscar la boquilla, con esto se consigue que la mayor parte de plástico adherido a las paredes salga fácilmente.
2. Para retirar los residuos de plástico se encenderá el motor para provocar el giro del husillo de este modo las partículas sobrantes serán expulsadas por el canal.
3. Desmontar el tornillo extrusor del motor y limpiar el canal, removiendo todos los residuos de plástico.
4. El mantenimiento del motor se lo realizará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
5. Se lubricará periódicamente los diferentes componentes de la extrusora para evitar su atascamiento u oxidación.

Anexo B2

Manual de mantenimiento de la máquina trituradora de plástico ABS.

Procedimiento para el mantenimiento de la máquina trituradora de plástico ABS.

Por las características de la máquina trituradora esta podrá funcionar continuamente las 24 horas del día, dichas exigencia hacen que la máquina necesite un mantenimiento completo cada determinado tiempo y según recomendaciones del fabricante.

El material a triturar en este proyecto será plástico ABS, sin embargo se puede procesar cualquier plástico perteneciente a la familia de los polietilenos.

Con todos estos antecedentes previos se enlistan a continuación las actividades de mantenimiento que se deben realizar en la máquina extrusora.

1. Verificar obstrucción o atascamiento de material entre las cuchillas o soportes de cuchillas.
2. Verificar la excentricidad en los ejes giratorios para evitar el desgaste tanto en piezas como en rodamientos.
3. Verificar el correcto acople entre el eje rotatorio y el motor para una correcta transmisión de movimiento.
4. No permitir el ingreso de objetos extraños o de material que no sea plástico ABS en la máquina trituradora.

Limpieza de la máquina trituradora de plástico ABS.

Para realizar la limpieza y mantenimiento de la máquina, en primer lugar se procederá a desmontar el motor, las placas laterales y frontales, esto permitirá que tengamos acceso los componentes internos de la trituradora.

Una vez que los elementos internos se encuentren descubiertos se procederá en el siguiente orden.

1. Para retirar los residuos de plástico se girará con una llave de tuercas para provocar el giro del eje porta cuchillas de este modo que las partículas sobrantes serán expulsadas.
2. De ser visible que existen residuos plásticos en otras partes de la extrusora que no sean las cuchillas, se procederá a desarmar los diversos componentes según se lo requiera.
3. Para verificar el correcto funcionamiento de los rodamientos se comprobará visualmente si existe o no una deformación o desgaste excesivo en los mismos, para el mantenimiento se procederá según especificaciones de catálogos proporcionados por fabricantes.
4. Se lubricará periódicamente los diferentes componentes de la trituradora para evitar su atascamiento u oxidación.

ANEXO C

Datos de elementos mecánicos normalizados y constantes empleadas en el cálculo.

Anexo C1

Resultados de ensayos a tensión de algunos metales.

| Número | Material | Condición | Resistencia (a la tensión) | | | | Resistencia a la deformación, exponente n | Resistencia a la fractura σ_f |
|--------|----------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|---|--------------------------------------|
| | | | Fluencia S_y MPa (kpsi) | Última S_u MPa (kpsi) | A la fractura σ_f MPa (kpsi) | Coefficiente σ_y MPa (kpsi) | | |
| 1018 | Acero | Recocido | 220 (32.0) | 341 (49.5) | 628 (91.1) [†] | 620 (90.0) | 0.25 | 1.05 |
| 1144 | Acero | Recocido | 358 (52.0) | 646 (93.7) | 898 (130) [†] | 992 (144) | 0.14 | 0.49 |
| 1212 | Acero | HR | 193 (28.0) | 424 (61.5) | 729 (106) [†] | 758 (110) | 0.24 | 0.85 |
| 1045 | Acero | Tyrl 600 [†] | 1 520 (220) | 1 580 (230) | 2 380 (345) | 1 880 (273) [†] | 0.041 | 0.81 |
| 4142 | Acero | Tyrl 600 [†] | 1 720 (250) | 1 930 (210) | 2 340 (340) | 1 760 (255) [†] | 0.048 | 0.43 |
| 303 | Acero inoxidable | Recocido | 241 (35.0) | 601 (87.3) | 1 520 (221) [†] | 1 410 (205) | 0.51 | 1.16 |
| 304 | Acero inoxidable | Recocido | 276 (40.0) | 568 (82.4) | 1 600 (233) [†] | 1 270 (185) | 0.45 | 1.67 |
| 2011 | Aleación de aluminio | T6 | 169 (24.5) | 324 (47.0) | 325 (47.2) [†] | 620 (90) | 0.28 | 0.10 |
| 2024 | Aleación de aluminio | T4 | 296 (43.0) | 446 (64.8) | 533 (77.3) [†] | 689 (100) | 0.15 | 0.18 |
| 7075 | Aleación de aluminio | T6 | 542 (78.6) | 593 (86.0) | 706 (102) [†] | 882 (128) | 0.13 | 0.18 |

[†]Los valores se basan de uno a dos cables y se consideran que pueden obtenerse usando especificaciones de rangos. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.
[†]Ver datos.

Anexo C2

Factor de la condición superficial (ecuación de Marín).

| Acabado superficial | Factor a | | Exponente b |
|------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| | S_{ul} kpsi | S_{ul} MPa | |
| Esmerilado | 1.34 | 1.58 | -0.085 |
| Maquinado o laminado en frío | 2.70 | 4.51 | -0.265 |
| Laminado en caliente | 14.4 | 57.7 | -0.718 |
| Como sale de la forja | 39.9 | 272. | -0.995 |

De C. J. Noll y C. Lipsitz, "Allowable Working Stresses", en Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducción por O. J. Hoeger (ed.), Metal Engineering Design ASME Handbook, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Anexo C3

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero (ecuación de Marín).

CAPÍTULO 6 Fallos por fatiga resultantes de carga variable

| Temperatura, °C | S_f/S_{fR} | Temperatura, °F | S_f/S_{fR} |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| 20 | 1.000 | 70 | 1.000 |
| 50 | 1.010 | 100 | 1.008 |
| 100 | 1.020 | 200 | 1.020 |
| 150 | 1.025 | 300 | 1.024 |
| 200 | 1.020 | 400 | 1.018 |
| 250 | 1.000 | 500 | 0.995 |
| 300 | 0.975 | 600 | 0.963 |
| 350 | 0.943 | 700 | 0.927 |
| 400 | 0.900 | 800 | 0.872 |
| 450 | 0.843 | 900 | 0.797 |
| 500 | 0.768 | 1 000 | 0.698 |
| 550 | 0.672 | 1 100 | 0.567 |
| 600 | 0.549 | | |

*Fuente de datos: ítem 29.

Anexo C4

Factor de confiabilidad (ecuación de Marín).

| Confiabilidad, % | Variación de transformación z_o | Factor de confiabilidad k_o |
|------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

Anexo C5

Dimensiones de rodamiento de bolas 6202 – 2RSR.

FAG



Rodamiento rígido a bolas 6202-2RSR (Serie 62..-2RSR)

medidas principales según DIN 625-1, obturación de labio
en ambos lados

Esta hoja de datos sólo es una vista general de medidas y capacidades de carga del producto seleccionado. Tenga en cuenta, sin falta, todas las indicaciones de estas páginas. Para muchos productos encontrará más información bajo el apartado "Descripción" del menú. Además puede solicitar amplio material de información a través de la Solicitud de catálogos (<http://www.fag.de/content.fag.de/en/mediathek/library/library.jsp>) o por teléfono +49 91 32 82 - 28 97.

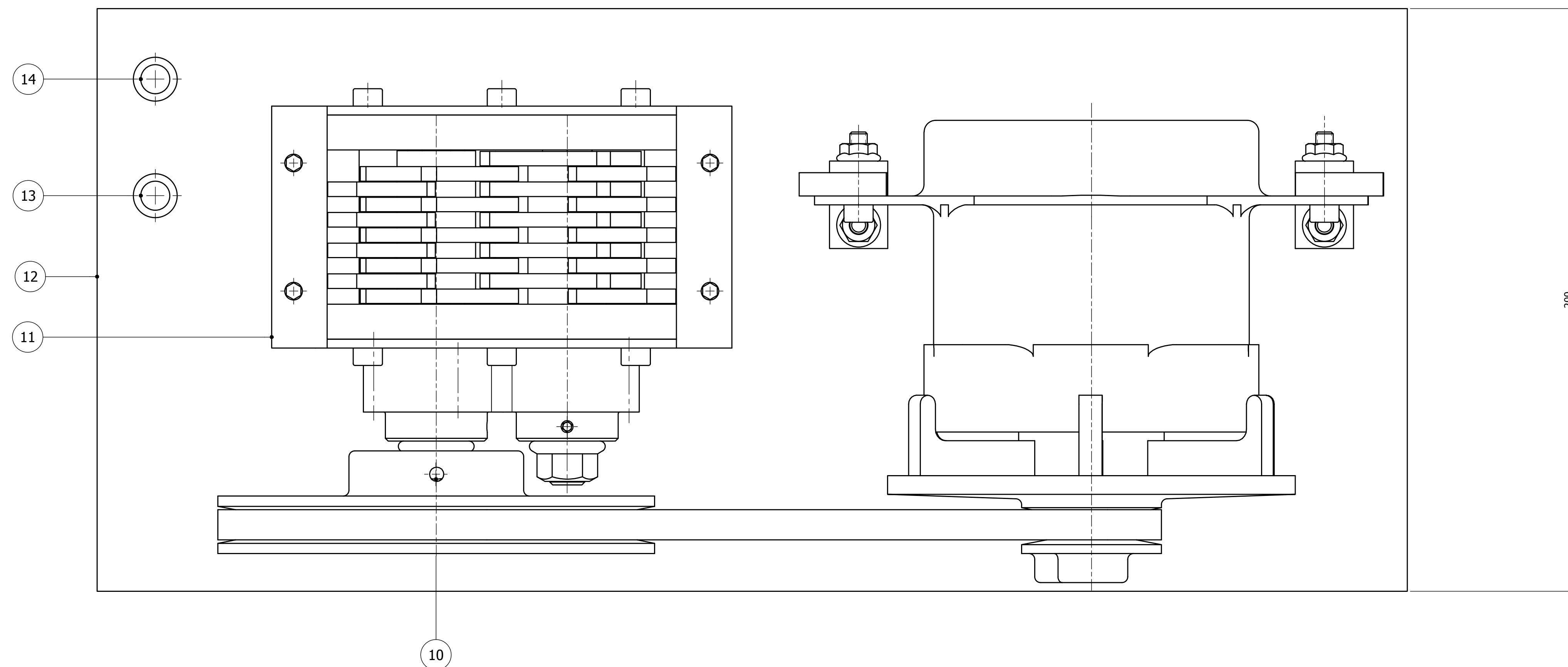
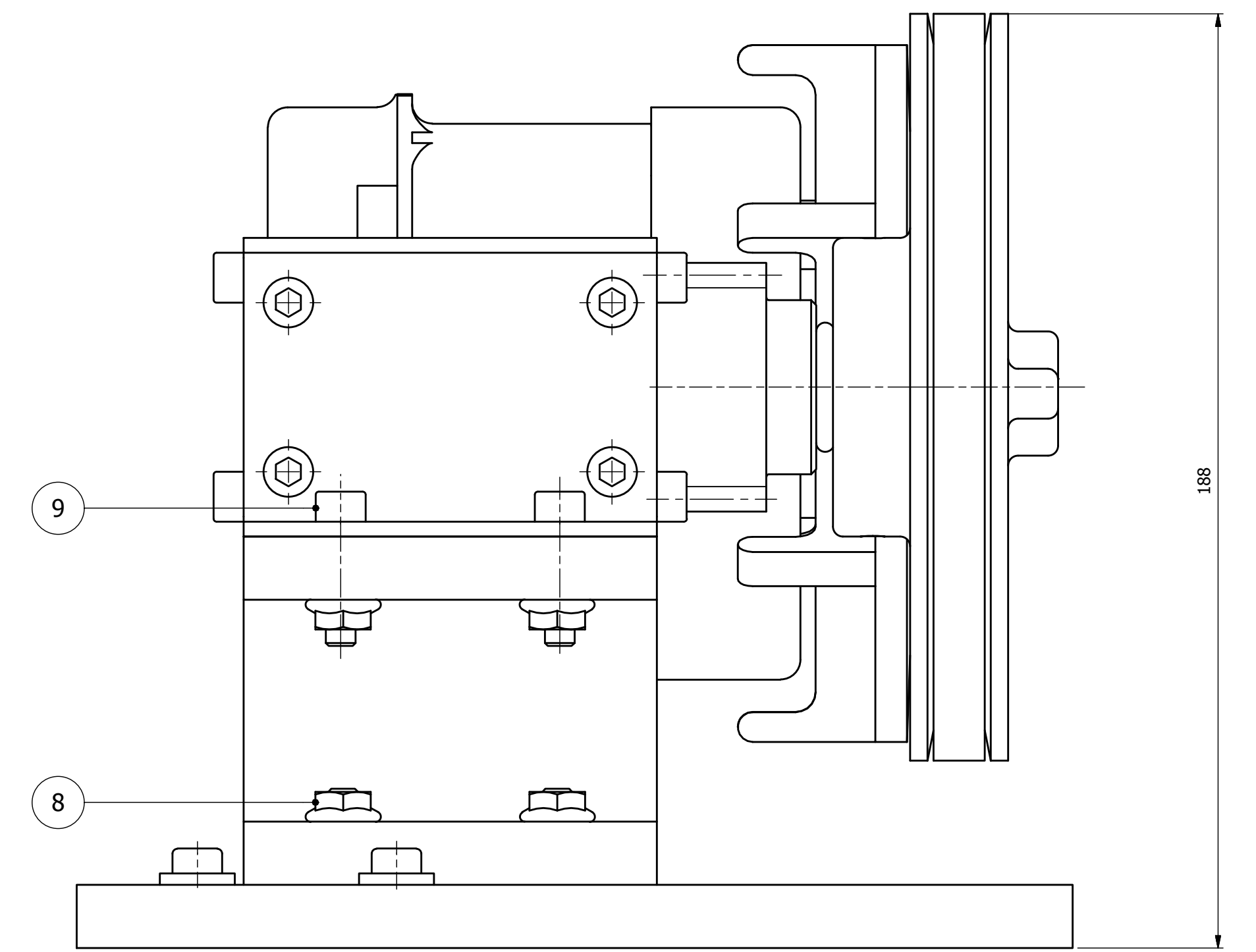
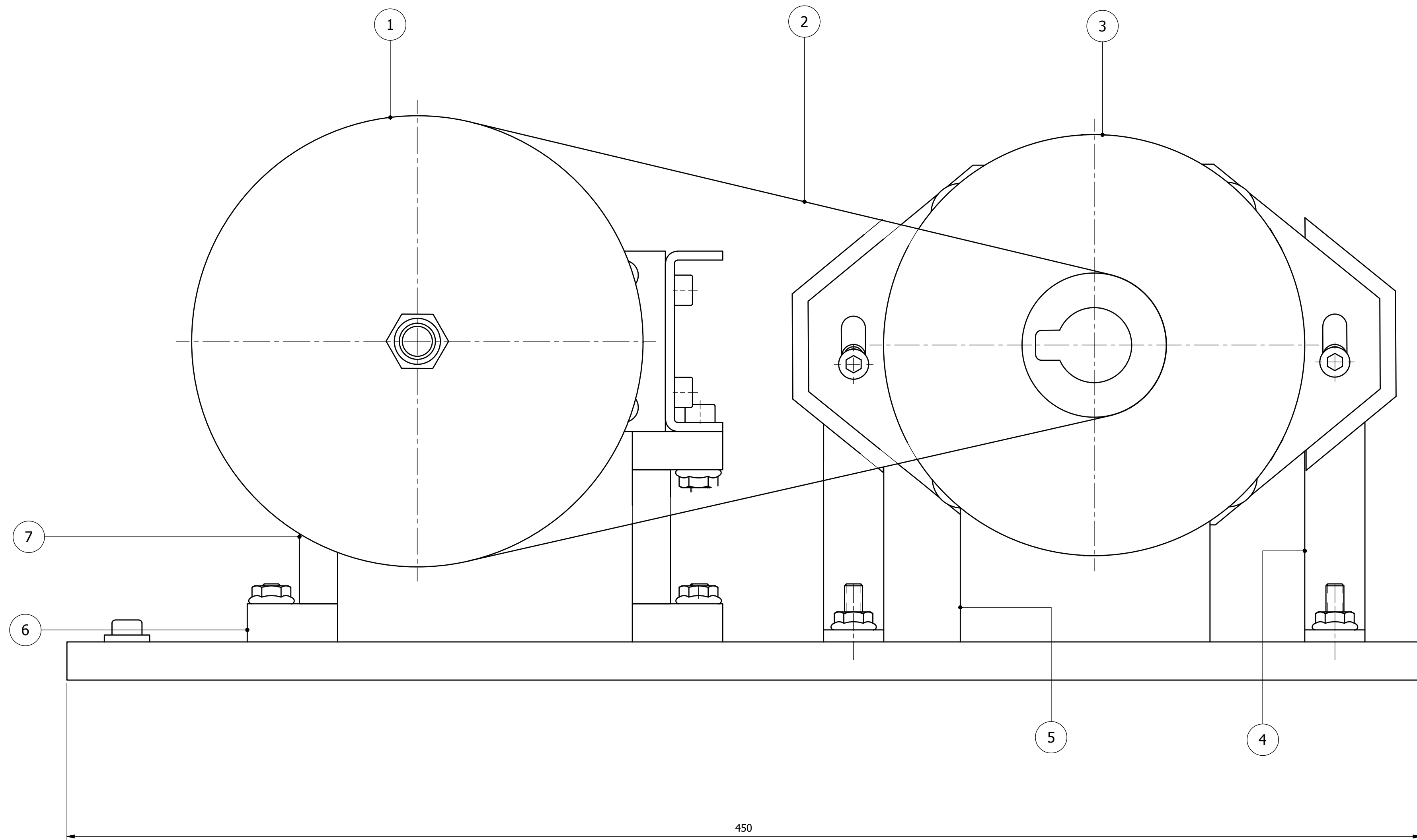
| | |
|-----------------|--|
| d | 15 mm |
| D | 35 mm |
| B | 11 mm |
| di | 21,1 mm |
| Di | 30,9 mm |
| Da | 30,8 mm |
| max | |
| da | 19,2 mm |
| min | |
| fa | 0,6 mm |
| max | |
| fmin | 0,6 mm |
| m | 0,045 kg Peso |
| C _r | 8200 N Capacidad de carga dinámica, radial |
| C _{0r} | 3750 N Capacidad de carga estática, radial |
| n ₃ | 14000 1/min Velocidad límite |
| n ₁ | - 1/min Velocidad de referencia |
| C _r | 197 N Carga límite de fatiga, radial |

06.03.2015 07:08

1

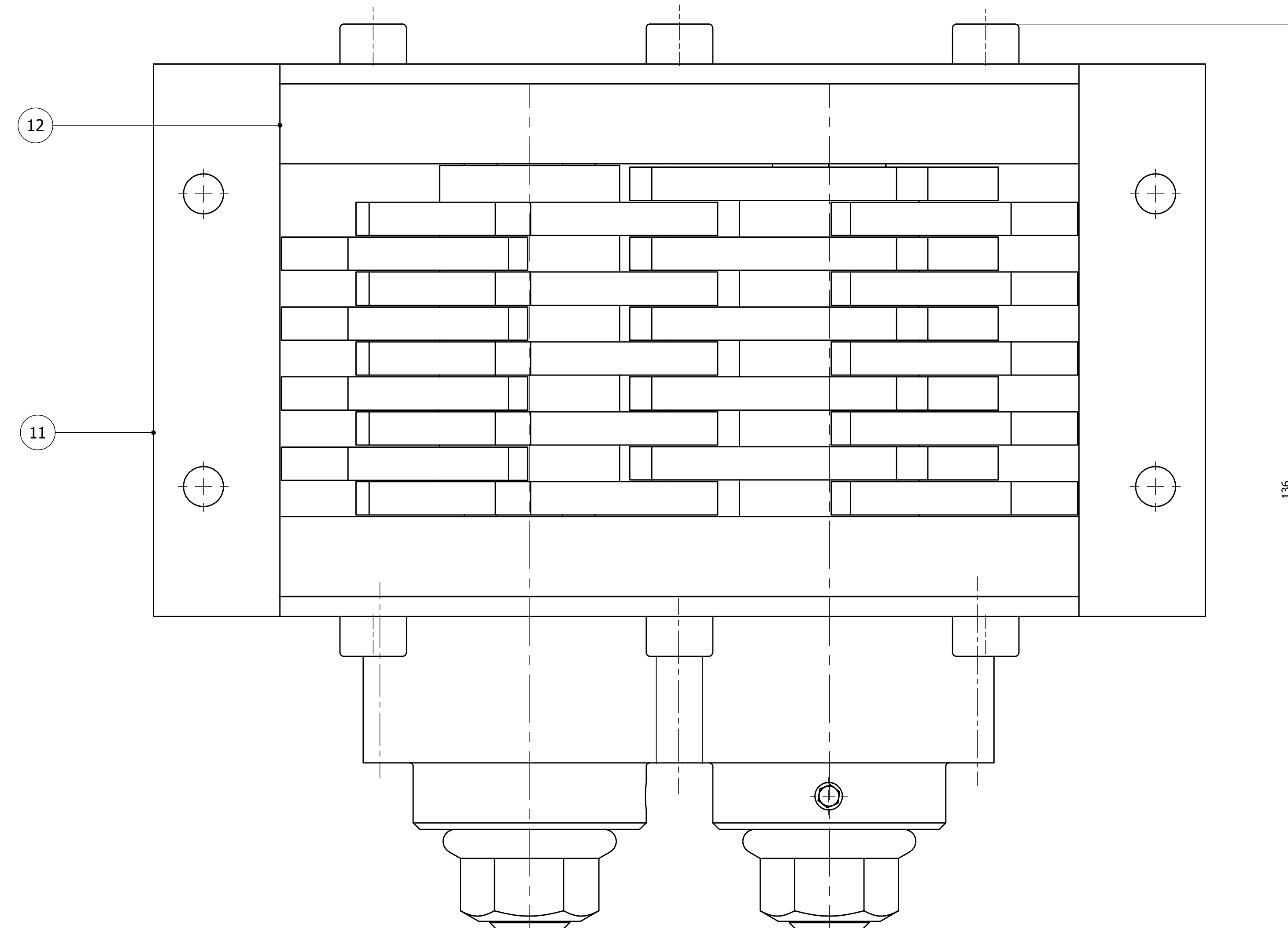
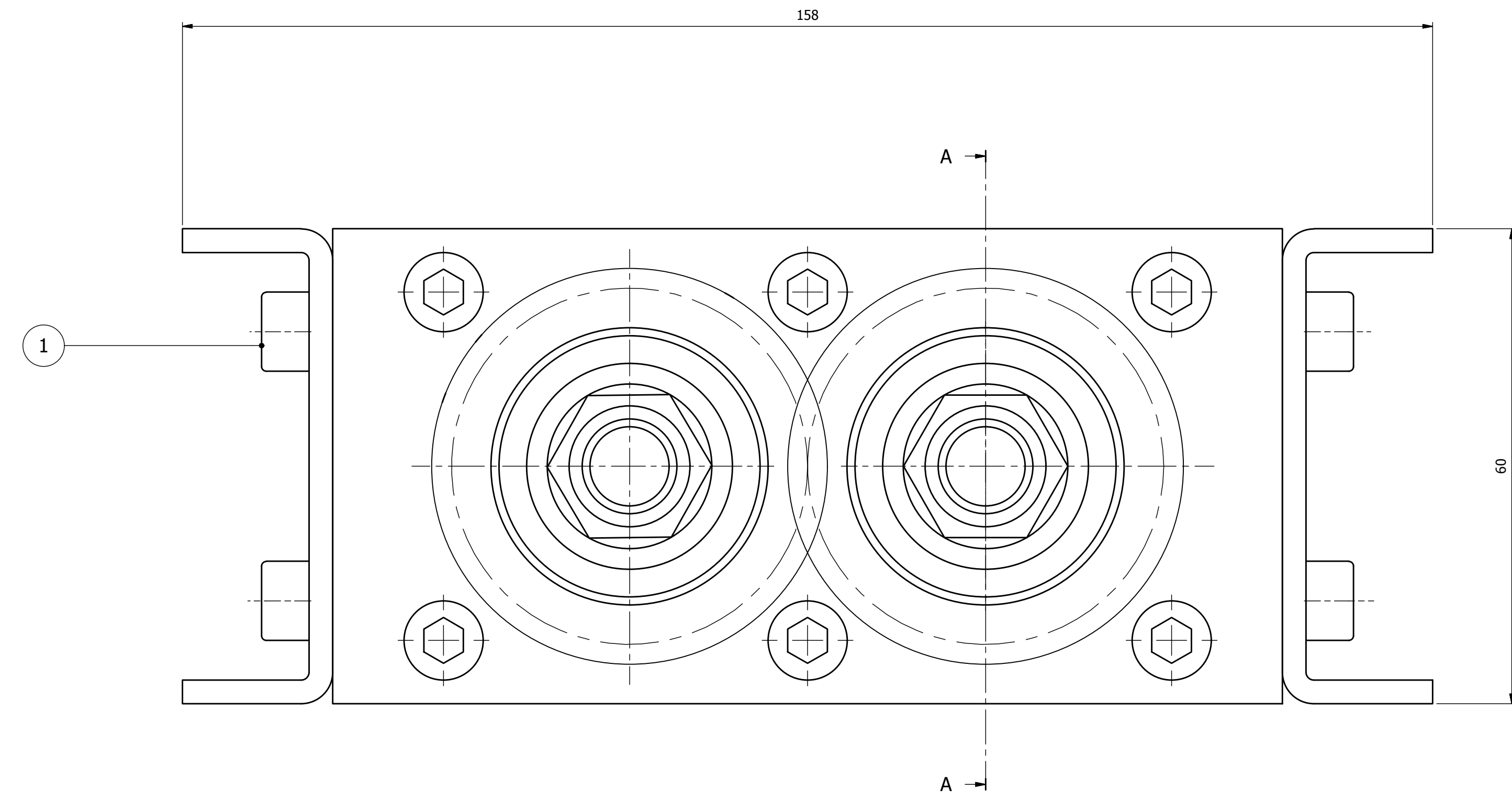
Anexo D

Planos de la máquina trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D.

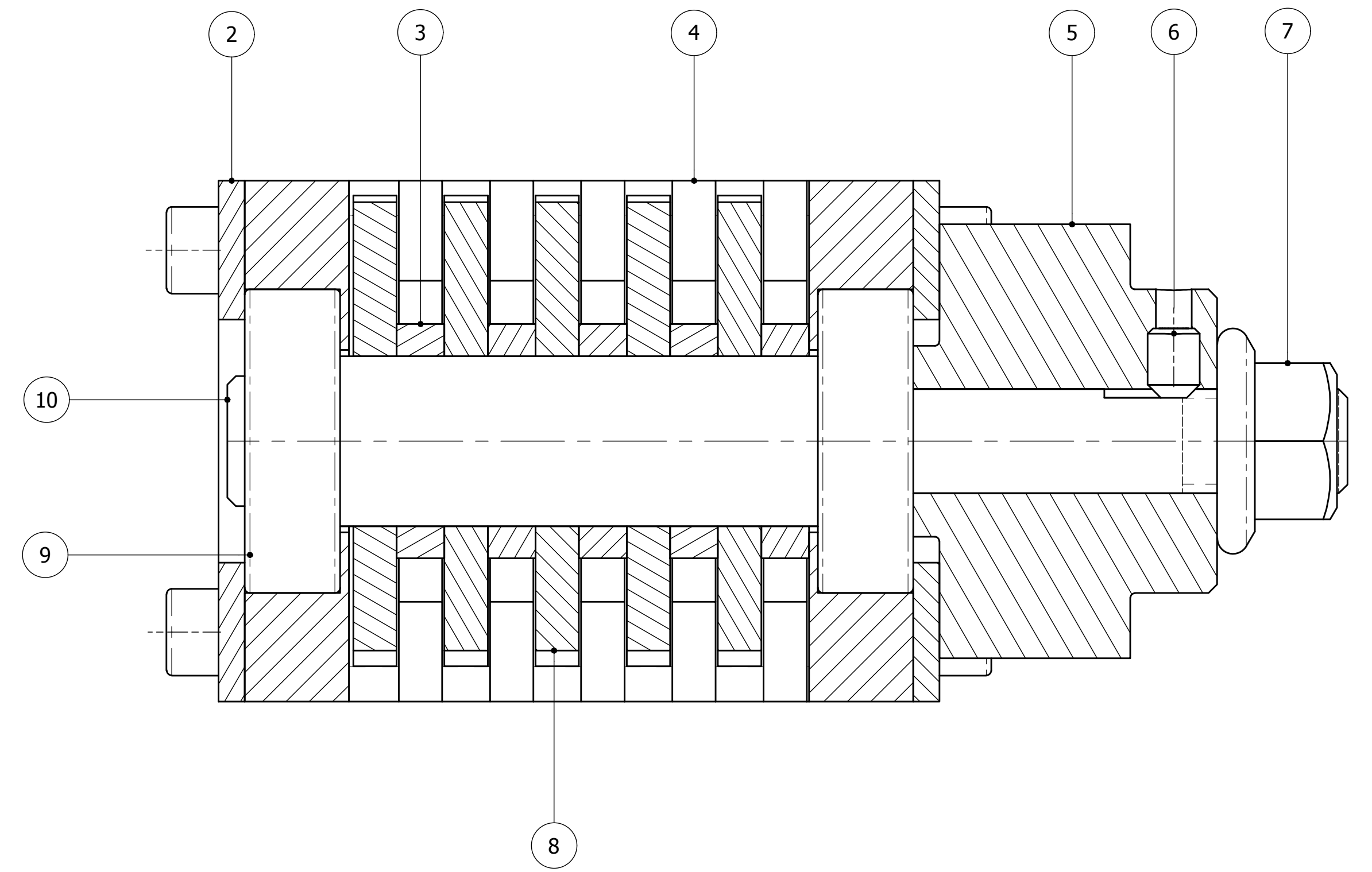


| Ref | Nombre | Cant | Norma | Material | Dim Brutas | Observaciones |
|-----|---------------------------|------|-----------|-------------|------------------|---------------|
| 14 | Interruptor de apagado | 1 | N/A | N/E | N/E | Normalizado |
| 13 | Interruptor de encendido | 1 | N/A | N/E | N/E | Normalizado |
| 12 | Base Trituradora | 1 | 00.05 | Madera | 420 x 200 x 12.7 | N/A |
| 11 | Trituradora | 1 | 00.04 | Varios | 158 x 136 x 60 | N/A |
| 10 | Prisionero | 2 | DIN - 913 | AISI - 1045 | M 6 X 10 | Normalizado |
| 9 | Perno Allen | 12 | DIN - 912 | AISI - 1045 | M 6 X 25 | Normalizado |
| 8 | Tuerca | 12 | DIN - 934 | AISI - 1045 | M 6 | Normalizado |
| 7 | Soporte Central Motor | 1 | N/A | Madera | 83 x 44.5 x 12.7 | N/A |
| 6 | Soporte Base Trituradora | 4 | 00.03 | Madera | 83 x 30 x 12.7 | N/A |
| 5 | Parante Base Trituradora | 3 | N/A | Madera | 83 x 44.5 x 12.7 | N/A |
| 4 | Soporte Motor Trituradora | 2 | 00.02 | AISI - 1045 | 100 x 20 x 30 | N/A |
| 3 | Motor Trituradora | 1 | N/A | N/E | 110 Voltios | Normalizado |
| 2 | Correa Trapezoidal | 1 | N/E | Rubber | N/E | Tipo V |
| 1 | Polea | 1 | 00.01 | Aluminio | Ø 150 x 35 | Tipo V |

| | | | | |
|--------------------------------|--|------------------------------|---------------------------------|------------|
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | UPS | Diseño: Freddy Gualoto | 15/11/2014 |
| | | | Dibujó: Freddy Gualoto | 26/02/2015 |
| TRITURADORA CON BASE | | Escala: 1 : 1 | Revisó: Ing Patricio Quitiaquez | 05/03/2015 |
| | | Código: 10.2015.110631.00.00 | Tol. Gral: ± 1 | |



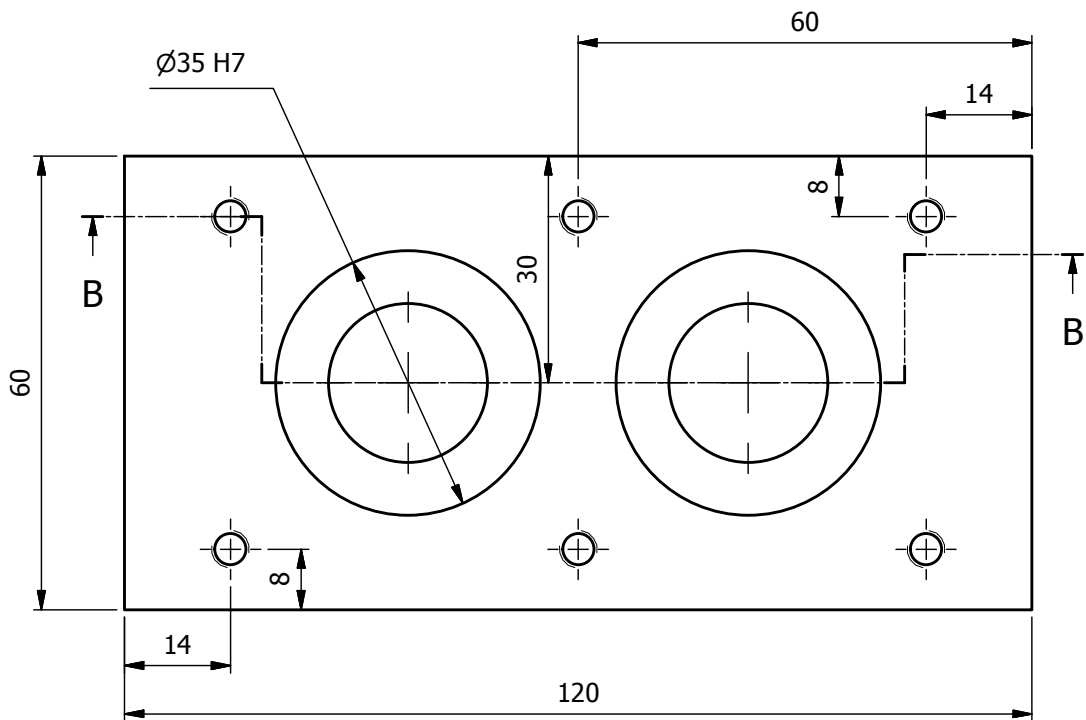
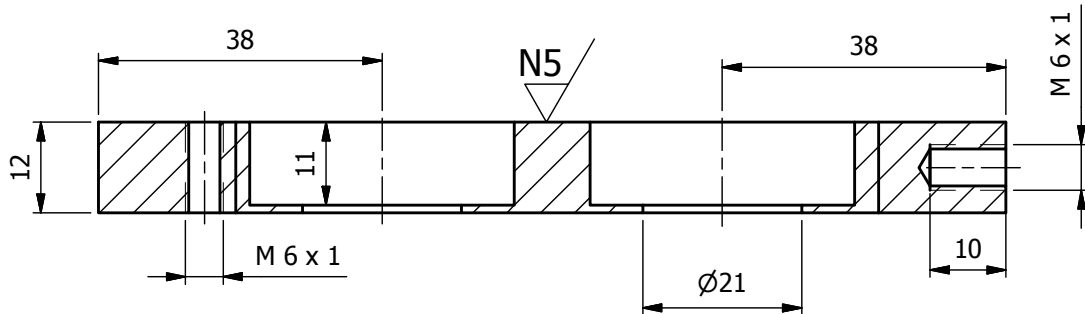
CORTE A-A



| | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|------|-----------|-------------|---------------|-------------------------|----------------------|
| 12 | Placa Porta Rodamientos | 2 | 00.04.08 | ASTM A - 36 | 125 X 65 X 15 | N/A | |
| 11 | Base de Soporte | 2 | 00.04.07 | ASTM A - 36 | 89 X 83 X 3 | N/A | |
| 10 | Perno de Arrastre | 2 | 00.04.06 | AISI - 1045 | Ø 20 X 135 | N/A | |
| 9 | Rodamiento | 4 | DIN - 625 | 100 Cr 6 | Ø 35 X 11 | Normalizado | |
| 8 | Cuchilla | 10 | 00.04.05 | K - 100 | Ø 62 X 7 | N/A | |
| 7 | Tuerca de Ajuste | 2 | DIN - 934 | AISI - 1045 | M 12 | Normalizado | |
| 6 | Prisionero | 2 | DIN - 913 | AISI - 1045 | M6 x1 x 8 | Normalizado | |
| 5 | Piñon | 2 | 00.04.04 | AISI - 1045 | Ø 55 X 35 | N/A | |
| 4 | Espaciador de Cuchilla | 9 | 00.04.03 | k - 100 | 65 X 40 X 7 | N/A | |
| 3 | Anillo Espaciador | 10 | 00.04.02 | ASTM A - 36 | Ø 30 X 8 | N/A | |
| 2 | Tapa de Rodamientos | 2 | 00.04.01 | ASTM A - 36 | 125 X 65 X 3 | N/A | |
| 1 | Perno Allen de Sujesión | 20 | DIN - 912 | AISI - 1045 | M6x1 x 12 | Normalizado | |
| Ref | Nombre | Cant | Norma | Material | Dim Brutas | Observaciones | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 13/11/2014 |
| | | | | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 |
| | | | | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 |
| TRITURADORA | | | | Escala: | 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04 |
| | | | | | | Tol. Gral: | ± 1 |

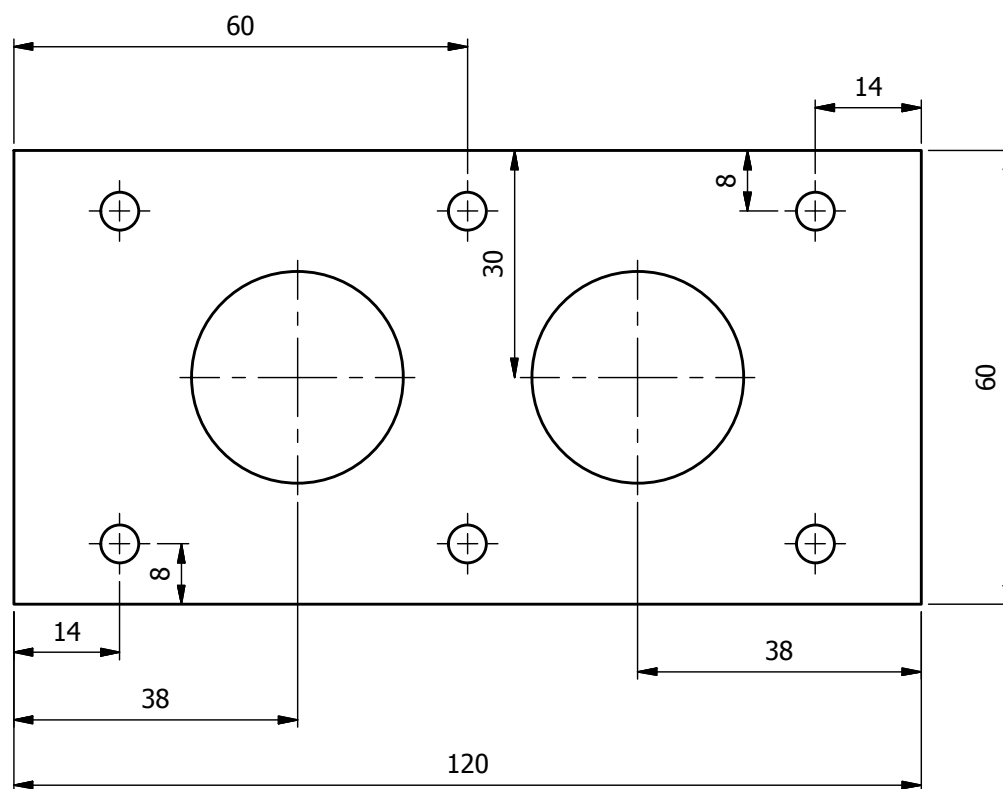
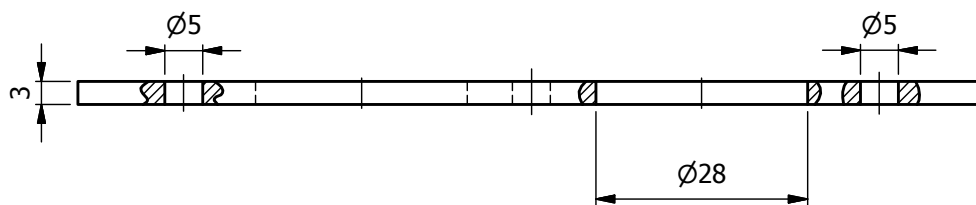
N7 / (N5 /)

CORTE B-B



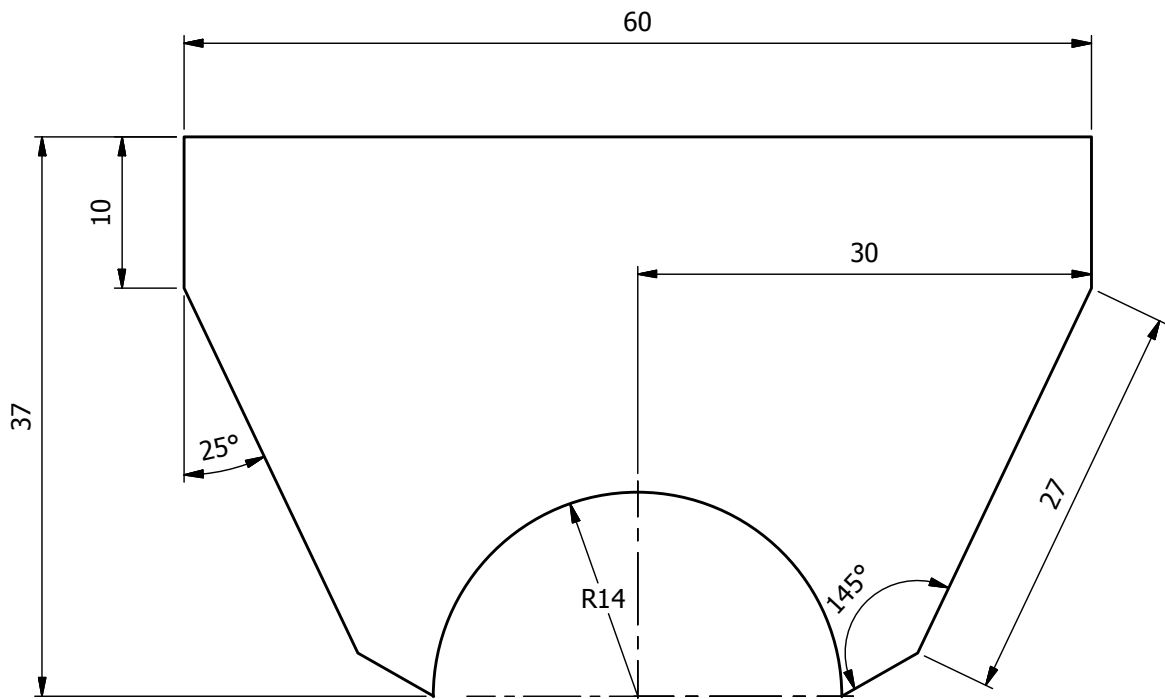
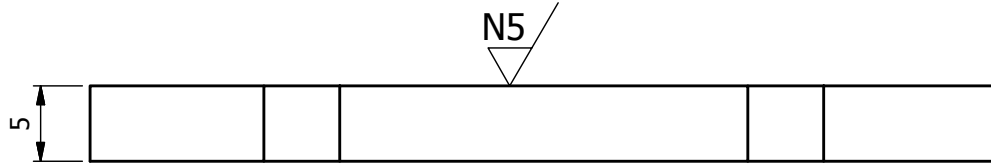
| | |
|-----|--------|
| H7 | |
| Ø35 | +0.025 |
| | 0.00 |

| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|---------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | ASTM A - 36 | Dim. Brutas: | 125 X 65 X 15 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 13/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patrico Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| Placa Porta Rodamientos | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.08 | Tol. Gral: ± 0.2 | |



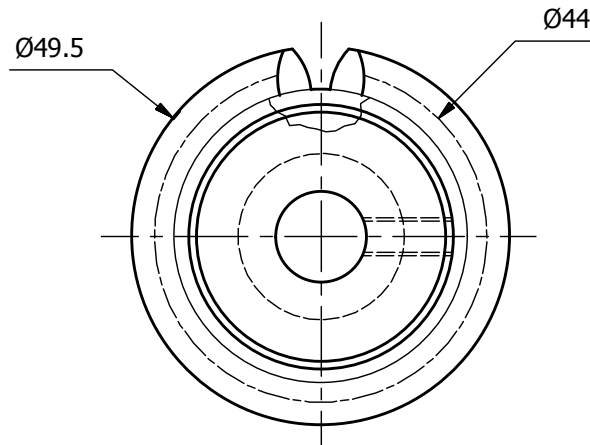
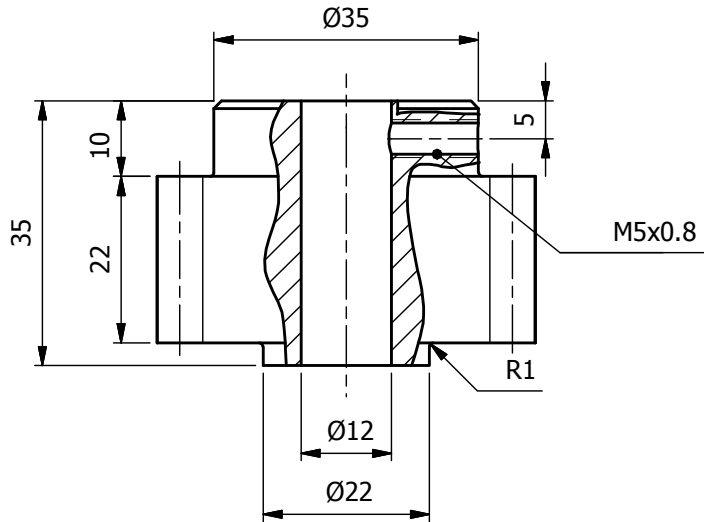
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|--------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | 125 X 65 X 3 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 14/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| TAPA DE RODAMIENTOS | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.01 | Tol. Gral: ± 0.1 | |

N7 / (N5 /)



| | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|---|
| Tratamiento Térmico: | Templado y Revenido | Material: | Dim. Brutas: |
| Recubrimiento: | 48 - 50 HRC | K - 100 | 65 x 40 x 7 |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto 14/11/2014 |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto 16/02/2015 |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez 18/02/2015 |
| ESPACIADOR DE CUCHILLAS | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.03 Tol. Gral: ± 0.2 |

N7

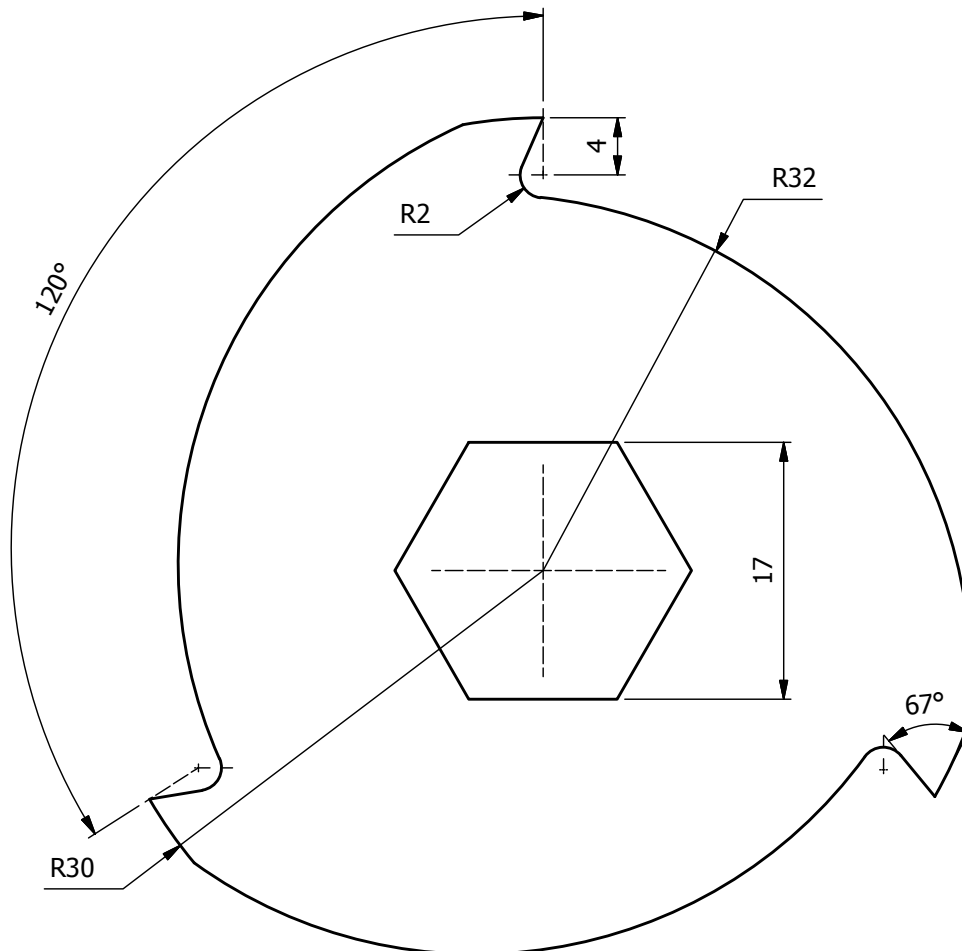
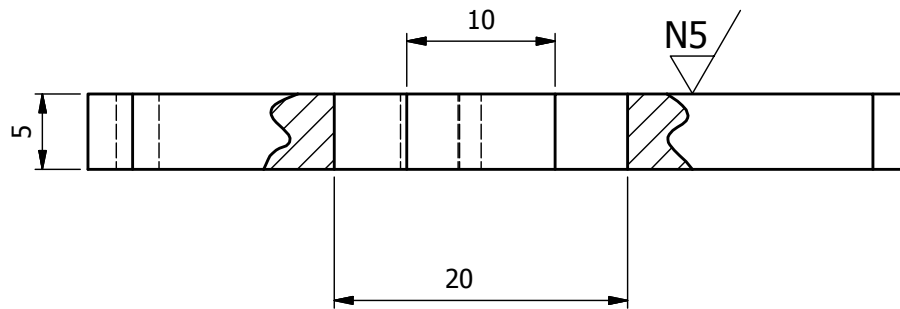


Chablán 1 x 45°

| PIÑÓN | |
|-------|-----|
| M | 2.5 |
| Z | 18 |

| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|-----------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | Ø 55 X 35 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 13/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| PIÑÓN | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.04 | Tol. Gral: | ± 0.1 |

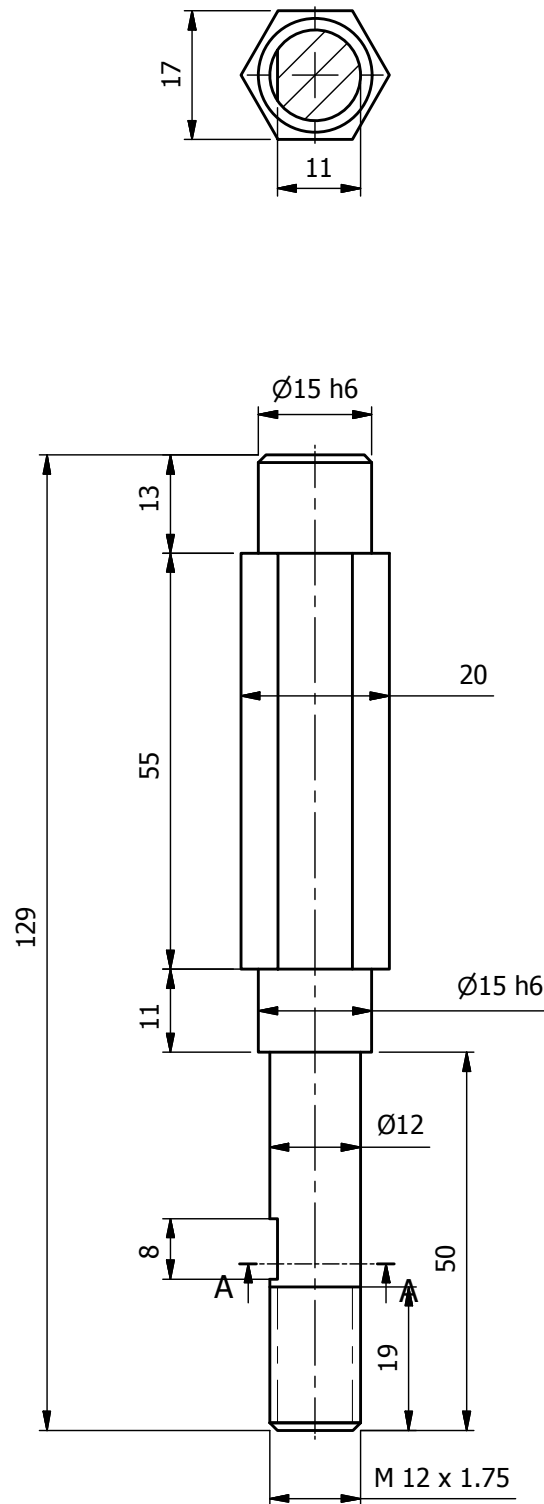
N7 / (N5 /)



| | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|-------------------------|--------------|----------|
| Tratamiento Térmico: | Templado y Revenido | Material: | K - 100 | Dim. Brutas: | Ø 62 x 7 |
| Recubrimiento: | 48 - 50 hRC | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 14/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| CUCHILLA | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.05 | Tol. Gral: | ± 0.1 |

CORTE A-A

N7

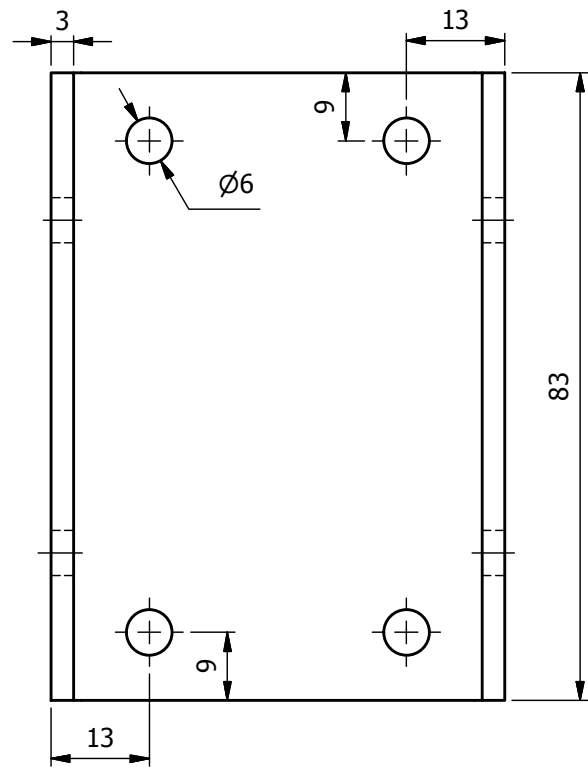
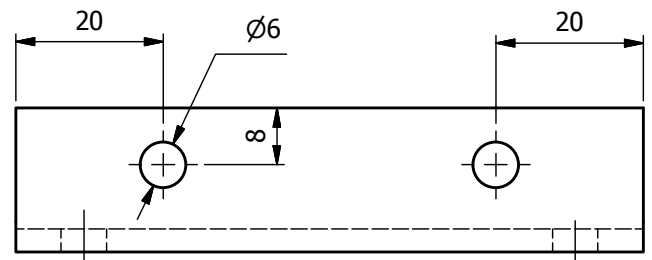
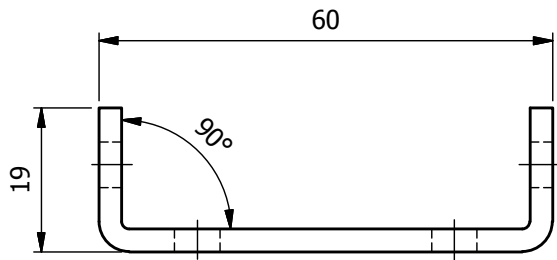


Chaflán = 1 x 45°

| h6 | |
|-----|--------|
| Ø15 | 0.00 |
| | -0.016 |

| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | Ø 20 x 135 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 12/12/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 17/02/2015 | |
| PERNO DE ARRASTRE | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.06 | Tol. Gral: ± 0.1 | |

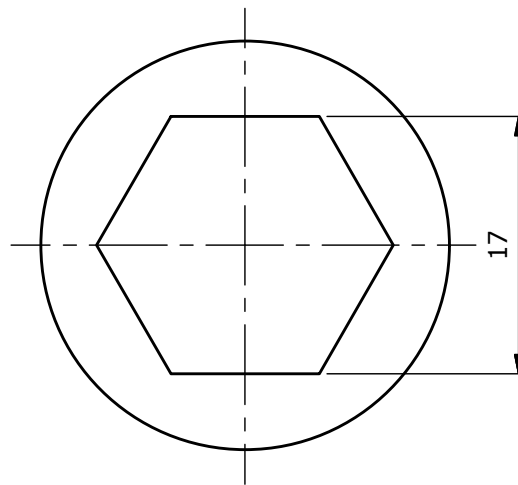
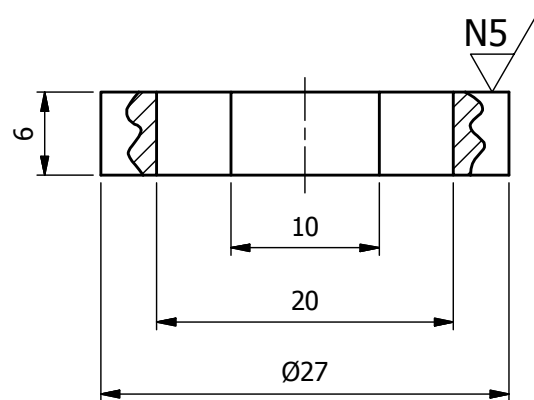
N7



| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|-------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | 89 X 83 X 3 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 14/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quiatiquez | 18/02/2015 | |
| BASE DE SOPORTE | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.07 | Tol. Gral: ± 0.3 | |

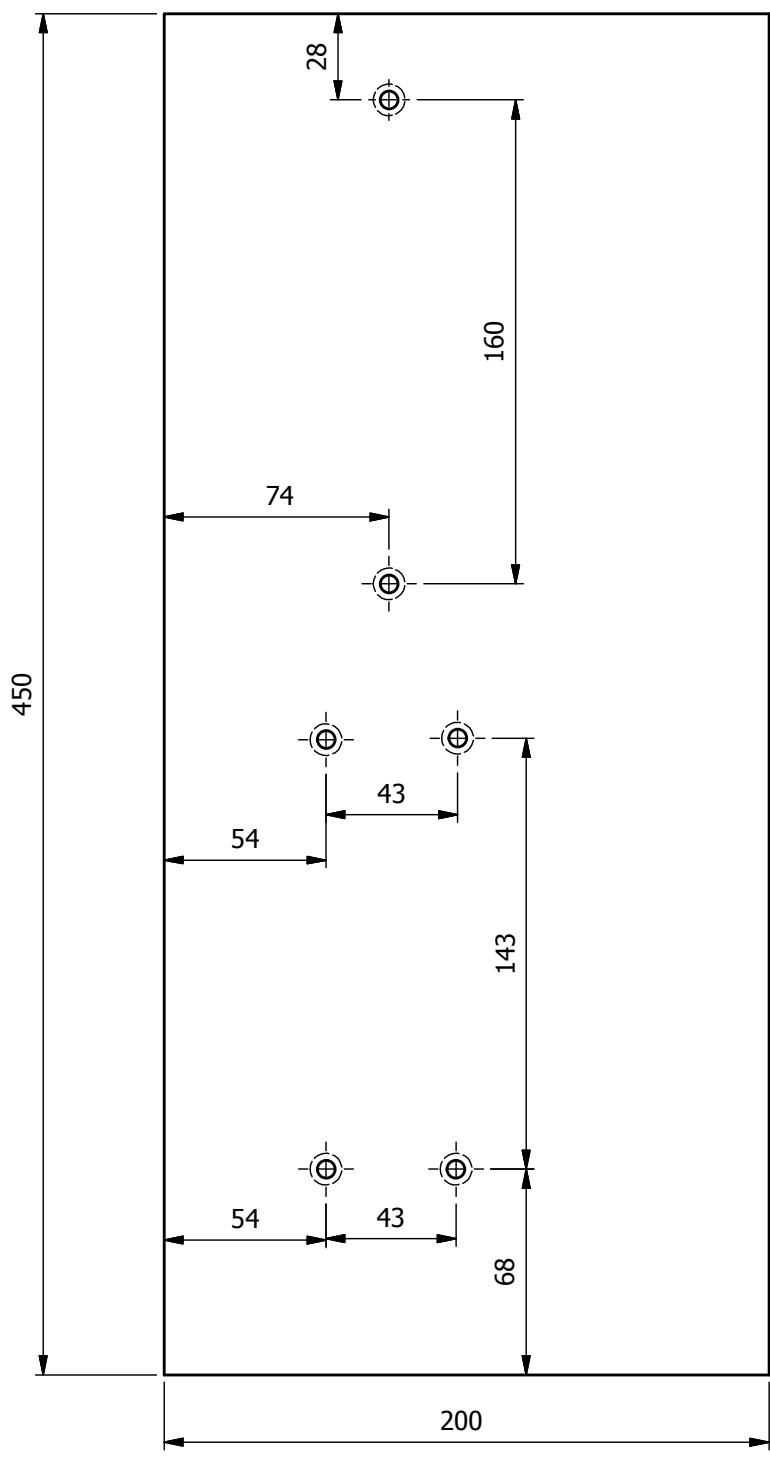
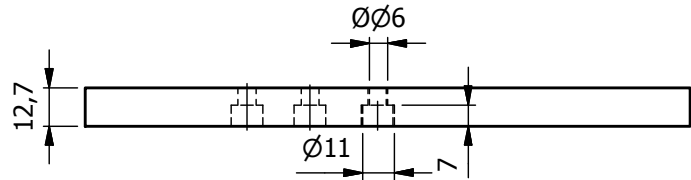
N7 /

(N5 /)



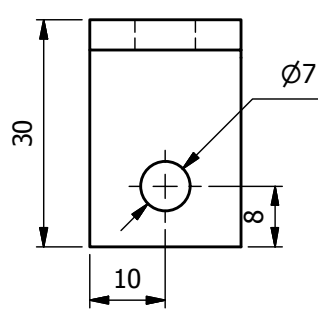
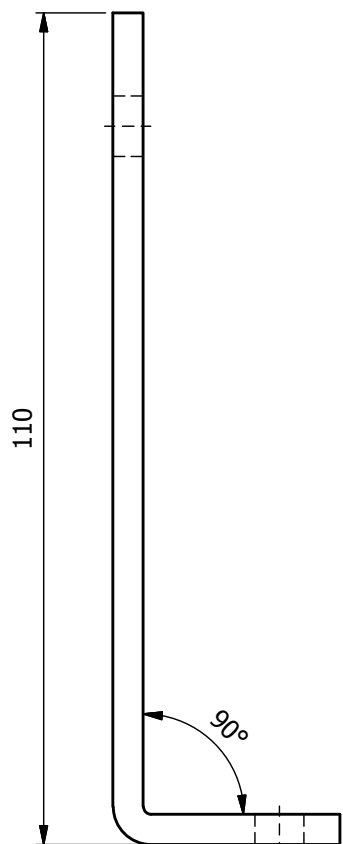
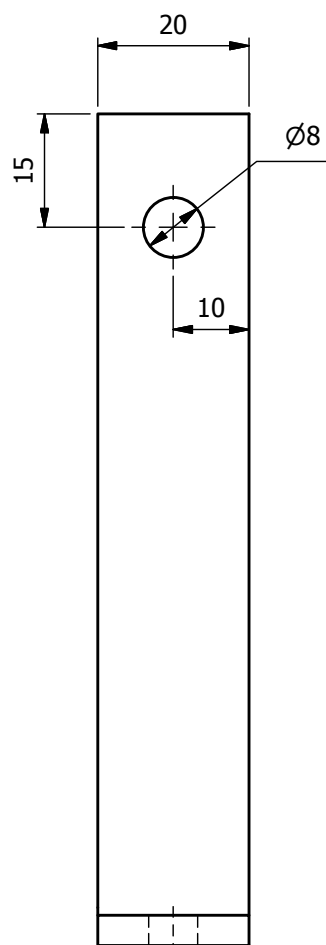
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|----------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | Ø 30 X 8 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 13/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| ANILLO ESPACIADOR | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04.02 | Tol. Gral: ± 0.2 | |

N10

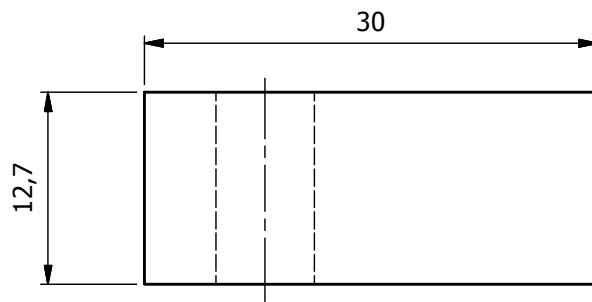


| | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|--------------|------------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Madera | Dim. Brutas: | 420 x 200 x 12.7 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 03/03/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 05/03/2015 | |
| BASE TRITURADORA | Escala: 1 : 2.5 | Código: | 10.2015.110631/00.05 | Tol. Gral: | ± 1 |

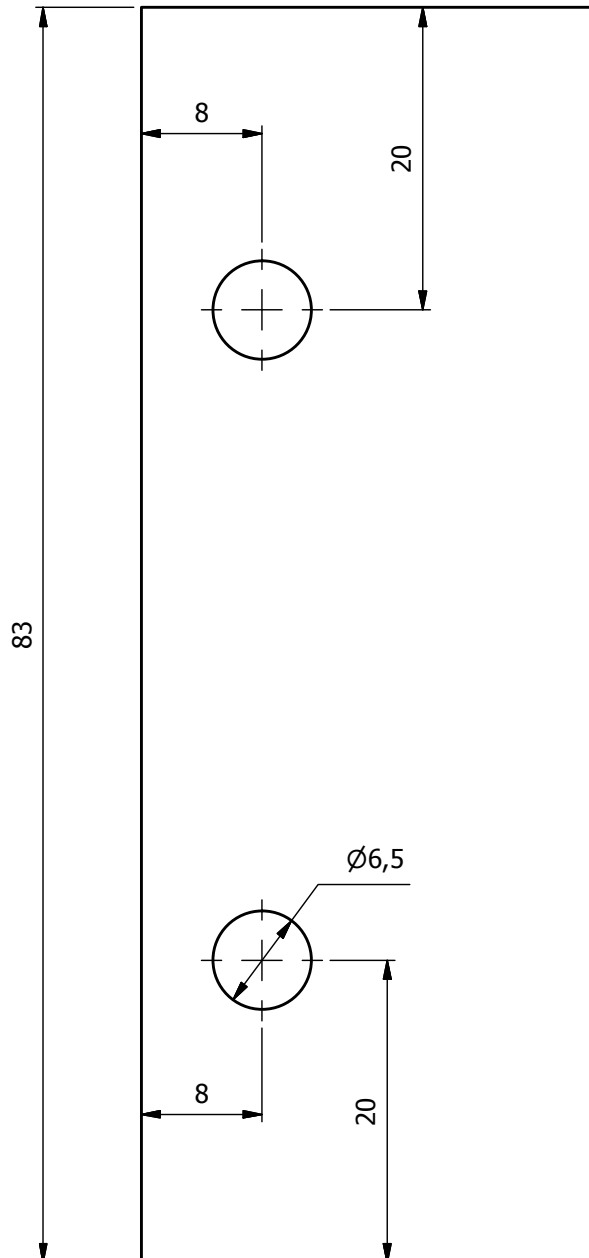
N7



| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|---------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | 100 x 20 x 30 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 03/03/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 05/03/2015 | |
| SOPORTE MOTOR | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.02 | Tol. Gral: | ± 0.3 |

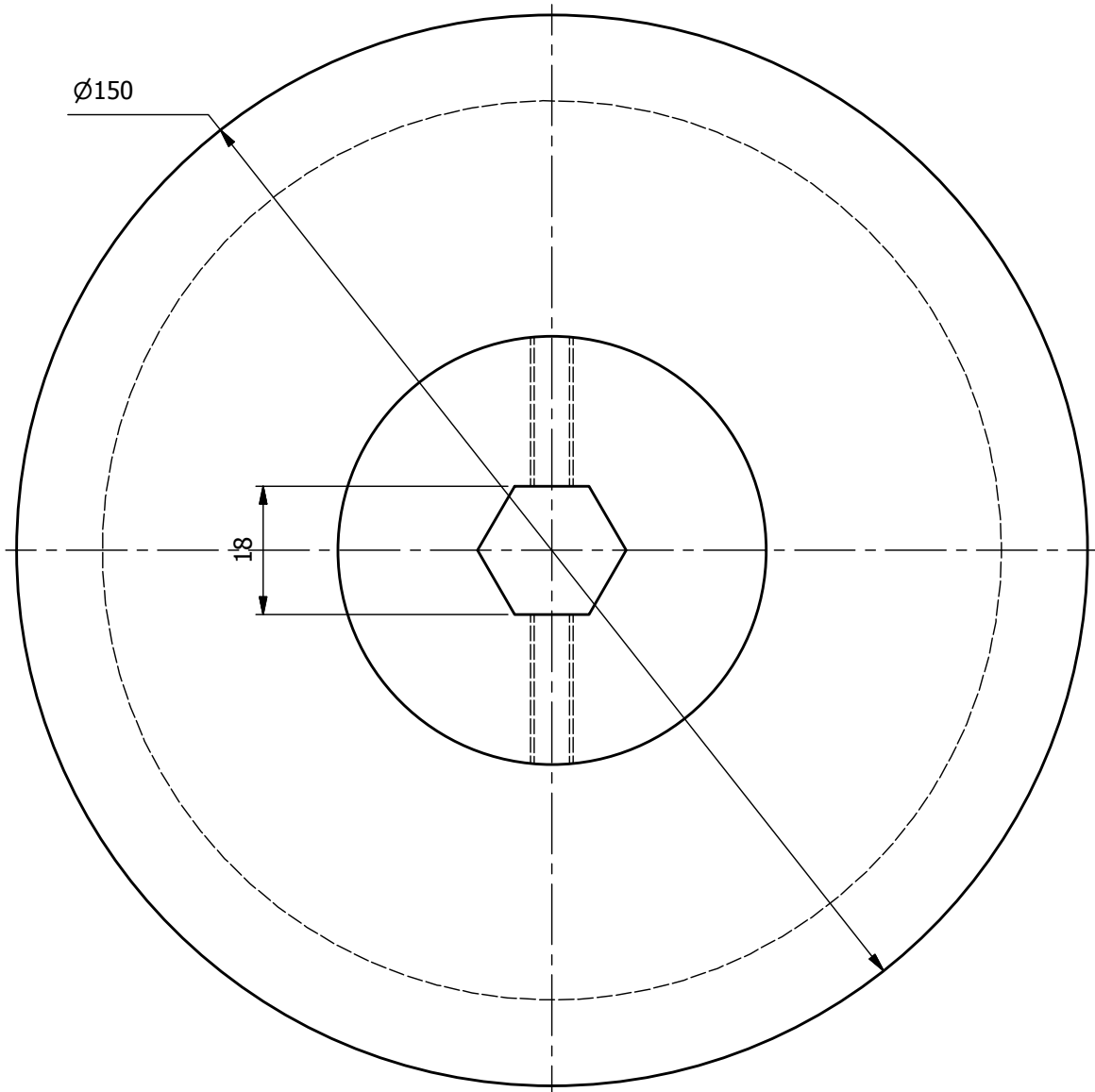
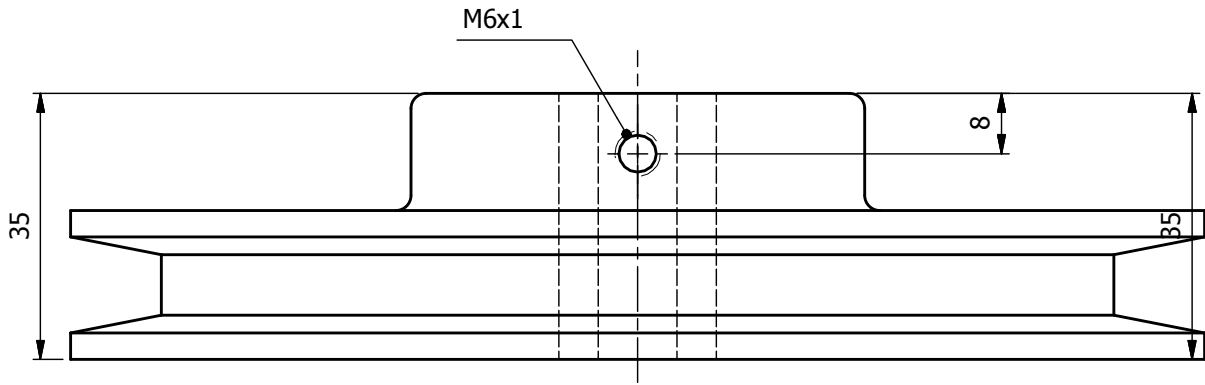


N10



| | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Madera | Dim. Brutas: 83 x 44.5 x 12.7 |
| Recubrimiento: | N/A | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 03/03/2015 |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 05/03/2015 |
| SOPORTE BASE TRITURADORA | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.03 | Tol. Gral: ± 1 |

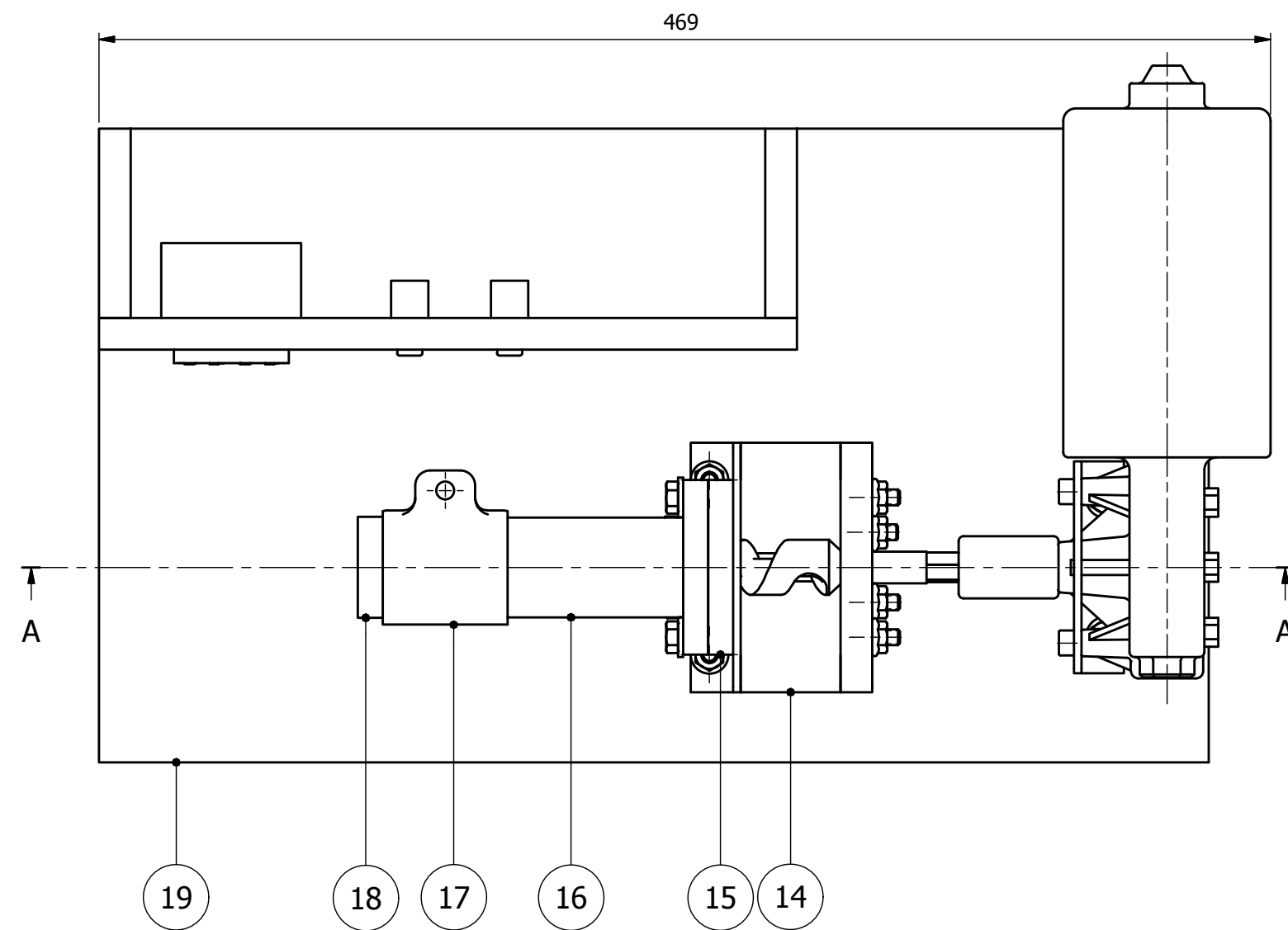
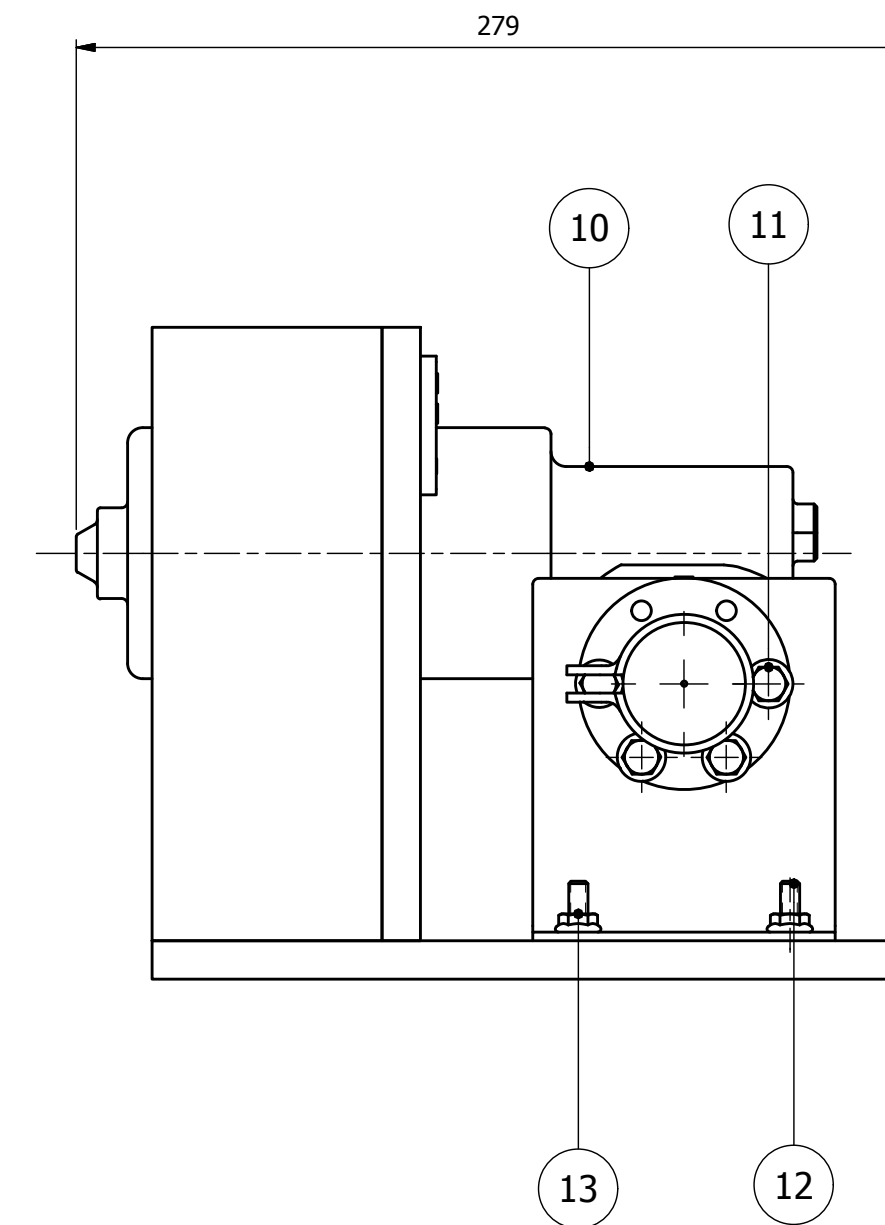
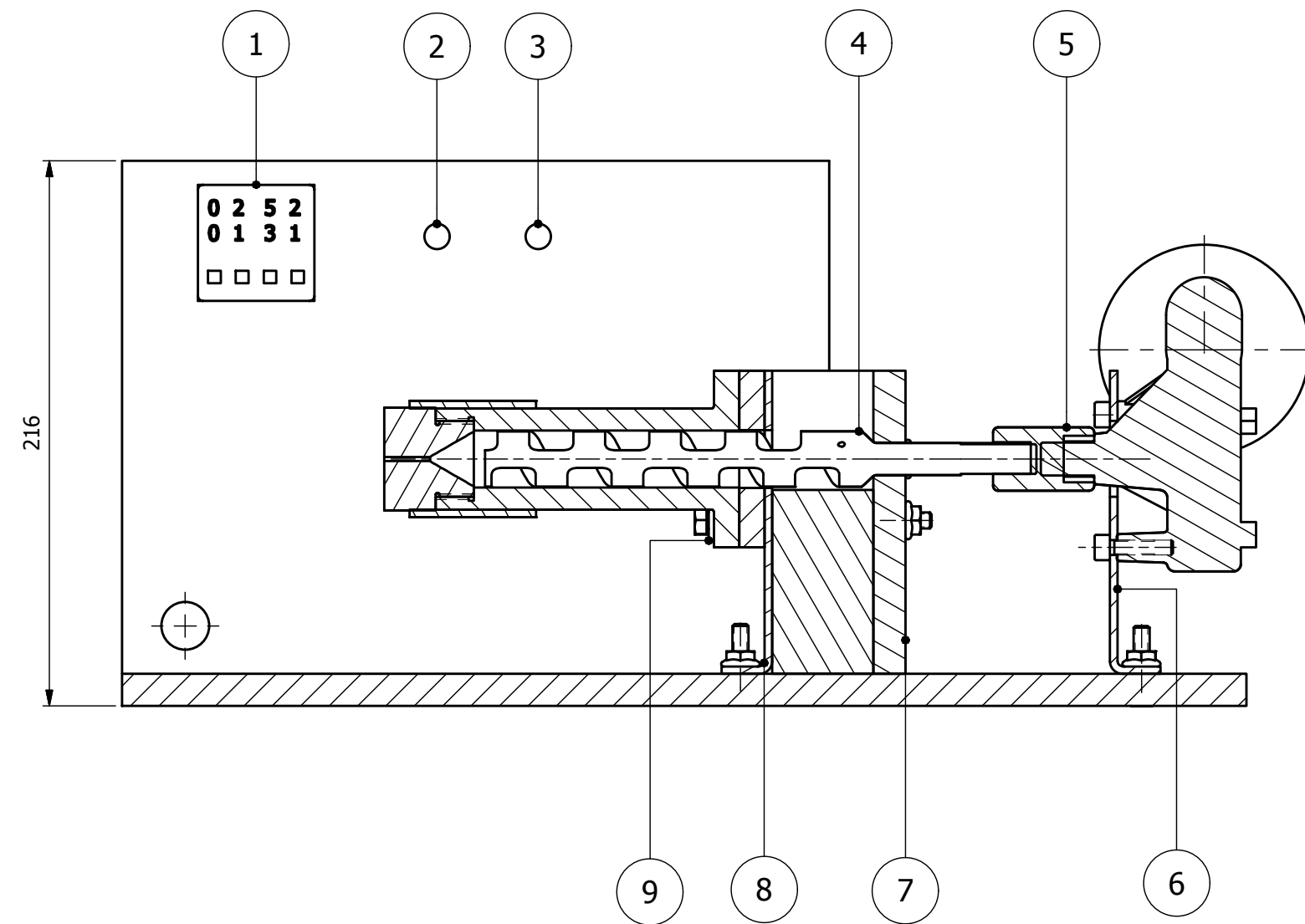
N7



Polea Normalizada Ø 150 Tipo "V"

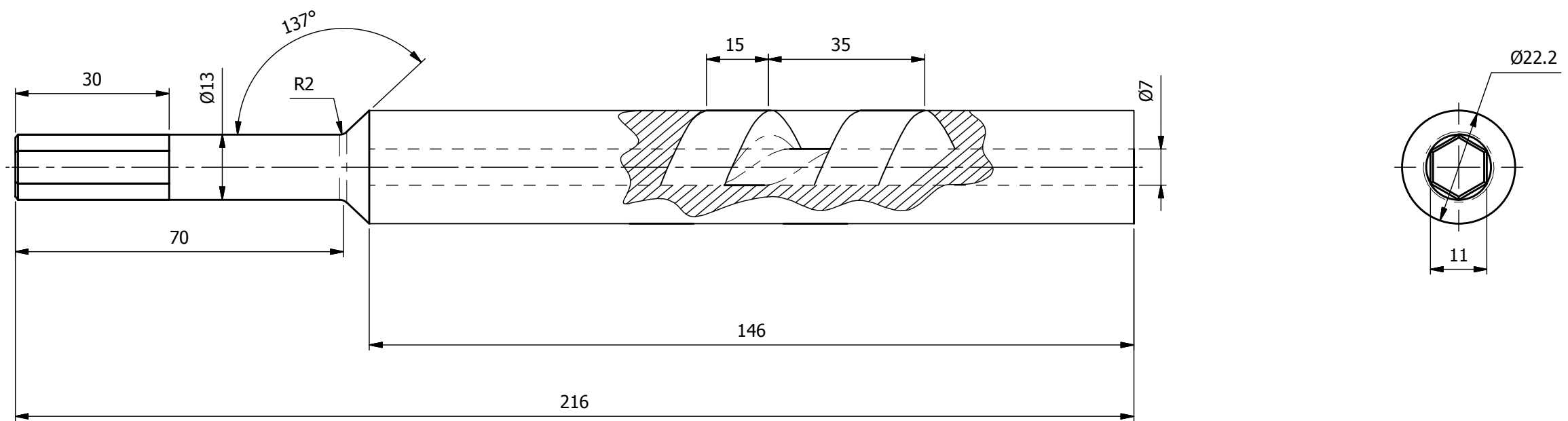
| | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|-------------------------|---------------------|------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Aluminio | Dim. Brutas: | Ø 120 x 35 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 03/03/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 05/03/2015 | |
| POLEA | Escala: 1: 1 | Código: | 10.2015.110631/00.01 | Tol. Gral: ± 0.2 | |

CORTE A-A



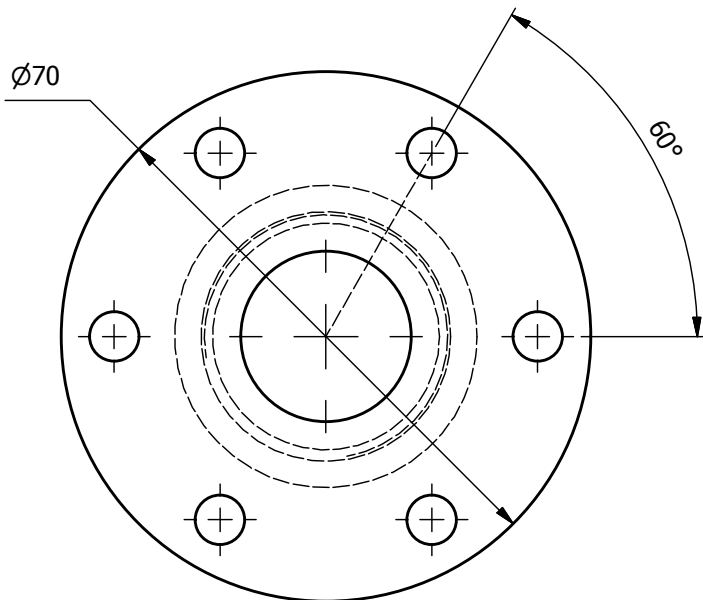
| 19 | Cuerpo Extrusora | 1 | 00.10 | Madera | 445 x254 x 216 | N/A |
|--------------------------------|---------------------------------|------|---------|------------------|---------------------------------|------------------|
| 18 | Boquilla | 1 | 00.09 | Bronce Fosforico | Ø 45 x 40 | N/A |
| 17 | Resistencia Eléctrica | 1 | N/A | Ceramica | Ø 40 x 50 | Normalizado |
| 16 | Cuerpo Tornillo | 1 | 00.08 | AISI - 1045 | Ø 75 x 125 | N/A |
| 15 | Aislante | 1 | 00.06 | Fibra de Vidrio | Ø 75 x 15 | N/A |
| 14 | Soporte Central | 1 | 00.07 | Madera | 125 x 105 x 35 | N/A |
| 13 | Tuerca | 8 | DIN 934 | AISI - 1045 | M6 | Normalizado |
| 12 | Perno Allen | 7 | DIN 912 | AISI - 1045 | M6 x 25 | Normalizado |
| 11 | Perno Hexagonal | 4 | DIN 912 | AISI - 1045 | M6 | Normalizado |
| 10 | Motor | 1 | N/E | N/E | 243V / 100 Watt | Normalizado |
| 9 | Arandela Plana | 4 | DIN 125 | AISI - 1045 | Ø22 x 216 | N/A |
| 8 | Soporte Frontal Extrusora | 1 | 00.05 | AISI-1045 | 120x 100 x 12.7 | N/A |
| 7 | Soporte Posterior Extrusora | 1 | 00.04 | Madera | 120x 100 x 12.7 | N/A |
| 6 | Soporte del Motor | 1 | 00.03 | AISI- 1045 | 132 x 85 x 12.7 | N/A |
| 5 | Unión Tornillo Motor | 1 | 00.02 | AISI -1045 | Ø 25 x 40 | N/A |
| 4 | Tornillo | 1 | 00.01 | AISI -1045 | Ø 45 x 40 | N/A |
| 3 | Interruptor Encendido del Motor | 1 | N/E | N/E | N/E | Normalizado |
| 2 | Interruptor Control Temperatura | 1 | N/E | N/E | N/E | Normalizado |
| 1 | Controlador de Temperatura | 1 | N/E | N/E | N/E | Normalizado |
| Ref | Nombre | Cant | Norma | Material | Dim Brutas | Observacion |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | UPS | Diseño: Freddy Gualoto | 15/11/2014 |
| | | | | | Dibujó: Freddy Gualoto | 25/02/2015 |
| | | | | | Revisó: Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 |
| EXTRUSORA | | | | Escala: 1 : 2.5 | Código: 10.2015.110361.00.00 | Tol. Gral: ± 0,5 |

N7

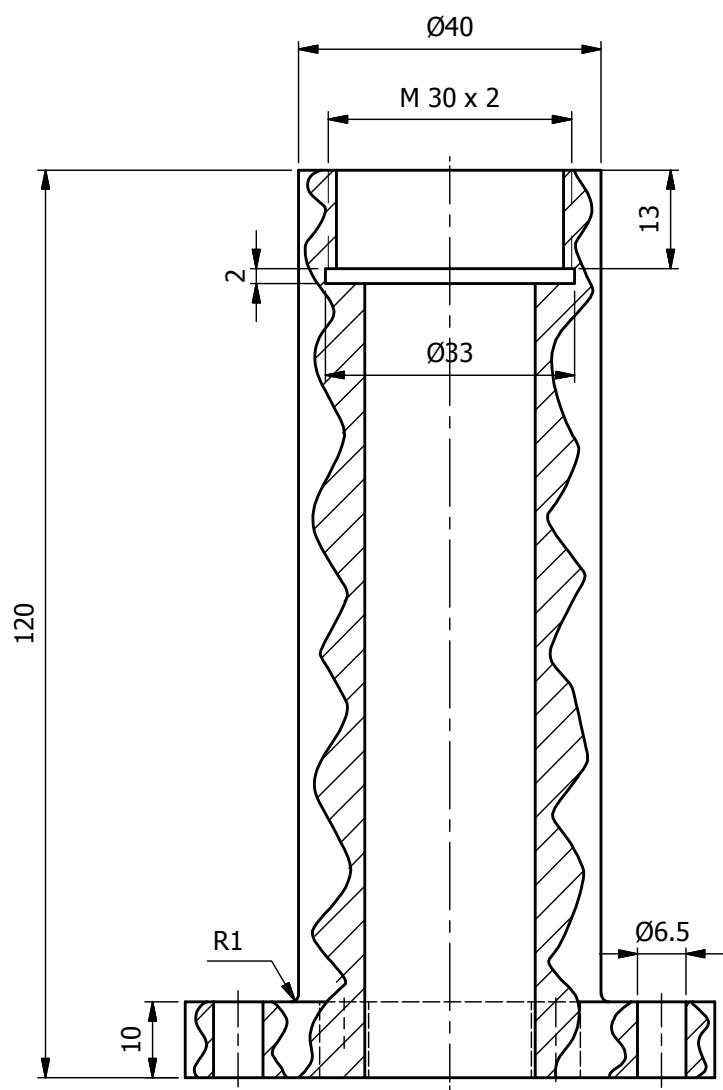


Chaflán 1 x 45°

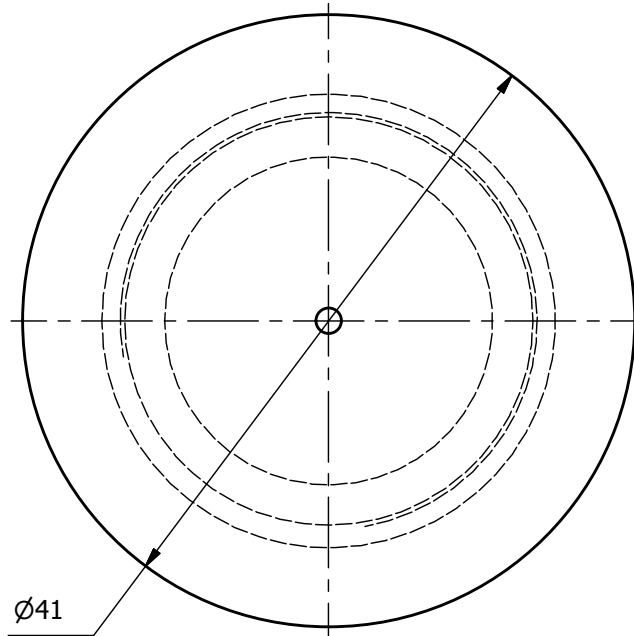
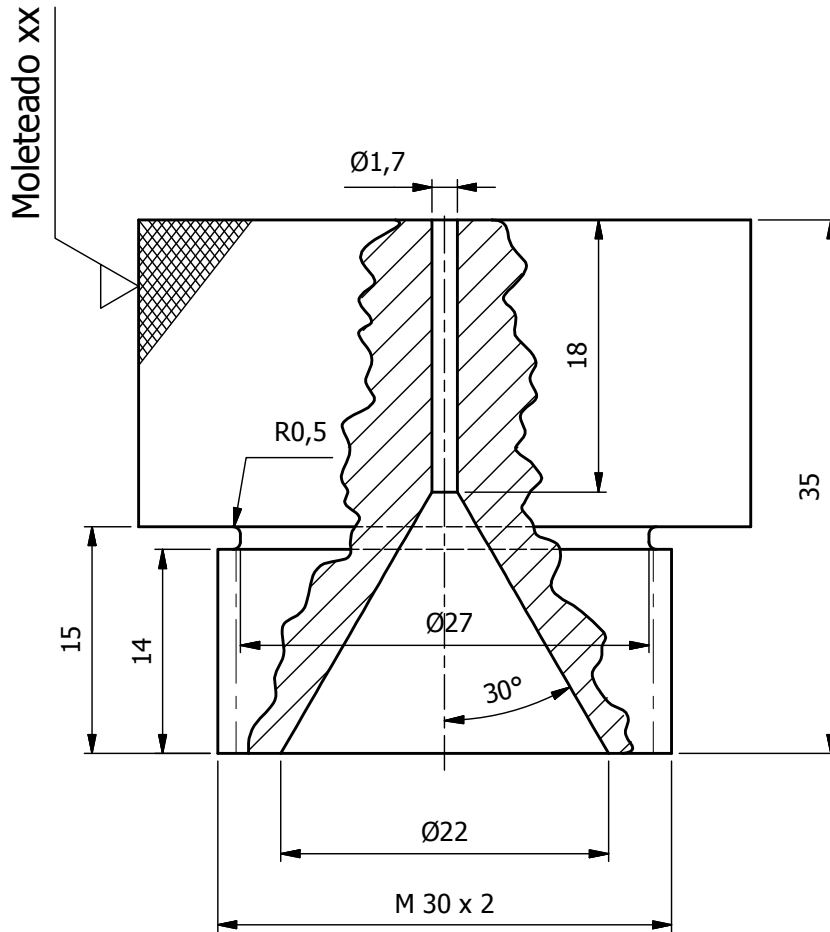
| | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|
| Tratamiento Térmico: | Templado Y Revenido | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | $\varnothing 22 \times 218$ |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 13/11/2014 |
| | | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 17/02/2015 |
| TORNILLO | | Escala: 1 : 1 | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 |
| | | | Código: | 10.2015.110631/00.01 | Tol. Gral: ± 0.1 |



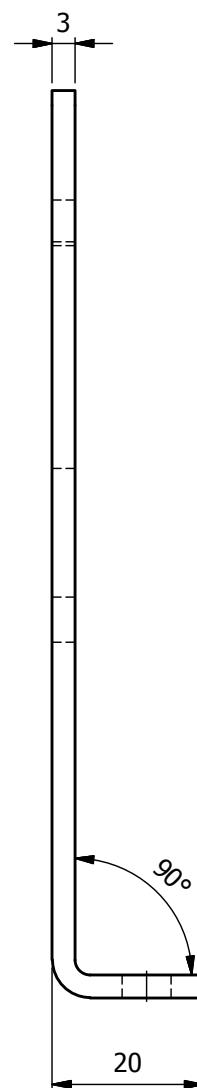
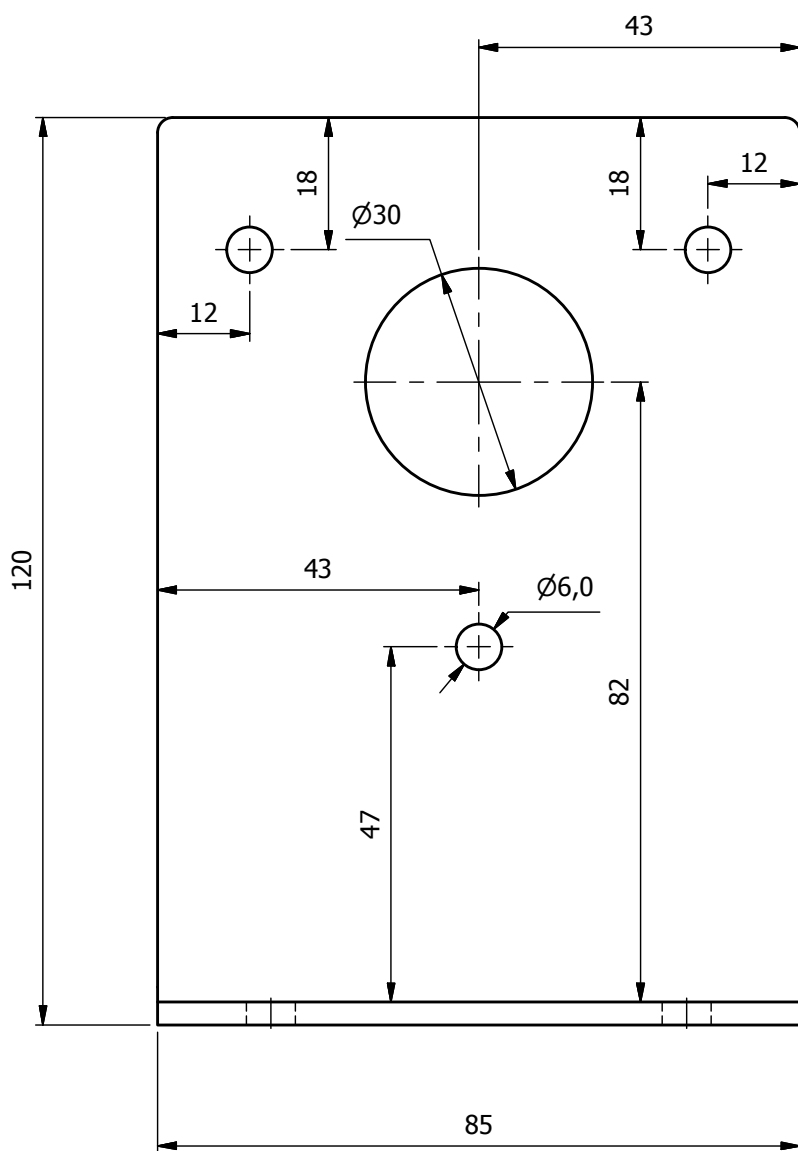
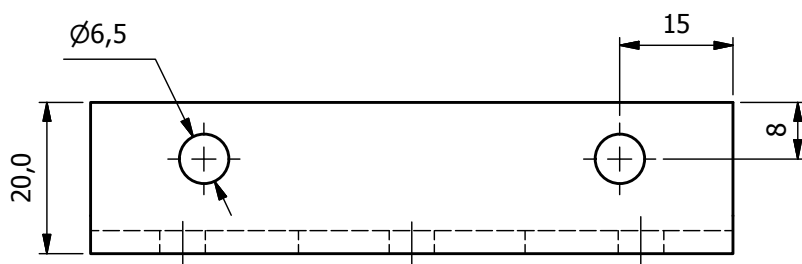
N7



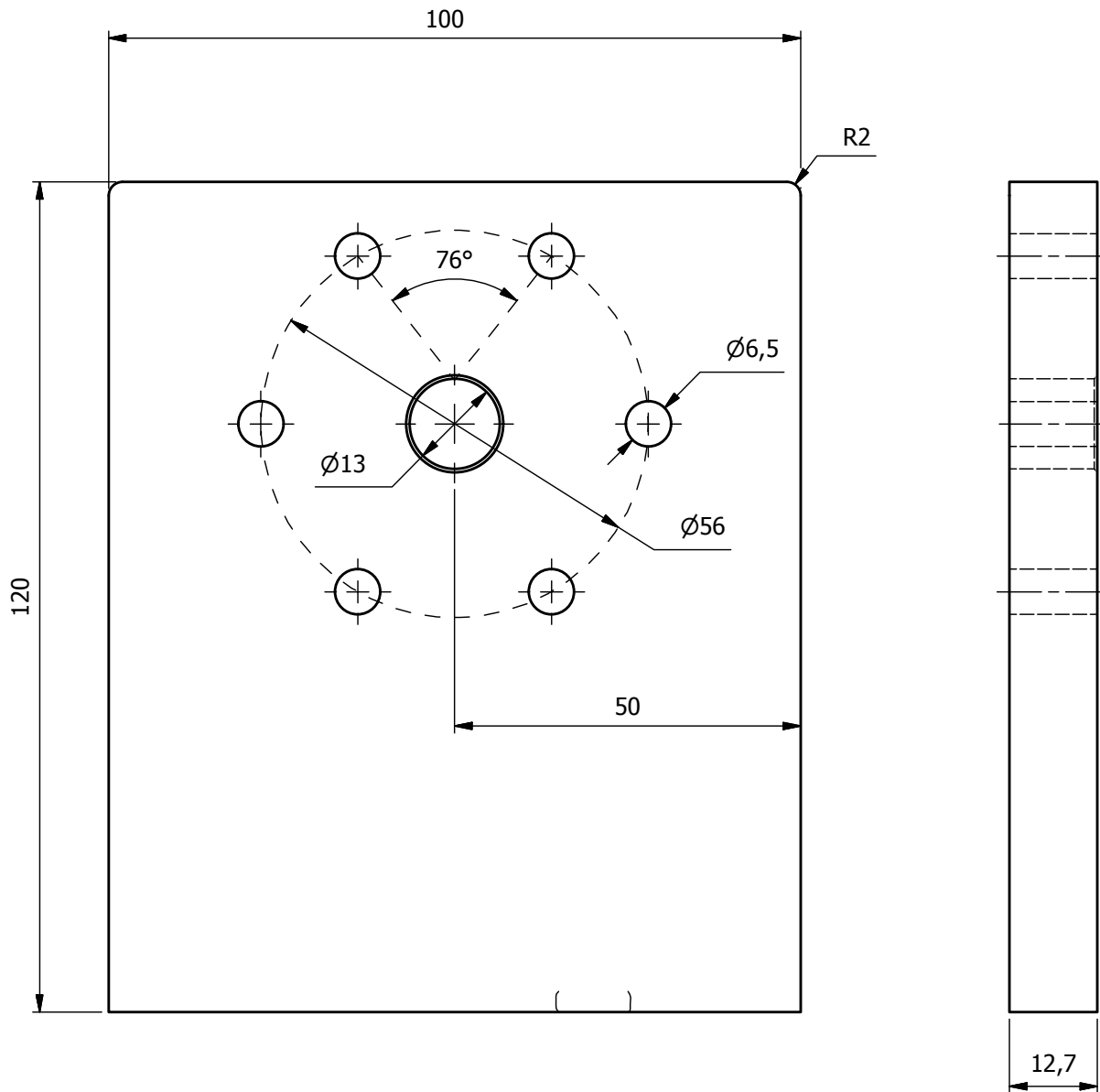
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | Ø 75 X 125 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 16/02/2015 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 17/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| CUERPO TORNILLO | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.08 | Tol. Gral: | ± 0.1 |



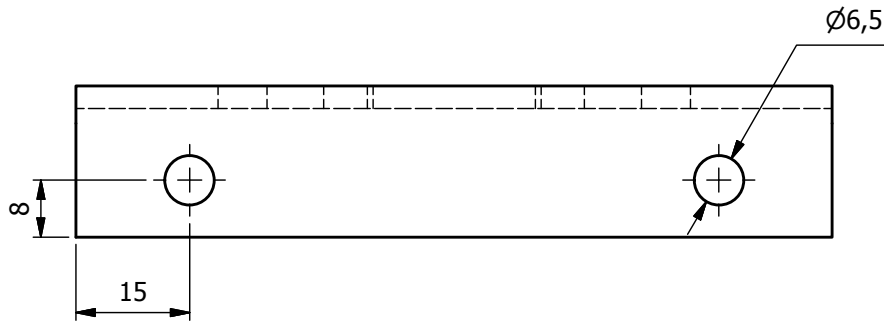
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|-----------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Bronce Fosforico | Dim. Brutas: | Ø 42 x 38 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 14/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 17/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 18/02/2015 | |
| BOQUILLA | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.9 | Tol. Gral: | ± 0.1 |



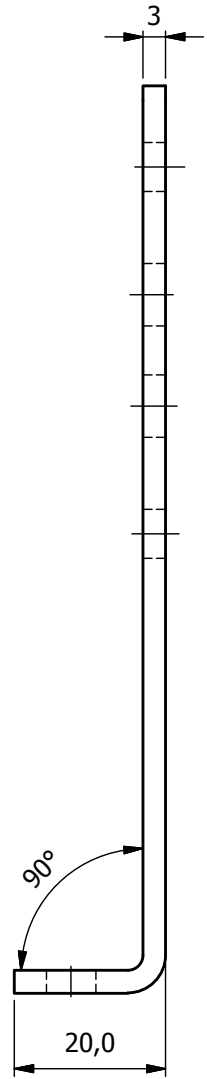
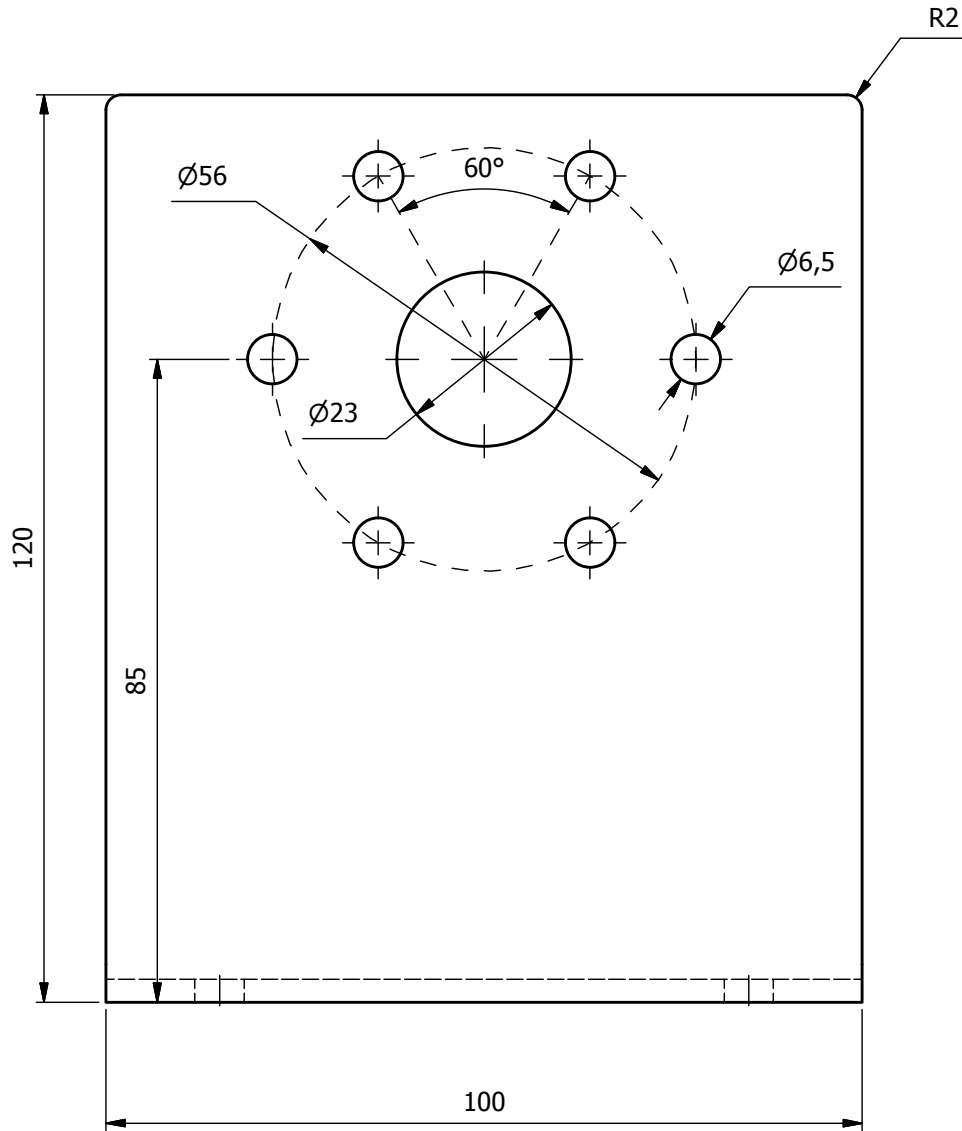
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI -1045 | Dim. Brutas: | 132 X 85 X 12.7 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 24/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 | |
| SOPORTE DEL MOTOR | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.03 | Tol. Gral: ± 1 | |



| | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|------------------------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Madera | Dim. Brutas: 125 X 75 X 3 |
| Recubrimiento: | N/A | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 24/02/2015 |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 |
| SOPORTE POSTERIOR ESTRUSORA | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.04 | Tol. Gral: ± 1 |

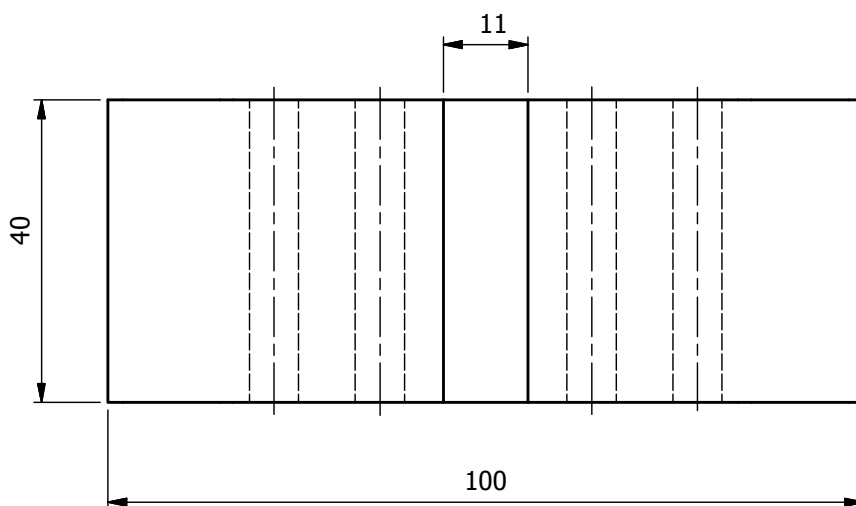
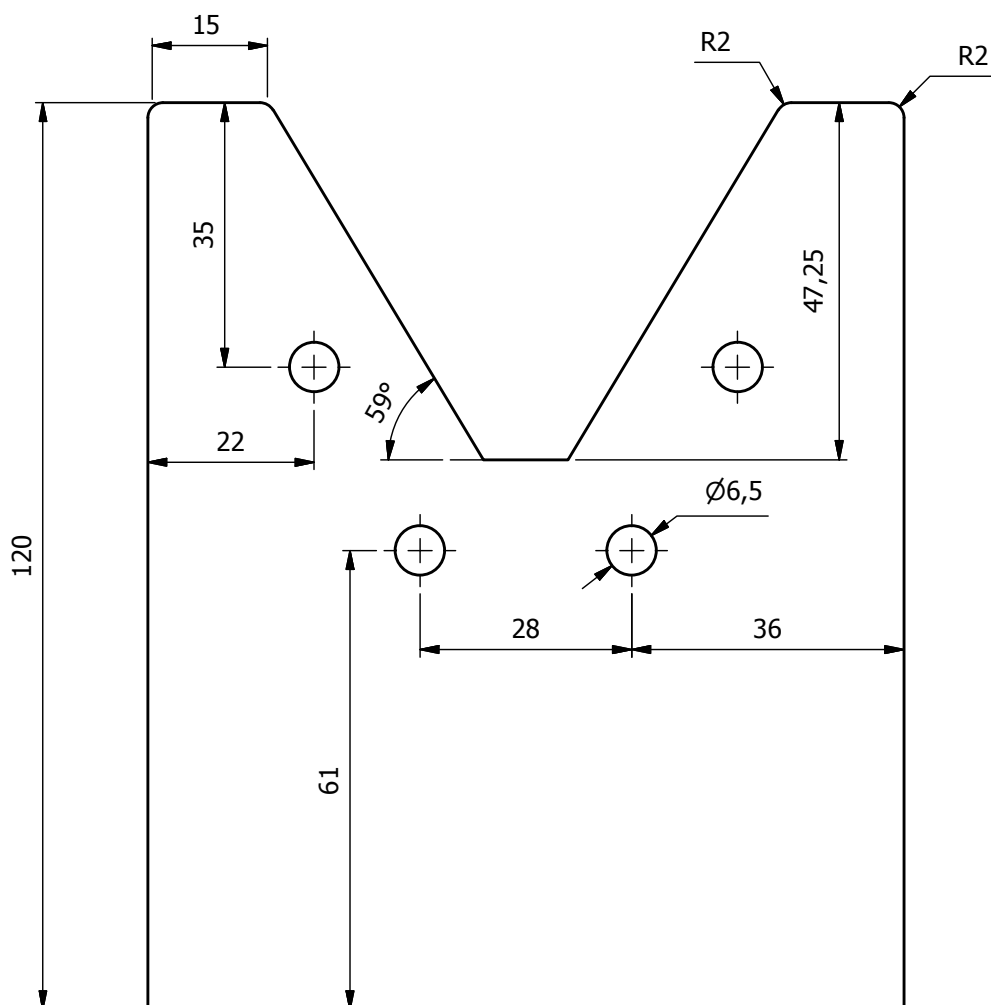


N7



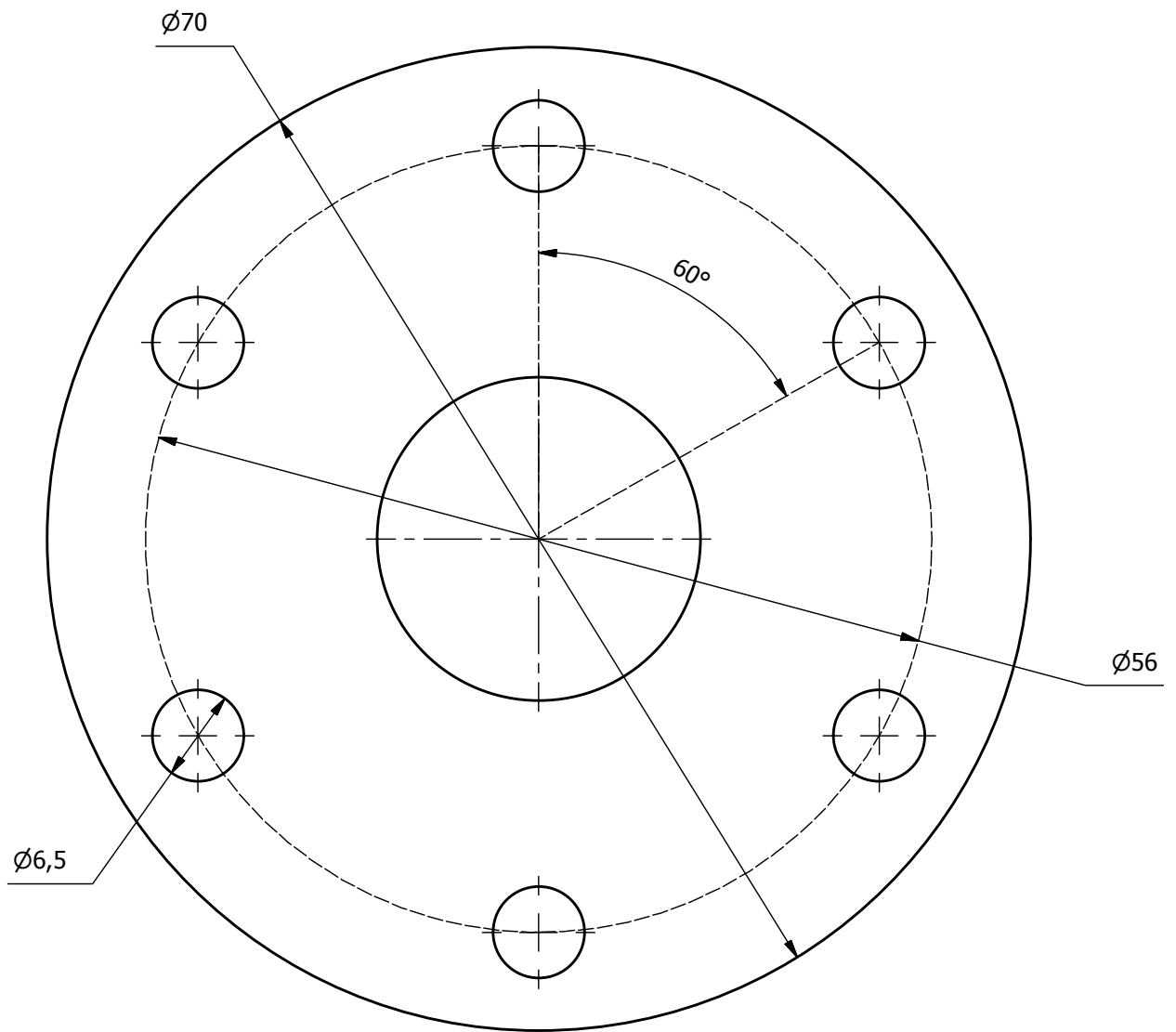
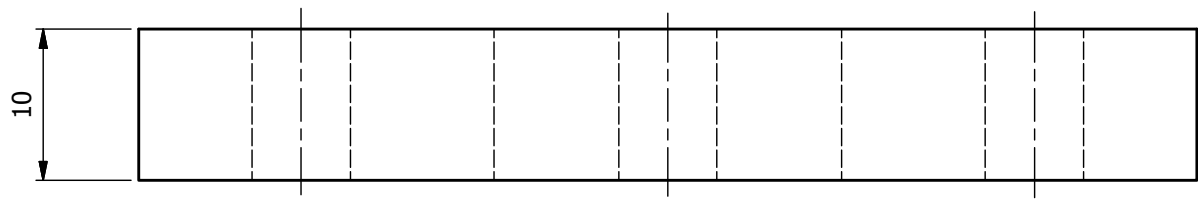
| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|--------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | AISI - 1045 | Dim. Brutas: | 125 X 75 X 3 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 14/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 26/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 | |
| SOPORTE FRONTAL EXTRUSORA | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.05 | Tol. Gral: | ± 1 |

N10

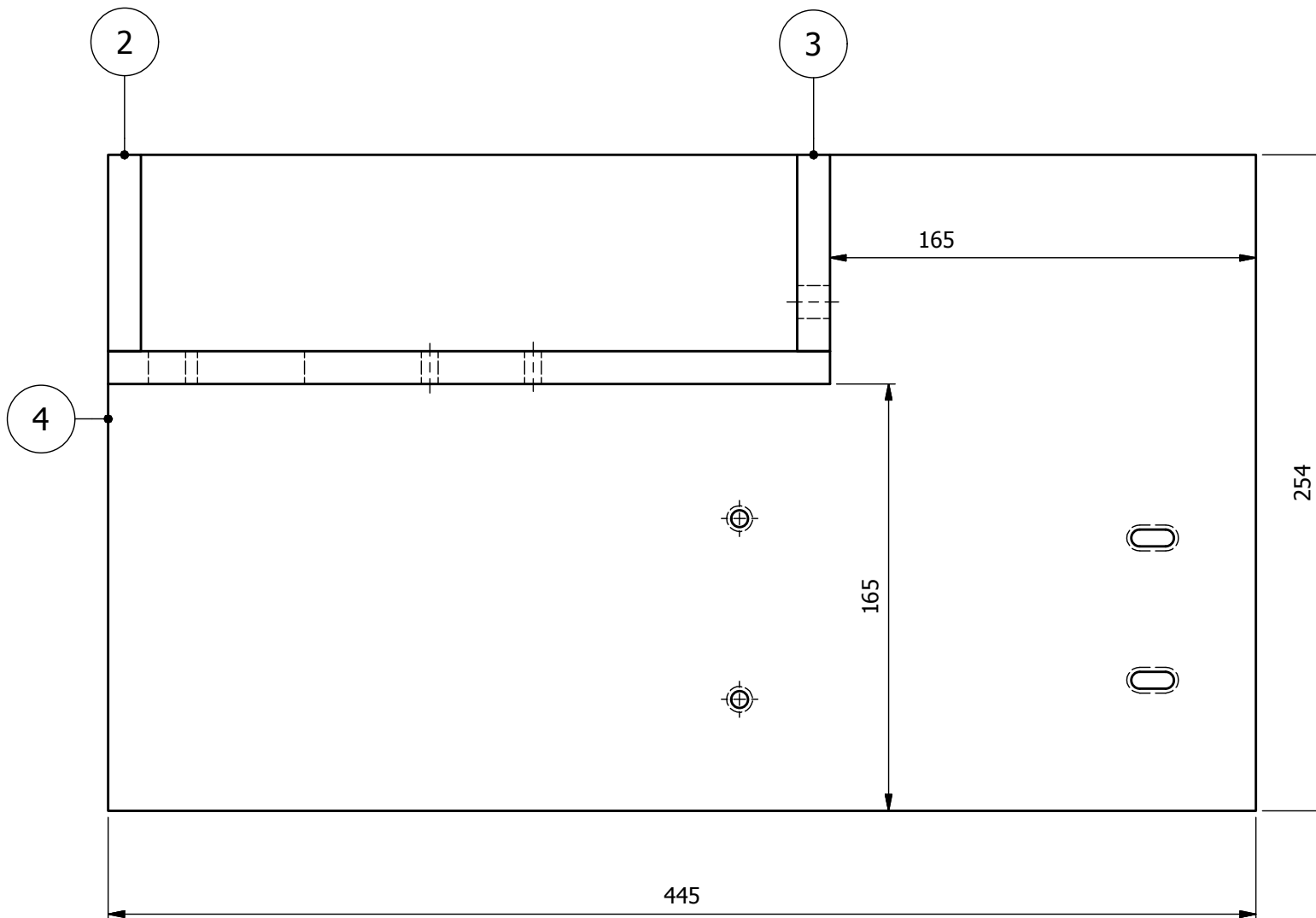
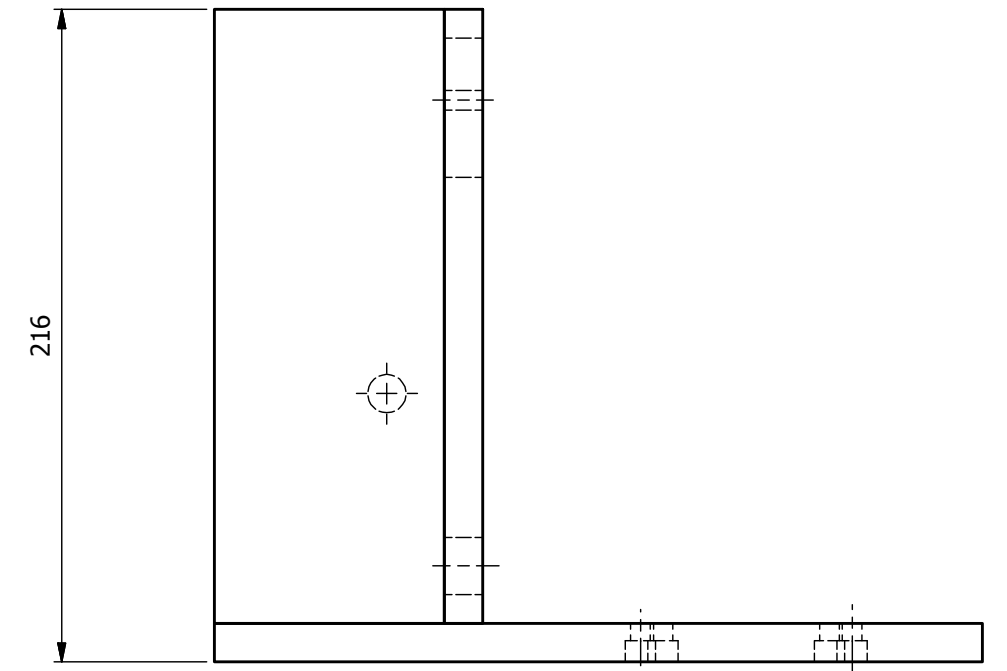
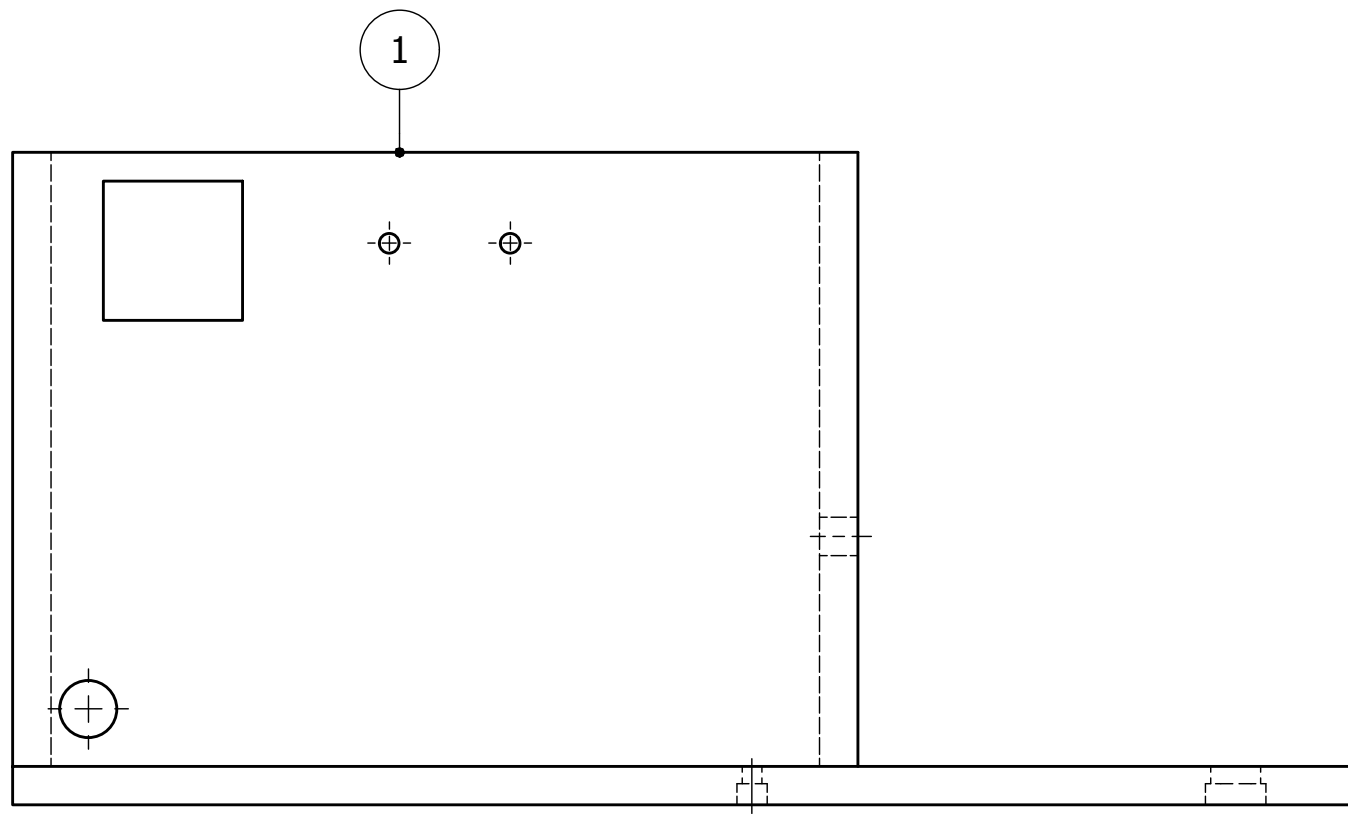


| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|--------------|----------------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Madera | Dim. Brutas: | 125 x 105 x 35 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseñó: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 25/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 | |
| SOPORTE CENTRAL EXTRUSORA | Escala: 1 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.06 | Tol. Gral: | ± 1 |

N7



| | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Tratamiento Térmico: | N/A | Material: | Fibra de Vidrio | Dim. Brutas: | Ø 75 x 15 |
| Recubrimiento: | N/A | | | | |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 | |
| | | Dibujó: | Freddy Gualoto | 25/02/2015 | |
| | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 | |
| AISLANTE | Escala: 2 : 1 | Código: | 10.2015.110631/00.08 | Tol. Gral: ± 0.2 | |



| 4 | Base Extrusora | 1 | 00.10.04 | Madera | 445x 254 x 12.7 | N/A |
|--------------------------------|--------------------------|------|--------------------|----------|-------------------------|-------------------|
| 3 | Lateral Izquiero Tablero | 1 | 00.10.03 | Madera | 203x76x12.7 | N/A |
| 2 | Lateral Derecho Tablero | 1 | 00.10.02 | Madera | 203x76x12.7 | N/A |
| 1 | Tablero Eléctrico | 1 | 00.10.01 | Madera | 275x203x12.7 | N/A |
| Ref | Nombre | Cant | Norma | Material | Dim Brutas | Observaciones |
| CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | UPS | Diseño: | Freddy Gualoto | 15/11/2014 |
| | | | | Dibujó: | Freddy Gualoto | |
| | | | | Revisó: | Ing Patricio Quitiaquez | 27/02/2015 |
| CUERPO EXTRUSORA | | | Escala: 1 : 2.5 | Código: | 10.2015.110631.00.10 | Tol. Gral: ± 1 |