

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CABEZAL EXTRUSOR DE FILAMENTO  
ABS PARA PROTOTIPADO RÁPIDO

JHON ESTEBAN LOPEZ  
ALDEMAR JARAMILLO CEBALLOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2015

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CABEZAL EXTRUSOR DE FILAMENTO  
ABS PARA PROTOTIPADO RÁPIDO

JHON ESTEBAN LOPEZ  
ALDEMAR JARAMILLO CEBALLOS

Proyecto de grado  
Para optar al título de  
Tecnólogo Mecánico

Director:  
Ing. RICARDO ACOSTA ACOSTA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2015

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director del programa

---

Firma del director del proyecto

---

Firma del jurado

*Inicialmente queremos agradecer a nuestras familias por depositar en nosotros todo su amor, confianza y fortalezas para afrontar todas las dificultades que se cruzan en el camino y por brindarnos la oportunidad de seguir afianzando nuestros conocimientos.*

*Les extendemos un sincero agradecimiento a todos los profesores del programa de Tecnología Mecánica por su gran acompañamiento en la formación académica y personal a lo largo de toda la carrera.*

*Al director Ricardo Acosta Acosta un inmenso agradecimiento por sus explicaciones que en todo momento fueron de vital importancia para realizar este trabajo.*

*Por último, un agradecimiento a todos los compañeros que compartieron y aportaron su granito para que esto fuera posible*

## GLOSARIO

**ABS:** Acrilonitrilo Butadieno Estireno (Acrylonitrile Butadiene Styren) Es un termoplástico usado como material para impresión 3D. El término se usa a menudo como la forma abreviada ABS para referirse al filamento hecho de ABS.

**BOQUILLA DEL EXTRUSOR:** abertura situada en el extremo del Extrusor inteligente, por la que sale el filamento de ABS caliente para aplicarlo sobre la placa de impresión.

**CAD:** Diseño Asistido por Computadora (Computer-Aided Design) software para modelado en 2D y 3D.

**EXTREMO CALIENTE:** Las partes del extrusor que se calientan lo suficiente como para fundir el plástico o, potencialmente, otros materiales. Las piezas del extremo caliente utilizan materiales que pueden soportar temperaturas de hasta 240°C (para la extrusión de termoplástico común). El extremo caliente normalmente se refiere a la punta del extrusor ya que es el punto que está más caliente.

**EXTRUIR:** La acción de fijar el material de fabricación sobre la plataforma de construcción, normalmente por calentamiento del termoplástico hasta el estado líquido y de expulsarlo a través de una pequeña boquilla.

**EXTRUSOR:** Grupo de piezas que se encargan de alimentar y extruir el material de fabricación. Consiste de dos ensamblados: un extremo frío que hala y alimenta el termoplástico desde el rollo y un extremo caliente que funde y extruye el termoplástico.

**FDM:** Fabricación o Modelado por Deposición Fundida (Fused Deposition Modeling). Igual que Fabricación por Filamento Fundido.

**FILAMENTO:** Dos usos: a) material plástico convertido en hilos (a menudo de 3 mm) que se usan como materia prima en las impresoras 3D; b) material plástico extruido (a menudo < 1 mm).

**MOTOR DE PASO:** Motor que funciona por incrementos discretos de rotación. Este es el tipo de motor más usado en impresoras 3D de bajo costo.

**PLATAFORMA CALIENTE:** Una superficie de trabajo que se calienta para evitar que la base de una pieza extruida se enfríe (y por lo tanto se encoja) demasiado rápido. El encogimiento produce tensiones internas en las piezas impresas.

**STL (STereoLitografía):** Un formato de archivo o extensión recomendado para describir objetos 3D. Un programa de diseño (CAD) puede generar un archivo STL que luego puede ser enviado a una impresora 3D o a un programa para renderizar gráficos 3D.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	12
1. DISEÑO DEL CABEZAL EXTRUSOR .....	13
1.1. FILAMENTO ABS .....	14
1.2. MECANISMO DE ALIMENTACION DEL FILAMENTO .....	15
1.3. MOTOR PASÓ A PASO .....	16
2.3.1 Secuencia de rotación en un motor bipolar.....	17
2.3.2 Control de las bobinas.. .....	18
2.3.3 Velocidad de rotación. ....	18
2.3.4 Dimensiones motor paso a paso .....	19
1.4. POLEA Y PIÑÓN .....	19
2.4.1. Polea.].....	20
2.4.2. Piñón.....	21
1.5. RESORTE .....	21
1.6. RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	22
2.6.1. Calor en la resistencia eléctrica.. .....	23
1.7. TERMOPARES O TERMOCUPLAS .....	24
1.8. CONTROLADOR.....	26
2.8.1. Función del controlador en el extrusor.....	26
2.8.2. Programación del controlador.....	27
1.9. RELE .....	28
2.9.1. Salidas del relé.: .....	28
2. CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	29
2.1. DIFERENCIA ENTRE CALOR Y TEMPERATURA .....	29
2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR .....	31
2.2.1. Formas de transferencia de calor.. .....	31
2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA SUPERFICIE DE LA BOQUILLA .....	32
3. PUESTA A PUNTO DEL CABEZAL EXTRUSOR .....	39
3.1. PRUEBAS DE FUSION CON LA RESISTENCIAS.....	39
3.2. INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES A LA MÁQUINA CNC Y PUESTA A PUNTO .....	40
3.2.1. Integración del software al funcionamiento de la CNC.. .....	41

3.2.2. Sujeción del cabezal extrusor a la maquina CNC.....	44
3.2.3. Pruebas de funcionamiento en conjunto.....	44
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	46
4.1. Análisis dimensional de la pieza impresa.....	46
5. CONCLUSIONES.....	48
6. RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXO A.....	52
ANEXO B.....	544
ANEXO C.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cabezal extrusor.....	14
Figura 2. Motor paso a paso .....	17
Figura 3. Movimiento de un motor a través de un puente H .....	19
Figura 4. Planos del motor paso a paso .....	20
Figura 5. Polea y piñón .....	21
Figura 7. Comportamiento resistencias eléctrica .....	24
Figura 8. Partes de una termocupla.....	25
Figura 9. Símbolo del termopar.....	26
Figura 10. Esquema Controlador .....	28
Figura 11. Prueba y Error programación controlador.....	28
Figura 12. Puntos a analizar de la boquilla .....	34
Figura 13. Prueba de fusión con la resistencia .....	40
Figura 14. Acrílico en L .....	41
Figura 15. Maleta Controladora .....	42
Figura 16. GeneracionCodigo .....	43
Figura 17. Código G y M.....	43
Figura 18. Configuración de movimiento en los 4 ejes .....	44
Figura 19. Cabezal extrusor ya implementado.....	45
Figura 20. Conexión en paralelo .....	46
Figura 21. Pruebas de fusión .....	46
Figura 22. Esquemas de cotas a comparar .....	45
Figura 23. Pieza Real .....	46



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Orden de fases motor bipolar.....	18
Tabla 2. Coeficientes de seebeck y tensiones de salida para los termopares utilizados con mayor habitualidad .....	26
Tabla 3. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 1.....	37
Tabla 4. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 2.....	38
Tabla 5. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 3.....	38
Tabla 6. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 4.....	38
Tabla 7. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 5.....	39
Tabla 9. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 6.....	39
Tabla 8. Diferencias entre el isométrico en CAD y la pieza real 1 .....	46
Tabla 5. Diferencias entre el isometrico en CAD y la pieza real 2 .....	48

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Velocidad de rotacion motor paso a paso. ....	18
Ecuación 2. Ley de Hooke .....	22
Ecuación 3. Jb Fourier .....	32
Ecuación 4. Despeje de la ecuación 3 .....	33
Ecuación 5. Imedancia.....	34
Ecuación 6. Resistencia términca de una material .....	34
Ecuación 7. Ecuación J Fourier .....	36

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Rangos del controlador de temperatura.....	53
Anexo B. Rangos del controlador de los motores.....	54
Anexo C. Planos de los principales componentes del cabezal extrusor.....	55

## INTRODUCCIÓN

Los objetivos de este proyecto fueron desarrollar e implementar un cabezal extrusor a una máquina CNC con control basado en PC. Es la continuación de varios proyectos realizados en el área de Control Numérico Computarizado, los cuales iniciaron con la conversión de un torno paralelo manual a tecnología CNC, luego el desarrollo de una Fresadora CNC didáctica y ahora la implementación de una extrusora sobre la CNC didáctica para convertirla en una impresora de prototipado rápido.

Existen varias técnicas de prototipado rápido, algunas de ellas más costosas que otras en adquisición y operación. Este proyecto analizó e implementó una extrusora de filamento ABS a una máquina CNC didáctica, logrando así desarrollar una herramienta de bajo costo de operación, en la que los estudiantes pueden interactuar y llevar a cabo prácticas de las asignaturas pertenecientes al área de Manufactura y Diseño.

Este proyecto inició con la readecuación de la parte mecánica de la máquina CNC, en la que se implementaron elementos mecánicos de mayor precisión, como lo son el tornillo de bolas recirculantes y los rodamientos lineales (Tipo araña) para los ejes X, Y y Z. Posteriormente se adquirió una extrusora de filamento ABS comercial, en donde se le aplicó ingeniería inversa y se verificó sobre la boquilla las temperaturas necesarias para alcanzar la extrusión del material ABS.

Se realizó la integración con el software Mach3 y la parte de control, donde se usó un Gecko drive 540 de 4 ejes (Anexo B) y en el cual la extrusión del material se realizó por control del 4to eje de la máquina o eje A. El control de temperatura se realizó con una controladora Omron K3TL-TA11-C, una resistencia y una termocupla, encargados de mantener la temperatura en la boquilla entre 230°C y 260°C.

Por último, se realizó las impresiones de algunas piezas modeladas en un programa CAD y se compararon las medidas con el modelo CAD, el cual fue tomado como patrón.

## 1. DISEÑO DEL CABEZAL EXTRUSOR

El cabezal extrusor es un conjunto de elementos (Anexo C) que se encargan de la fundición de un material. Un filamento plástico es desplazado hasta el cabezal, es en este donde el material plástico se calienta por encima de su temperatura de fusión hasta el punto que fluya y es depositado por capas. El cabezal se puede mover en horizontal y vertical mediante un mecanismo de control numérico.

Figura 1. Cabezal extrusor



[Fuente: autores]

Para poder diseñar un cabezal de extrusión que cumpla con los objetivos propuestos en este proyecto, es necesario primar las características del material que se va a extruir. Siendo el plástico ABS el material determinado, es entonces conveniente usar una tecnología de modelado por deposición fundida (Fused deposition modeling: FDM) para la creación rápida de prototipos tradicionales.

El modelado por deposición fundida (MDF) es un proceso de fabricación utilizado para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala. Este modelado

utiliza una técnica aditiva, depositando el material en capas, para conformar la pieza. Un filamento plástico o metálico que inicialmente se almacena en rollos, es introducido en una boquilla. La boquilla se encuentra por encima de la temperatura de fusión del material y puede desplazarse en tres ejes controlada por un software. El porta herramienta normalmente lo mueven motores a pasos o servomotores. La pieza es construida con finos hilos del material que se solidifican inmediatamente después de salir de la boquilla.

El modelado por deposición fundida comienza con un proceso de software, el cual es orientado para poder ser impreso, dividido en capas y se calculan las trayectorias que la boquilla deberá seguir para depositar el material, capa a capa, para conformar la pieza. Si son necesarias, se pueden generar estructuras de soporte que, si la máquina es capaz, imprimirá en otro material que tras finalizar la creación de la pieza, será retirado [1].

El material ABS es fundido y depositado por la boquilla en capas del grosor requerido (capas más finas implican mejor calidad en la pieza final) una a una. Las capas se depositan de abajo hacia arriba.

A pesar de que el modelado por deposición fundida es una tecnología muy flexible, y es capaz de realizar piezas muy diversas, existen algunas restricciones sobre las características de lo que se puede fabricar con esta técnica, especialmente en lo referente a la pendiente de los voladizos. El costo por kilogramo de este material oscila entre los 30 y 40 dólares americanos, lo que refleja una diferencia de por lo menos 10 a 1 en costos de operación a favor de la técnica FDM comparándola con otras tecnologías de prototipado.

### **1.1. FILAMENTO ABS**

Varios polímeros se pueden utilizar para la deposición por extrusión, incluyendo el terpolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), ácido poliláctico (PLA), PC/ABS, y polifenilsulfona (PPSU).

Para este proyecto se ha escogido convenientemente el ABS, ya que este se usa extensivamente en los procesos de fabricación actuales: piezas de Lego, carcasas de electrodomésticos, componentes de automóvil, etc. además de ser un plástico

muy resistente al impacto. Al tener un punto de fusión alto, se puede utilizar para fabricar contenedores de líquidos calientes, la temperatura para su extrusión varía entre 230 y 260 grados Celsius [2].

El termoplástico ABS tienen una característica de resistividad ante deformaciones, pues a este se le pueden aplicar procesos de pulido, lijado, limado, mecanizado, pintura, etc. e incluso se resalta su flexibilidad cuando se aguajera y no se daña. Todo esto hace que sea el material perfecto para aplicaciones industriales y para las aplicaciones de este proyecto.

La desventaja que se encontró al usar este material, es que en su punto de fusión el ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivos para la salud. Es por tanto que este polímero se puede utilizar sin problemas en casa o en la oficina, pero para evitar las concentraciones altas no se recomienda tener varias impresoras funcionando en un espacio pequeño y sin ventilar.

## **1.2. MECANISMO DE ALIMENTACION DEL FILAMENTO**

El mecanismo de alimentación (cabezal extrusor), cumple la función de hacer avanzar un filamento ABS hacia una boquilla de extrusión, la boquilla se alimenta con un filamento de un tamaño de 1.75mm; que es calentado a una temperatura superior a la de fusión del material termoplástico. La boquilla queda montada en una plataforma mecánica, utilizando un mecanismo compuesto por una polea y un piñón acoplado al motor paso a paso bipolar.

A medida que la boquilla se desplaza por la mesa de acuerdo con la geometría adecuada, deposita una fina capa de plástico extruido para formar cada capa. El plástico se endurece inmediatamente después de salir expulsado de la boquilla y se adhiere a la capa de abajo.

En este mecanismo de alimentación también hacen parte una resistencia (esta es la encargada de llevar el filamento a su punto de fusión), y una termocupla encargada de controlar la temperatura de fusión. Todos estos en conjunto componen el cabezal extrusor los cuales serán explicados uno a uno a en los siguientes subcapítulos.

### 1.3. MOTOR PASÓ A PASO

Típicamente, se utilizan motores paso a paso o servo motores para mover el cabezal de extrusión. Para este estudio, el movimiento del filamento se realiza por medio de un motor paso a paso (figura 2) el cual permite movimientos muy precisos. Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que transforma una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que tiene la capacidad de avanzar una serie de grados o pasos dependiendo de las entradas de control.

El principio de operación de los motores paso a paso consiste en los componentes que tienen el estator que es la parte fija y el rotor que es la parte móvil. El estator está construido con una serie de cavidades donde se colocan las bobinas, cuando la energía pasa por cada una de las bobinas se forman los polos norte y sur (positivo y negativo) necesarios para impulsar el motor, y el rotor puede basarse en un imán o en un inducido ferromagnético con el mismo número de polos que tiene cada bobina del estator, esto está montado en un eje que está apoyado en dos rodamientos que le permiten girar libremente, Cuando se energizan las bobinas adecuadamente se obtienen los movimientos que caracterizan a los motores paso a paso [3].

Figura 2. Motor paso a paso



Fuente. [Autores]



La característica principal de los motores paso a paso es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° [4].

El motor paso a paso del cabezal extrusor es un motor bipolar controlado por un driver para motores llamado G540 4-AXIS DRIVE (Ver: Anexo B).

**2.3.1 Secuencia de rotación en un motor bipolar.** En este apartado se detalla la variación de la dirección del campo magnético creado en el estator y se muestra el producido por parte del rotor de imán permanente, el cual intentará alinearse con el campo magnético inducido por las bobinas que excitan los electroimanes (en este caso A y B). Vcc es la alimentación de corriente continua.

Tabla 1. Orden de fases motor bipolar

Paso	Terminal 1 Bobina A	Terminal 2 Bobina A	Terminal 1 Bobina B	Terminal 2 Bobina B	Imagen
Paso 1	+Vcc	-Vcc			
(Semi-)Paso 2	+Vcc	-Vcc	+Vcc	-Vcc	
Paso 3			+Vcc	-Vcc	
(Semi-)Paso 4	-Vcc	+Vcc	+Vcc	-Vcc	
Paso 5	-Vcc	+Vcc			

Fuente. [5]

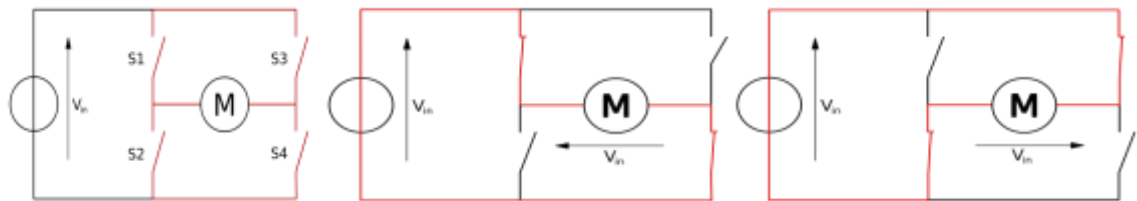
**2.3.2 Control de las bobinas.** Para el control del motor paso a paso de tipo bipolar, se establece el principio de "Puente H" (Figura 3).

Un puente en H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, *avance* y *retroceso*. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos [6].

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor.

Con esta nomenclatura, los interruptores S1 y S2 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque esto cortocircuitaría la fuente de tensión. Lo mismo sucede con S3 y S4.

Figura 3. Movimiento de un motor a través de un puente H



Fuente. [6]

**2.3.3 Velocidad de rotación.** La velocidad de rotación viene definida por la ecuación:

Ecuación 1. Velocidad de rotación

$$N = 60 * \frac{f}{n}$$

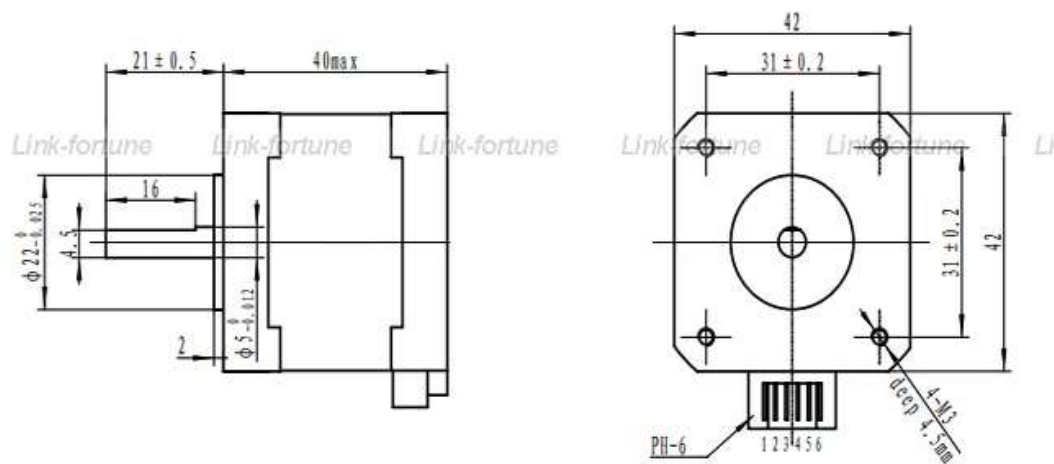
Dónde:

$f$  = Frecuencia del tren de impulsos.

$n$  = Número de polos que forman el motor.

### 2.3.4 Dimensiones motor paso a paso

Figura 4. Planos del motor paso a paso

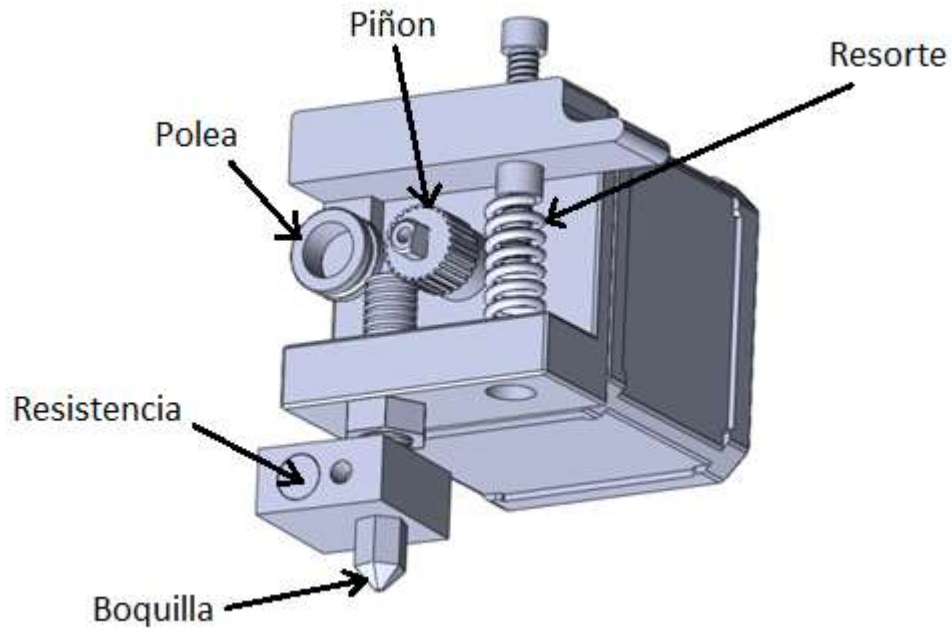


Fuente. [7]

### 1.4. POLEA Y PIÑÓN

La función de la polea y el piñón (figura 5) en la cabeza de extrusión, es direccionar y desplazar el filamento ABS hacia la boquilla. El piñón es el encargado de dar la fuerza y agarre necesario a través de sus dientes y así desplazar el filamento. La polea se encarga de presionar contra el piñón el filamento y darle la dirección correcta.

Figura 5. Polea y piñón



Fuente. autores

Cuando el motor paso a paso comienza a girar, el piñón se acopla al motor y giran a la misma velocidad, pues estos dos elementos están conectados directamente sin ningún grado de libertad (figura 5), la polea está suelta con el fin de girar libremente a medida que el piñón desplaza material.

**2.4.1. Polea.** Una polea se define como una rueda plana de metal que gira sobre su eje y sirve para transmitir movimiento en un mecanismo por medio de una correa [8].

#### TIPOS DE POLEA:

- Poleas simples
- Polea fija
- Polea móvil

- Polea compuesta
- Polipasto

**2.4.2. Piñón.** En mecánica, se denomina piñón a la rueda de un mecanismo de cremallera o a la rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas, ya sea en una directa por engranaje o indirecta a través de una cadena de transmisión o una correa de transmisión dentada. También se denomina piñón tensor a la rueda dentada destinada a tensar una cadena o una correa dentada de una transmisión. Cuando la(s) rueda dentada(s) es (son) más grande(s) se le(s) llama "corona" o "plato" o "estrella" o "sprocket" o "engrane" dependiendo del caso.

En una etapa de engranaje, la rueda más grande se denomina corona, mientras que en una transmisión por cadena como la de una bicicleta o motocicleta además de corona a la rueda mayor se le puede denominar plato, estrella o sprocket. En un tren de engranajes de varias etapas, la corona de una etapa gira solidariamente con el piñón de la etapa consecutiva.

En las transmisiones por cadena y por correa, un piñón demasiado pequeño da lugar a mayores curvaturas en el elemento flexible de la transmisión, lo cual incrementa el desgaste y disminuye la vida útil de los elementos [9].

## 1.5. RESORTE

Se conoce como resorte a un operador elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que es sometido. Se fabrican con materiales muy diversos, tales como acero al carbono, acero inoxidable, acero al cromo-silicio, cromo-vanadio, bronce, plástico, entre otros, que presentan propiedades elásticas y con una gran diversidad de formas y dimensiones.

Tienen gran cantidad de aplicaciones, desde cables de conexión hasta disquetes, productos de uso cotidiano, herramientas especiales o suspensiones de vehículos y sillas plegables. Su propósito, con frecuencia, se adapta a las situaciones en las que se requiere aplicar una fuerza y que esta sea retornada en forma de energía. Siempre están diseñados para ofrecer resistencia o amortiguar las sollicitaciones externas.

Existen tres tipos de resorte, los de tracción, los de torsión y los de compresión. Para el acople con la extrusora se utiliza un resorte de compresión (figura 5), este mantiene cierta presión de la polea hacia el piñón. El funcionamiento para mantener una presión constante depende de la conexión de una palanca y la polea con el resorte. Al ejercer manualmente una fuerza externa en la palanca, el resorte se comprime y se separa la polea del piñón, para posteriormente introducir el filamento e interponerlo entre estos dos elementos (polea y piñón), luego al momento de suspender la fuerza externa el filamento queda comprimido por estos dos elementos y así es como se logra el desplazamiento con la ayuda del resorte [10].

En cuanto al comportamiento físico del resorte se puede analizar por medio de la ley de Hooke la energía de deformación (alargamiento) del resorte, la cual explica por razonamiento matemático que la fuerza ejercida en un resorte es proporcional a su deformación involucrando una constante K la cual depende de características dimensionales y de composición del resorte.

$$F = -kx, \quad \text{Siendo} \quad k = \frac{AE}{L} \quad \text{Ecuación 2}$$

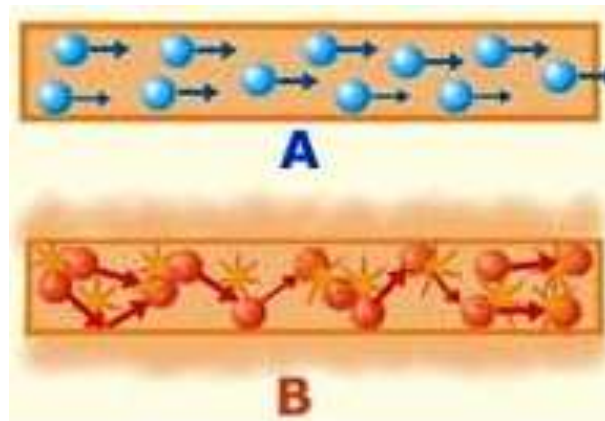
Donde, F es la fuerza ejercida sobre el resorte, A es la sección del cilindro del cual se compone el resorte, E el módulo de elasticidad del resorte (no del material) y x la elongación o alargamiento producido en el resorte [10].

## 1.6. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Se le denomina resistencia eléctrica a la igualdad de oposición que tienen los electrones al moverse a través de un conductor. La unidad de resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio, que se representa con la letra griega omega ( $\Omega$ ), en honor al físico alemán Georg Ohm, quien descubrió el principio que ahora lleva su nombre [11].

**2.6.1. Calor en la resistencia eléctrica.** Resistencia eléctrica es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica [11].

Figura 6. Comportamiento resistencias eléctrica



Fuente. [11]

**A.-** Electrones fluyendo por un buen conductor eléctrico, que ofrece baja resistencia.

**B.-** Electrones fluyendo por un mal conductor eléctrico, que ofrece alta resistencia a su paso. En ese caso los electrones chocan unos contra otros al no poder circular libremente y, como consecuencia, generan calor.

La resistencia usada en la boquilla se alimenta a 12v y tiene una potencia de 40w. Tiene forma de cilindro de 6 mm de longitud.

## 1.7. TERMOPARES O TERMOCUPLAS

La termocupla o termopar es uno de los sensores más populares para medir temperatura. Se utilizan en la industria textil para medir las temperaturas en los tejidos, también en la industria alimenticia para medir la temperatura en los procesos de fermentación.

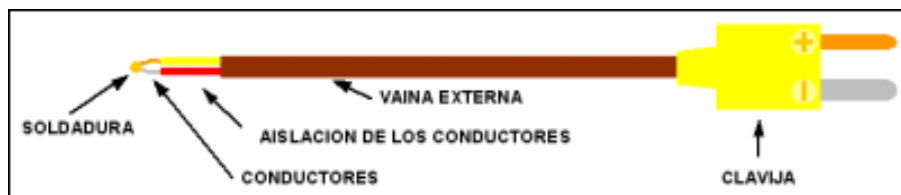
A diferencia de los otros sensores de temperatura, estos no requieren de una fuente de alimentación, ya que es auto generadora de potencia.

Las mediciones de temperatura en el campo de la instrumentación son de lo más común, sin embargo si no se emplean las técnicas o los equipos adecuados, estas mediciones pueden resultar erróneas y por ende costosas. A diferencia de los sensores de temperatura resistivos, el termopar es el sensor más usado en la industria, convierte directamente un cambio de temperatura en un cambio de tensión. Este tipo de sensor muestra buen comportamiento en un amplio rango de temperaturas, también podemos mencionar entre sus ventajas, su robustez, la relativa buena exactitud y su versatilidad de uso. El termopar tiene tiempos de respuesta del orden de milisegundos, lo cual es una ventaja desde el punto de vista de la aplicación; así mismo su montaje puede resultar relativamente sencillo.

Los termopares disponen de una salida de muy baja señal con el inconveniente del carácter no lineal de la variación de su salida respecto a la temperatura.

Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo. La aplicación de temperatura en el lugar de unión de los metales genera un voltaje muy pequeño (efecto seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura [12].

Figura 7. Partes de una termocupla

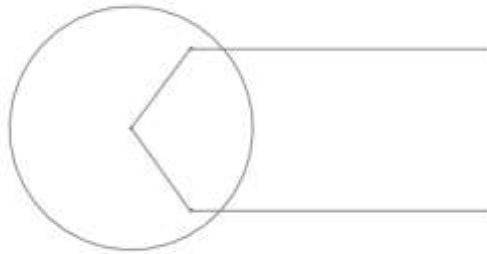


Fuente. [12]



La salida de los termistores es bastante no lineal. Por otro lado, los RTD utilizan la variación de la resistencia de ciertos materiales cuando varía la temperatura, no obstante, dicha variación es muy pequeña. Se hace necesario para cada uno de los transductores.

Figura 8. Símbolo del termopar.



Fuente. [12]

Generalmente, las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido dentro de una caja redonda de aluminio (figura 9).

Tabla 2. Coeficientes de seebeck y tensiones de salida para los termopares utilizados con mayor habitualidad

<b>Tipo de Termopar</b>	<b>A 0° C</b>	<b>A 100° C</b>	<b>Tensión de salida a 100° C</b>
B	-0.25 V/C	0.90 V/C	0.033mV
E	58.7 V/C	67.5 V/C	6.32mV
J	50.4 V/C	54.4 V/C	5.27mV
K	39.5 V/C	41.4 V/C	4.10mV
S	5.40 V/C	7.34 V/C	0.65mV

Fuente. Autores

## 1.8. CONTROLADOR

Un controlador de dispositivo o manejador de dispositivo (en inglés: device driver, o simplemente driver) es un programa informático que permite al sistema operativo interactuar con un periférico, haciendo una abstracción del hardware y proporcionando una interfaz (posiblemente estandarizada) para utilizar el dispositivo.

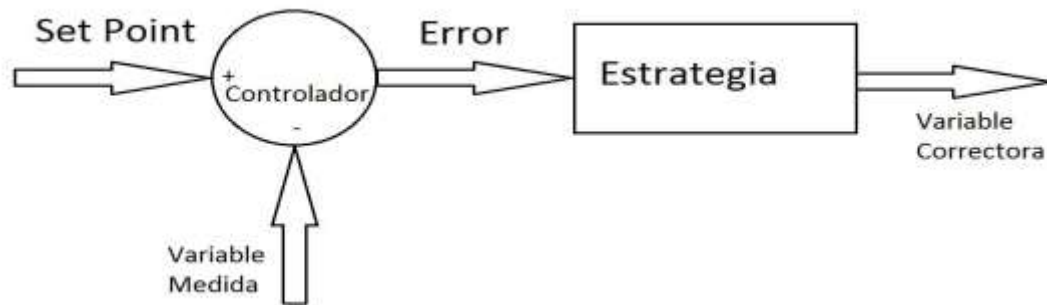
Se puede esquematizar al manejador o controlador de dispositivo como un “manual de instrucciones” que le indica cómo debe controlar y comunicarse con un dispositivo en particular.

Por tanto, es una pieza esencial del software, sin la cual el hardware sería inutilizable [14].

Para la práctica de este proyecto se utilizó un tipo de controlador: omron k3tl – ta 11 –c (Ver: Anexo A)

**2.8.1. Función del controlador en el extrusor.** El controlador realiza todo el control, respecto a la temperatura por medio de un offset, prende u apaga la resistencia con el objetivo de mantener el filamento ABS en su punto de fundición [14].

Figura 9. Esquema Controlador



Fuente. [Autores]

**2.8.2. Programación del controlador.** Luego de haber programado el controlador por medio de los Dip switches (Anexo A), se fue midiendo la temperatura en la boquilla para establecer la temperatura correcta de fusión del ABS ( $230^{\circ}\text{C}$  –  $260^{\circ}\text{C}$ ), por medio de prueba y error (figura 10) se determinó que esta temperatura es de  $300^{\circ}\text{C}$ , la temperatura en la boquilla para esta prueba se midió por medio de una termocupla tipo k conectada al termómetro fluke.

Figura 10. Prueba y Error programación controlador



Fuente. [Autores]

## 1.9. RELE

El relé (en francés: *relais*, "relevo") o relevador es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Fue inventado por Joseph Henry en 1835.

Dado que el relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, puede considerarse, en un amplio sentido, como un amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba "relevadores" [15].

**2.9.1. Salidas del relé.** El relé usado en este proyecto se distingue con las siguientes características:

Tipo de carga: resistiva (P.F. = 1)

Carga nominal 5 A a 250 VCA; 5 A a 30 V CC

Nominal de transporte de corriente 5 A máx. (En el terminal COM)

Max. Tensión de contacto 380 VAC, 125 VDC

Max. Póngase en contacto con la corriente 5 A máx. (En el terminal COM)

Max. Capacidad de conmutación 1250 VA, 150 W

Min. Carga admisible 10 mA a 5 VCC

## **2. CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

La resistencia eléctrica se calienta normalmente en una temperatura de trabajo entre: 230°C – 290°C.

### **2.1. DIFERENCIA ENTRE CALOR Y TEMPERATURA**

La sensación fisiológica de calor o frío es el origen del concepto primario de lo que es la temperatura.

La temperatura es uno de los fenómenos físicos con mayor frecuencia se mide en los procesos industriales. La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia; esta no depende del número de partículas de un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño.

En todo proceso de control de temperatura, se deben ejecutar tres pasos. Primero se debe detectar la variable mediante algún mecanismo que responda a cambios en el valor de la variable. Luego, este cambio debe ser indicado o registrado antes de ser controlado. El último paso es la transmisión de la salida del controlador al elemento final.

La temperatura se mide básicamente a partir de cambios en las propiedades de diversos materiales al ser influidos por la temperatura entre los cuales podemos contar:

- Variaciones en el volumen o en el estado de los cuerpos (sólidos, líquidos, gases).
- Fenómenos utilizados en algún laboratorio (velocidad del sonido de un gas, frecuencia de resonancia de un cristal).
- Variación en la resistencia de algún semiconductor (termistores).
- Variaciones en la resistencia de algún conductor (sondas de resistencia).
- Intensidad de la radiación emitida por un cuerpo (pirómetros de radiación).
- Fuerza electromotriz generada en la unión de dos metales distintos (termopares).

Si hablamos de temperatura, debemos entender primero un término que está muy ligado sobre la definición de este concepto. La energía térmica.

Es la suma de la energía cinética y la energía potencial del movimiento interno de las partículas de un cuerpo. La energía térmica se transmite de 3 formas distintas: la conducción, la convección y la radiación.

El calor es transferencia de energía térmica de un lugar a otro. Se puede llegar a la conclusión de que un cuerpo caliente tiene más energía térmica que un cuerpo frío. Esto significa que, las partículas del cuerpo con mayor temperatura tienen más energía cinética y potencial que las partículas del cuerpo frío.

La temperatura es una medida de la energía total promedio que tiene cada partícula del objeto en estudio. En un cuerpo más caliente las partículas se mueven más rápido, debido a que tienen mayor energía cinética.

La relación entre temperatura y calor es algo causal ya que la temperatura viene siendo un efecto de la transferencia de calor. El calor es la energía total de movimiento molecular en una sustancia, mientras que el calor es una medida de la energía molecular media.

Cuando se ponen dos cuerpos en interacción, la temperatura simplemente nos indica hacia dónde va a fluir el calor; teniendo presente que el calor pasa del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, hasta que ambos llegan a una temperatura estable. De aquí podemos decir que el calor es el que hace que la temperatura puede aumentar o disminuir, las temperaturas más altas tienen lugar cuando las moléculas se están moviendo, vibrando y rotando con mayor energía.

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de un determinado cuerpo, y el calor es la energía que fluye como resultado de una diferencia de temperatura. El flujo de calor es una forma de transferencia de energía se lleva a cabo únicamente como una consecuencia de una diferencia de temperaturas. La capacidad calorífica de cualquier sustancia se define como la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de una sustancia en un grado Celsius [16].

## 2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Cuando un cuerpo, por ejemplo, un objeto sólido o un fluido, está a una temperatura diferente de la de su entorno u otro cuerpo, la transferencia de energía térmica, también conocida como transferencia de calor o intercambio de calor, ocurre de tal manera que el cuerpo y su entorno alcancen equilibrio térmico. La transferencia de calor siempre ocurre desde un cuerpo más caliente a uno más frío, como resultado del segundo principio de la termodinámica. Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos en proximidad uno del otro, la transferencia de calor no puede ser detenida; solo puede hacerse más lenta.

**3.2.1. Formas de transferencia de calor.** Convección: es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido, por ejemplo: al trasegar el fluido por medio de bombas o al calentar agua en una cacerola, la que está en contacto con la parte de abajo de la cacerola se mueve hacia arriba, mientras que el agua que está en la superficie, desciende, ocupando el lugar que dejó la caliente.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico (convección mecánica, forzada o asistida).

En la transferencia de calor libre o natural un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido [17].

**Conducción:** La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es

la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía y energía potencial de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido depende del intercambio de electrones libres (principalmente en metales) o de los modos de vibración de sus partículas microscópicas (dominante en los materiales no metálicos).

Para el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor [18].

**Radiación:** Es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B existirá una transferencia de calor por radiación de A a B.

Para que este fenómeno se perciba es necesario un cuerpo a una temperatura bastante elevada ya que la transferencia térmica en este caso depende de la diferencia de temperaturas a la cuarta potencia [18].

### 2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA SUPERFICIE DE LA BOQUILLA

La transferencia de calor se realiza por conducción, para el cálculo de las temperaturas en la boquilla se utiliza la ley de JB. Fourier.

$$qk = \frac{\Delta T}{R}$$

Ecuación 3



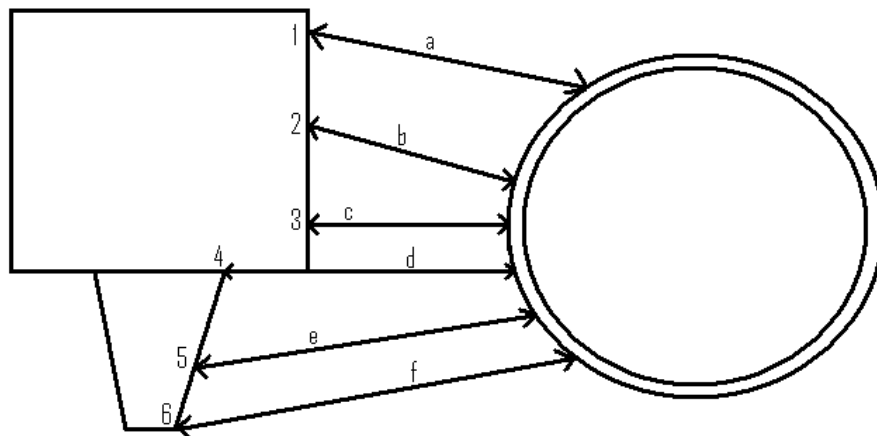
Dónde:

$$\Delta T = T_C - T_F$$

Ecuación 4

**Puntos de la boquilla analizar:**

Figura 11. Puntos a analizar de la boquilla



Fuente. [Autores]

**Distancias:**

- a: 2.44mm
- b: 1.73mm
- c: 1.4mm
- d: 3.5mm
- e: 4.2mm
- f: 5.3mm

El material por el cual se hace la transferencia es latón cuyo coeficiente de conductividad térmica es 99 W/mK, el área de sección es de 9.4 x 19.6 mm<sup>2</sup>.

### Resistencias térmicas de la impedancia hasta cada punto

$$KA = 99 \frac{W}{mK} \times 184,24 \text{ mm}^2 \times \frac{1m^2}{(1000mm)^2} \quad \text{Ecuación 5}$$
$$KA = 0,0182398 \frac{Wm}{K}$$

De la siguiente ecuación, calculamos la resistencia para cada pun

$$R = \frac{L}{KA} \quad \text{Ecuación 6}$$

#### Para el punto 1

$$R1 = \frac{0.00244m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R1 = 0.1338 \frac{K}{W}$$

#### Para el punto 2

$$R2 = \frac{0.00173m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R2 = 0.0948 \frac{K}{W}$$

**Para el punto 3**

$$R3 = \frac{0.0014m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R3 = 0.076755 \frac{K}{W}$$

**Para el punto 4**

$$R4 = \frac{0.0035m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R4 = 0.191888 \frac{K}{W}$$

**Para el punto 5**

$$R5 = \frac{0.0042m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R5 = 0.230265 \frac{K}{W}$$

**Para el punto 6**

$$R6 = \frac{0.0053m}{0.0182398 \frac{Wm}{K}}$$

$$R6 = 0.29057 \frac{K}{W}$$

La resistencia eléctrica tiene una potencia de 40W y trabaja a 12V y 1,65<sup>a</sup>.

Para saber cuál es aproximadamente la magnitud de la temperatura en dichos puntos, se despeja de la ecuación de Fourier (ecuación 7) la temperatura fría (Tf).

$$qk = \frac{Tc - Tf}{R} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Tc - Tf = qk \times R$$

$$Tf = Tc - qk \times R$$

De la magnitud de la potencia eléctrica depende el flujo calorífico así que  $qk=40W$  pues  $W = VI = qk$ .

La temperatura fría (Tf) es la temperatura a calcular y representa la temperatura en la superficie de la boquilla, y la temperatura caliente (Tc) es la que entrega la resistencia.

### **Para el punto 1**

Tabla 3. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 1

Tc	190	200	210	220	230	°c
Tf = Tc - qk*R1	187,35076	197,35076	207,35076	217,35076	227,35076	°c

Fuente. [Autores]

### **Para el punto 2**

Tabla 4. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 2

T <sub>c</sub>	190	200	210	220	230	°c
T <sub>f</sub> = T <sub>c</sub> - qk*R1	188,12296	198,12296	208,12296	218,12296	228,12296	°c

Fuente. [Autores]

### **Para el punto 3**

Tabla 5. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 3

T <sub>c</sub>	190	200	210	220	230	°c
T <sub>f</sub> = T <sub>c</sub> - qk*R1	188,48025	198,48025	208,48025	218,48025	228,48025	°c

Fuente. [Autores]

### **Para el punto 4**

Tabla 6. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 4

T <sub>c</sub>	190	200	210	220	230	°c
T <sub>f</sub> = T <sub>c</sub> - qk*R1	186,20061	196,20061	206,20061	216,20061	226,20061	°c

Fuente. [Autores]

**Para el punto 5**

Tabla 7. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 5

T <sub>c</sub>	190	200	210	220	230	°c
$T_f = T_c - qk \cdot R_1$	185,44075	195,44075	205,44075	215,44075	225,44075	°c

Fuente. [Autores]

**Para el punto 6**

Tabla 8. Temperatura en la superficie de la boquilla para el punto 6

T <sub>c</sub>	190	200	210	220	230	°c
$T_f = T_c - qk \cdot R_1$	184,24671	194,24671	204,24671	214,24671	224,24671	°c

Fuente. [Autores]

### **3. PUESTA A PUNTO DEL CABEZAL EXTRUSOR**

En este capítulo se describe el ensamble y las pruebas realizadas a la máquina de control numérico por computadora (CNC), por tanto se ideó la manera de sujetar el cabezal extrusor a la máquina CNC. Después del ensamble, se realizaron pruebas de fusión al cabezal extrusor teniendo conectadas únicamente las resistencias y posteriormente una puesta a punto de la máquina en conjunto con los demás componentes.

#### **3.1. PRUEBAS DE FUSION CON LA RESISTENCIAS**

Esta prueba se realizó sin poner en funcionamiento el relé, puesto que este se encarga de enviar la variable correctora para encender o apagar la resistencia; se conectó a la maleta la resistencia, teniendo el cabezal extrusor con filamento ABS, se procedió a extruir para verificar el funcionamiento del cual se obtuvo el resultado esperado (figura 12).

Figura 12. Prueba de fusión con la resistencia

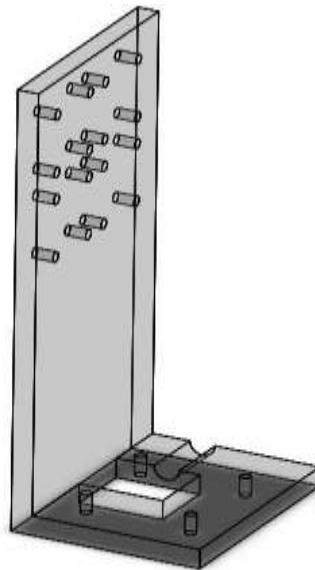


Fuente. [Autores]

### 3.2. INTEGRACIÓN DE LOS COMPONENTES A LA MÁQUINA CNC Y PUESTA A PUNTO

Se debió idear una forma de sujeción para el cabezal extrusor, ya que la maquina CNC originalmente tenía un sistema para sujetar el mototool el cual era su herramienta de corte y no permitía la puesta a punto de la máquina, por lo cual se diseñó un acrílico en L (figura 13) permitiendo la implementación de dicho cabezal y permitiendo la cómoda conexión del cableado a la maleta controladora (figura 14).

Figura 13. Acrílico en L



Fuente. [Autores]

El diseño del acrílico (figura 13), permite también a la sujeción del mototool y un palpador electrónico para medición por coordenadas en esta CNC.



Figura 14. Maleta Controladora



Fuente. [Autores]

**3.2.1. Integración del software al funcionamiento de la CNC.** Para realizar impresión 3D, se debe diseñar la pieza en CAD para lo cual se escogió realizar un vaso de forma cilíndrica (figura 22).

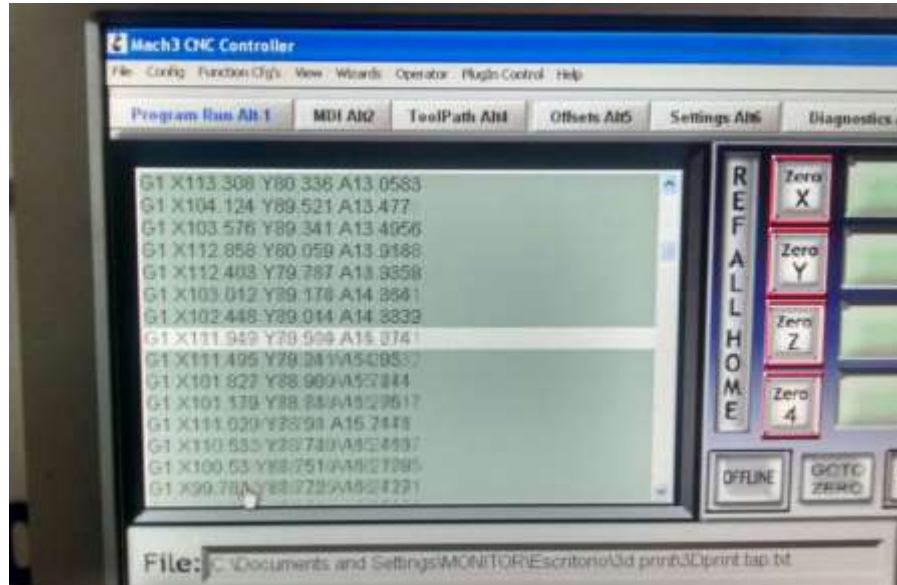
Luego de tener el isométrico listo se debe guardar en formato “.stl” para posteriormente ejecutarlo a través del programa Mach3, por su herramienta Wizard y generar el código a través de “genexlab” (figura 15):

Figura 15. Generación de código y puesta en marcha



Fuente. [Autores]

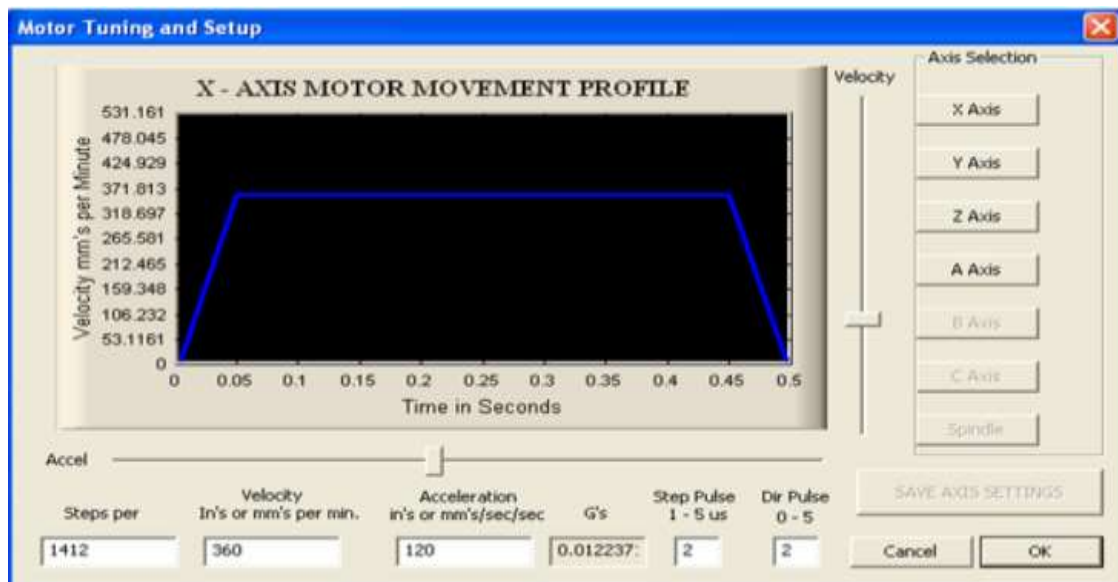
Figura 16. Código G y M.



Fuente: [Autores]

En cuanto al movimiento de giro de los motores (aceleración, velocidad y torque) se procedió a configurar para cada eje la resolución obtenida y los parámetros de velocidad y aceleración, estos datos se consiguieron iterando diferentes números para aceleraciones bajas (una inclinación suave en la gráfica) hasta dar con una velocidad y aceleración de giro aceptable. Esto se cumplió para los tres ejes “X,Y y Z”, posteriormente se realizó el mismo proceso para el motor paso a paso que trae el cabezal extrusor siendo este el cuarto eje “A”, para lo que se necesitó bastante precisión pues sus condiciones de movimiento de giro depende de 4 factores, tres de ellos son los diferentes ejes dimensionales ya mencionados, el cuarto es la magnitud de la temperatura, pues si se extruye a una velocidad considerable se necesitara más temperatura debido a su rata de flujo, pero caso contrario si la velocidad de extrusión es menor.

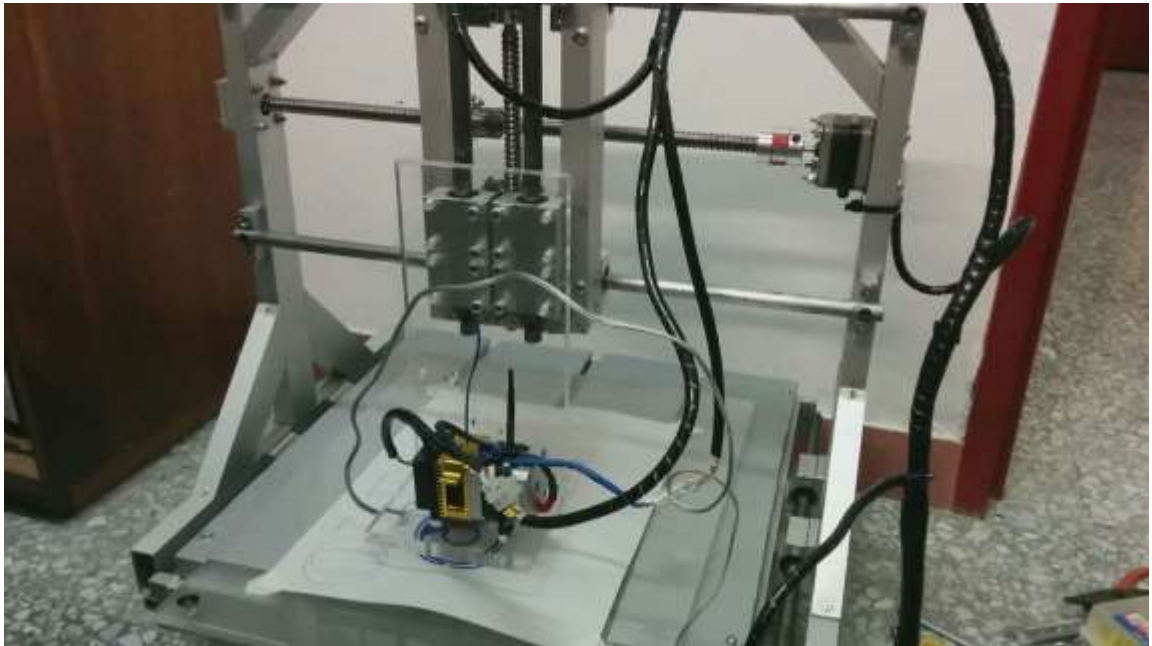
Figura 17. Configuración movimiento de giro de los 4 ejes.



Fuente. [Autores]

**3.2.2. Sujeción del cabezal extrusor a la maquina CNC.** Ya que el diseño original de la CNC tenía un acrílico en forma de lámina del cual se sujeta la herramienta de corte, se debió diseñar la manera para instalar el cabezal extrusor, para lo cual se diseñó una lámina en acrílico con forma de L (figura 14) garantizándonos el correcto posicionamiento del cabezal (figura 1) y garantizando su correcto funcionamiento.

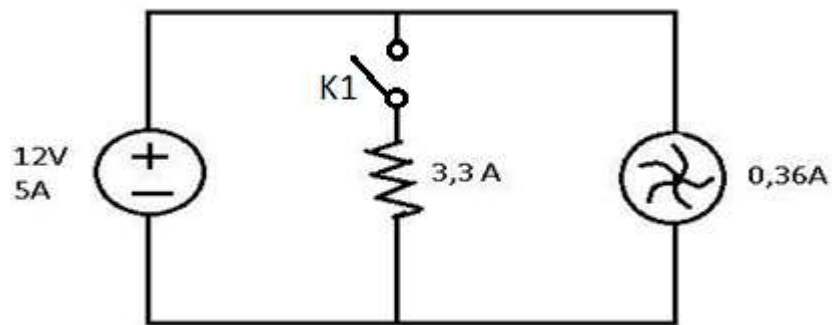
Figura 18. Cabezal extrusor ya implementado a la maquina CNC



Fuente. [Autores]

**3.2.3. Pruebas de funcionamiento en conjunto.** Luego de verificar el correcto funcionamiento individual de cada componente para la extrusión de filamento ABS, se procedió a realizar pruebas en conjunto comenzando con la programación del controlador (Anexo A), y la conexión de la resistencia junto con el ventilador a una sola fuente de 24V, para lo cual se tuvo que realizar dicha conexión en paralelo (figura 19).

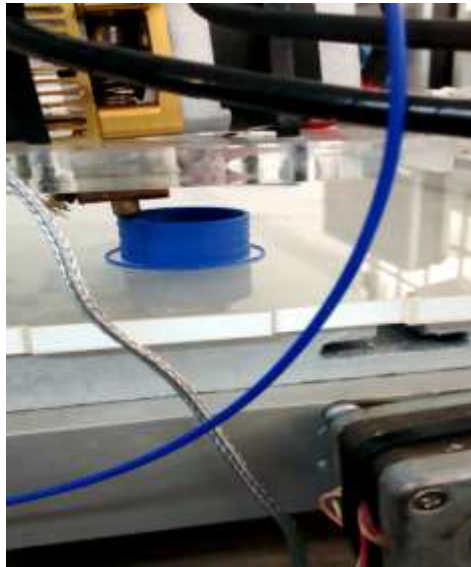
Figura 19. Conexión en paralelo resistencia y ventilador



Fuente. [Autores]

Luego de tener la conexión de la resistencia a la fuente y al relé “K”, como también el motor paso a paso del cabezal extrusor conectado a la maleta controladora y previamente graduado su velocidad, la termocupla al controlador, se procedió a realizar la extrusión del filamento ABS, ya no solo se extrudiría, sino que también se realizaría movimiento en los tres ejes (Figura 20).

Figura 20. Prueba de funcionamiento en conjunto

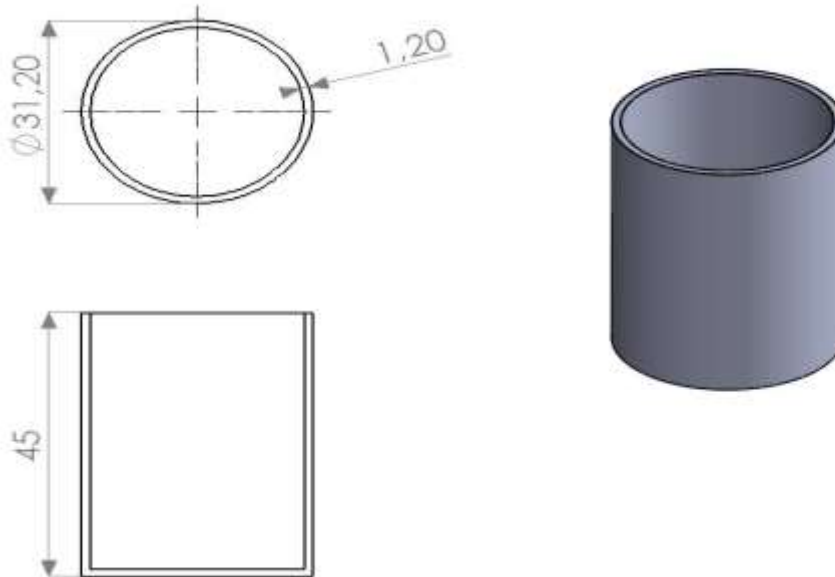


Fuente. [Autores]

#### 4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Se tomó como referencia una pieza dibujada en CAD con dimensiones y geometría previamente establecidas y relacionadas en la figura 24. Como unidad de análisis se imprimió un vaso en filamento ABS generado por el cabezal extrusor, para luego realizarle un seguimiento dimensional. Este seguimiento sirvió como criterio de evaluación en el desempeño de la impresora, teniendo en cuenta que la parte mecánica se construyó con materiales económicos y disponibles en el entorno, pero que no cumplen los requisitos de precisión.

Figura 21. Esquema de cotas a comparar



Fuente. Autores

**4.1. Análisis dimensional de la pieza impresa.** Para evaluar la capacidad de precisión al imprimir con la técnica FDM, se midió dimensionalmente dos vasos con un calibrador pie de rey después de la impresión, obteniendo unos valores reales sujetos a un error de medición y un error experimental, factores implícitos de no poder controlar adecuadamente la influencia de todas las variables presentes en el experimento.



Tabla 9. Diferencias entre el isométrico 1 en CAD y la pieza real

<b>Pieza Real</b>	<b>Isométrico en CAD</b>	<b><math>\Delta</math> Error Absoluto</b>
<b>Diámetro exterior: 32.3mm</b>	<b>Diámetro exterior: 31.2mm</b>	<b>1.1</b>
<b>Longitud: 48.5</b>	<b>Longitud: 45mm</b>	<b>3.5</b>
<b>Espesor: 1.4mm</b>	<b>Espesor: 1.2mm</b>	<b>0.2</b>

Fuente. [Autores]

Tabla 10. Diferencias entre el isométrico 2 en CAD y la pieza real

<b>Pieza Real</b>	<b>Isométrico en CAD</b>	<b><math>\Delta</math> Error Absoluto</b>
<b>Diámetro exterior: 32.5mm</b>	<b>Diámetro exterior: 31.2mm</b>	<b>0.7</b>
<b>Longitud: 47.8</b>	<b>Longitud: 45mm</b>	<b>2.8</b>
<b>Espesor: 1.35mm</b>	<b>Espesor: 1.2mm</b>	<b>0.15</b>

Figura 22. Pieza real



Fuente. [Autores]

## 5. CONCLUSIONES

- Una fresadora CNC y una impresora 3D tienen el mismo principio de movimiento, el cual hace posible el proyecto por esto se tuvo como principio o base el conocer el funcionamiento físico y de software de una fresadora de CNC para posteriormente adaptarle un cabezal extrusor. Debido a esto y a varias investigaciones sobre el tema, se logró concluir que para este estudio se tenía los suficientes recursos para llevar a cabo el proyecto.
- Esta tecnología de extrusión en polímero es nueva y actualmente se encuentra en auge, por tal razón se abren tantas posibilidades para dejar volar la imaginación y crear nuevos objetos con formas únicas los cuales solo se pueden lograr a través de este medio, y en donde estos podrían mejorar nuestra calidad de vida. Es por eso que resulta increíble que se pueda o se logre hacer esta máquina de forma sencilla y al alcance de nuestros presupuestos lo cual llena de motivación al observador a que descubra a nuevas tecnologías y las futuras.
- Se resalta la importancia de metrología en las mediciones para perforar y ensamblar, pues a lo largo de todo el proyecto fue notorio como un solo milímetro de error repercutía en el avance de la extrusión a medida que se avanzaba, resultando en otro ensamble no en un error de esta magnitud si no mucho más grande, también nos afectaba el paralelismo entre ejes o la perpendicularidad entre ellos mismos.
- Al realizar la comparación dimensional de las medidas ideales y las reales, se observó un mayor error en la altura de la pieza, debido a que la compensación del cero en Z se hizo por medio de la visual del operario, lo que conlleva a un error muy común en la medición.



## 6. RECOMENDACIONES

- Los ejes por los cuales se desplazan las diferentes estructuras que conforman la máquina, se pueden cambiar por un acero inoxidable, evitando así la corrosión para que su traslación no se vea perjudicado.
- Crear las perforaciones de unión de cada pieza de la estructura de la máquina, hacerlas mediante una maquina puede ser una CNC garantizando la exactitud de ensamble y así mismo el paralelismo y perpendicularidad necesaria entre ejes, pues se ha visto afectada porque se ha hecho a mano.
- El aluminio es un material liviano y muy maleable por lo que se ha visto la maquina afectada en su estabilidad u rigidez, a parte se ha visto afectada la construcción de la maquina por ejemplo al apretar un tornillo varias piezas se desplazan de su posición correcta lo que genera desbalance.
- Lograr posicionar la boquilla extrusora en el centro del eje vertical para así lograr mayor recorrido sin necesidad de realizar una extensión a la mesa de trabajo.
- La implementación de una superficie caliente para facilitar la impresión 3D.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Canete, «Qué es FDM,» 26 febrero 2015. [En línea]. Available: <http://goo.gl/RaJ5Zf>. [Último acceso: octubre 2015].
- [2] M. Vargas, «ABS y PLA: diferencias, ventajas y desventajas,» 19 junio 2013. [En línea]. Available: <http://goo.gl/zzPxe5>. [Último acceso: 20 octubre 2015].
- [3] A. J. Hernández, «Control de motores paso a paso,» abril 2014. [En línea]. Available: <http://goo.gl/7DFxSr>. [Último acceso: 20 octubre 2015].
- [4] Javier Mejía, «TodoRobot,» 28 03 2008. [En línea]. Available: <http://goo.gl/72M0g8>. [Último acceso: 12 junio 2015].
- [5] A. Alzate, «Motor paso a paso,» 17 julio 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/m7wpc8>. [Último acceso: 22 octubre 2015].
- [6] M. Cardona Medrano, «Puente H con MOSFET para motores CC,» 26 enero 2010. [En línea]. Available: <http://goo.gl/12BnVI>. [Último acceso: 22 octubre 2015].
- [7] E. Ruiz-Velasco, *Educatronica*, México: Diaz de Santos, 2007.
- [8] K. Vallecilla, «Artefactos de transmisión de movimiento,» 29 julio 2014. [En línea]. Available: <http://goo.gl/Ilmpqq>. [Último acceso: 26 octubre 2015].
- [9] J. Cortizo Rodríguez, «Piñón (mecanismo),» 18 octubre 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/aIlN5h>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [10] C. Saldarriaga, «Resorte,» 26 septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/e3Fyoa>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [11] L. Becerra, «Resistencia,» 04 noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://goo.gl/Y574GM>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [12] J. S. Hincapie y F. Escobar, «Instrumentación y medidas,» 2013. [En línea]. Available: <https://goo.gl/0R8aqf>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [13] A. Delgado, «Termopares,» noviembre 2012. [En línea]. Available: <http://goo.gl/O9ruw2>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [14] L. C. Mejia, «Manejador de dispositivo,» 26 abril 2014. [En línea]. Available:

<https://goo.gl/BCegJu>. [Último acceso: 29 octubre 2015].

- [15] J. Moriano, «Relé,» 10 septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/q3oYri>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [16] A. Hernández, «La materia, la energía y sus transformaciones,» 27 mayo 2014. [En línea]. Available: <http://goo.gl/69TM2l>. [Último acceso: 29 octubre 2015].
- [17] R. Valverde, «Convección,» 31 octubre 2014. [En línea]. Available: <https://goo.gl/COVmOT>. [Último acceso: 30 octubre 2015].
- [18] G. Gutierrez Maldonado, «Conducción de calor,» 18 septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://goo.gl/INd7Yi>. [Último acceso: 30 octubre 2015].

## ANEXO A

### **RANGOS DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA.**

**Tensión de alimentación:** de 100 a 240 VCA, 50/60 Hz.

**Tensión de funcionamiento:** -15 % a + 10 % del voltaje de alimentación.

**Consumo de energía:** 6.6 VA en Max.

**Resistencia de aislamiento:** 10 MW mín. a 500 VDC entre terminales y carcasa.

**Rigidez dieléctrica:** 2000 VAC min. Durante 1 minuto entre terminales de entrada y fuente de alimentación

2000 VAC min. Durante 1 minuto entre terminales y carcasa.

**Inmunidad al ruido:**  $\pm 1.500$  V en los terminales de suministro de energía en el modo normal o común.

**Resistencia a vibraciones:** Mal funcionamiento de 10 a 55 Hz, 0,5 mm de amplitud durante 10 minutos en las direcciones X, Y, y Z.

Destrucción 10 a 55 Hz, 0,75 mm de amplitud Durante 2 Horas en las Direcciones X, Y, y Z.

**Resistencia a los golpes:** Mal funcionamiento 100 m / s<sup>2</sup> (aprox. 10G) durante 3 veces en cada una de las 6 direcciones.

Destrucción 300 m / s<sup>2</sup> (aprox. 30G) durante 3 veces en cada una de las 6 direcciones.

**Temperatura ambiente:** De funcionamiento -10 ° a 55 ° C; 14 ° a 131 ° F sin hielo.

De almacenamiento -20 ° a 65 ° C; -4 ° a 149 ° F sin hielo.

**Humedad ambiente de funcionamiento:** 35% a 85% sin condensación.

**Atmósfera ambiente:** Debe estar libre de gases corrosivos.

NOTA: Una corriente de entrada de aproximadamente 1,0 A fluirá en este momento está encendida y continuar durante unos 5 ms.

**CLASIFICACIONES SALIDA DE RELE:**

Tipo de carga resistiva (P.F. = 1)

Carga nominal 5 A a 250 VCA; 5 A a 30 V CC

Nominal de transporte de corriente 5 A máx. . (En el terminal COM)

Max. Tensión de contacto 380 VAC, 125 VDC

Max. Póngase en contacto con la corriente 5 A máx. . (En el terminal COM)

Max. Capacidad de conmutación 1250 VA, 150 W

Min. Carga admisible 10 mA a 5 VCC

**MEDICION DE RANGOS:**

Termopar K 0 ° a 999 ° C (Histéresis 1°C)

## ANEXO B

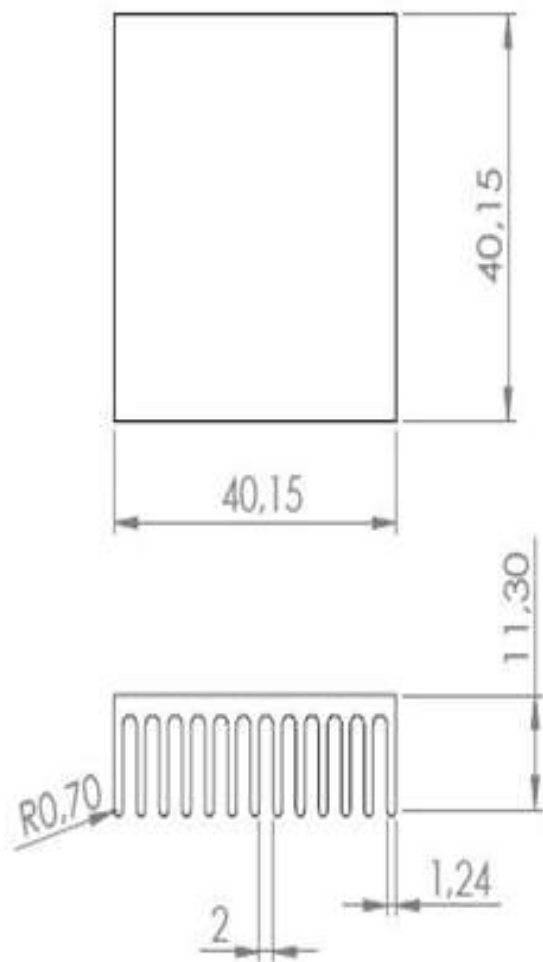
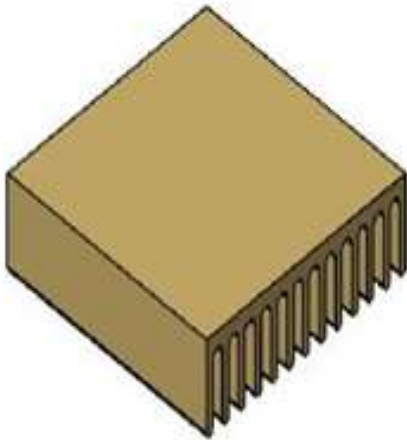
### RANGOS DEL CONTROLADOR DE LOS MOTORES (GECKO DRIVE G540.)

	Mínimo	Máximo	Unidades
<i>Tensión</i>	18	50	VDC
<i>Corriente</i>	0	3.5	A
<i>Potencia</i>	1	13	W
<i>Corto circuito</i>	14	70	A
<i>Temperatura</i>	0	95	°C
<i>Humedad</i>	0	30	%
<i>Inductancia</i>	1	200	mH
<i>Frecuencia</i>	0		kHz
<i>Pulso de paso "0"</i>	2		µs
<i>Pulso de paso "1"</i>	1		µs
<i>Configuración Dirección (Antes de flanco ascendente paso)</i>	200		ns
<i>Configuración Dirección (Mantenga después de flanco ascendente del pulso)</i>	200		ns
<i>Tensión de señal</i>	3.3	5	VDC
<i>Frecuencia bomba de carga</i>	10		kHz

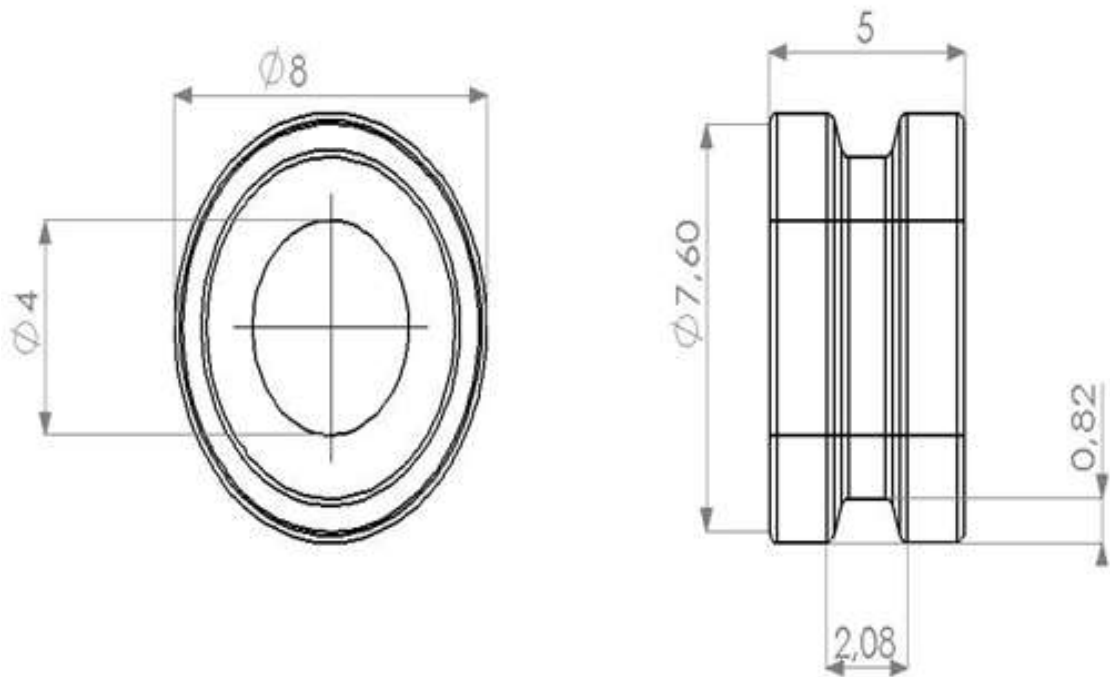
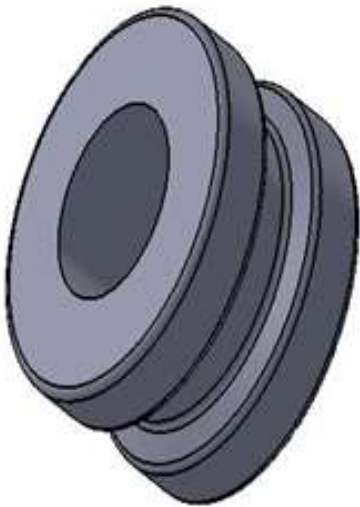
## ANEXO C

### PLANOS DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL CABEZAL EXTRUZOR (medidas en milímetros):

#### Rejilla disipadora de calor

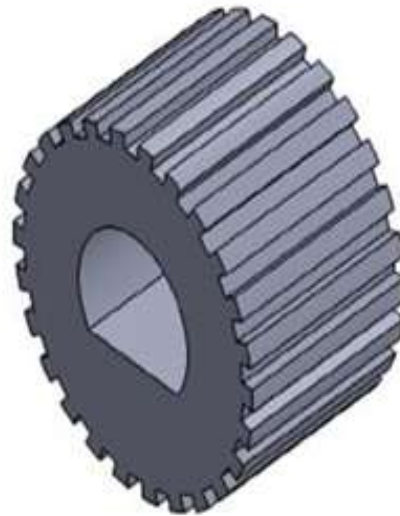
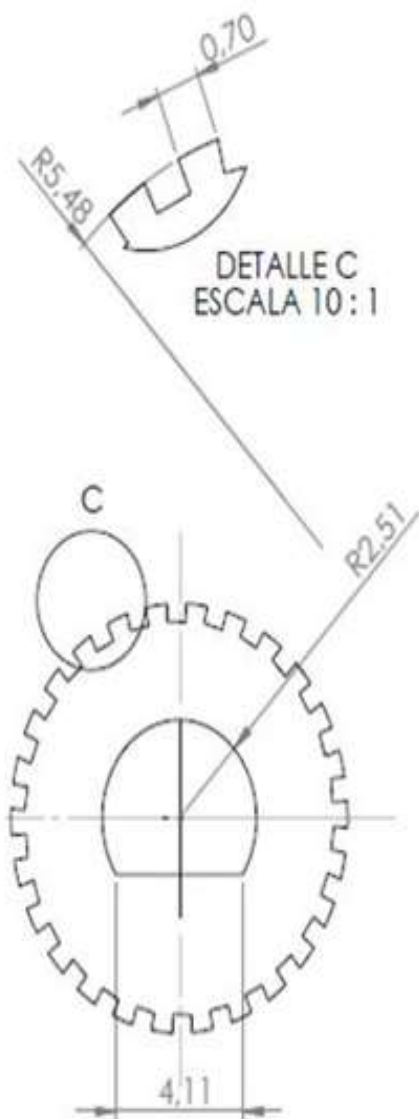


Polea



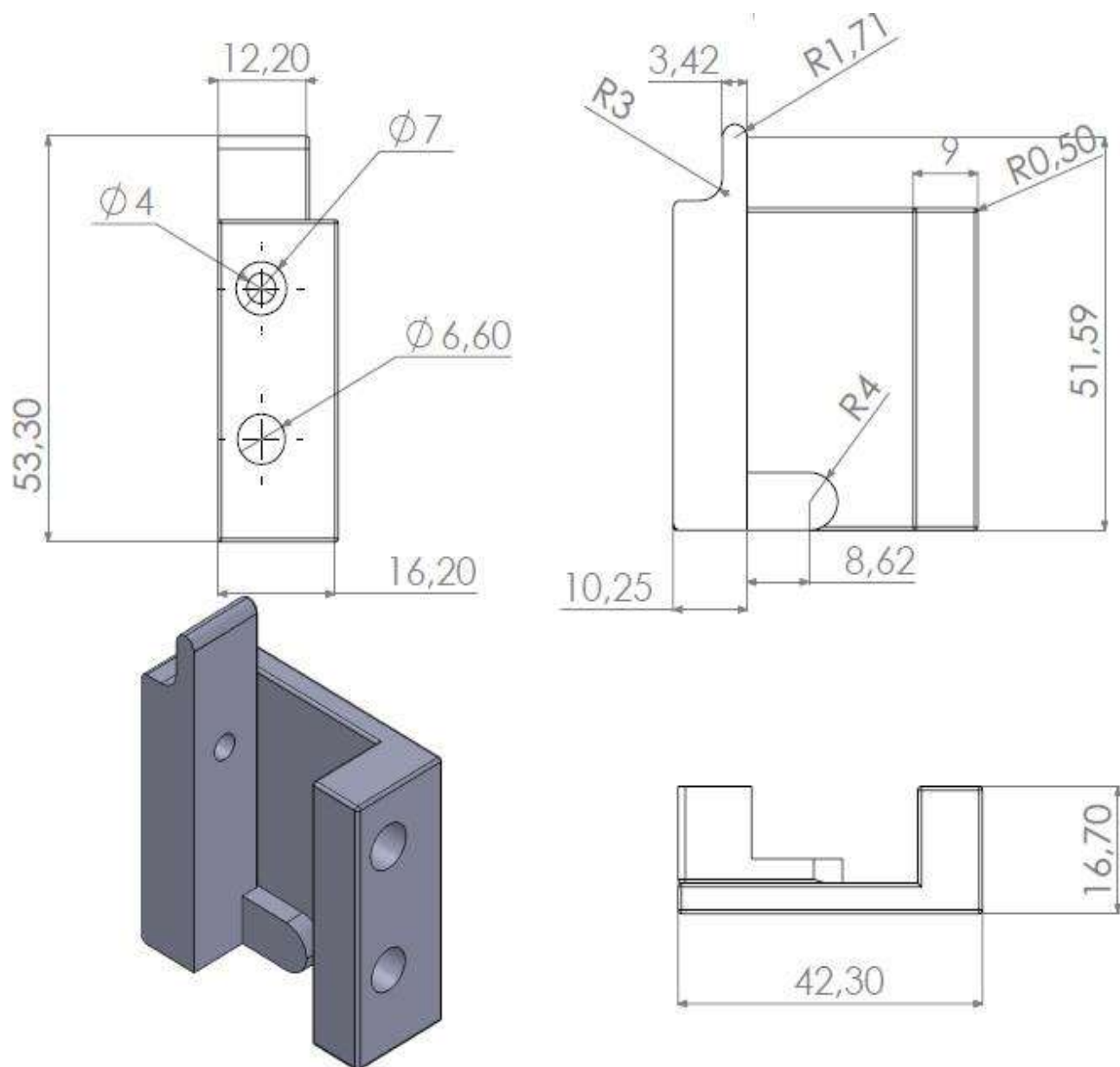


## Piñon

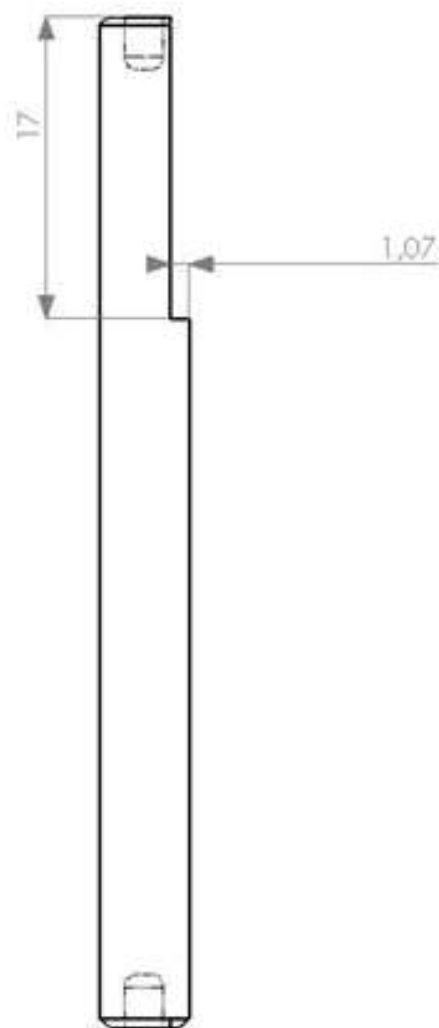
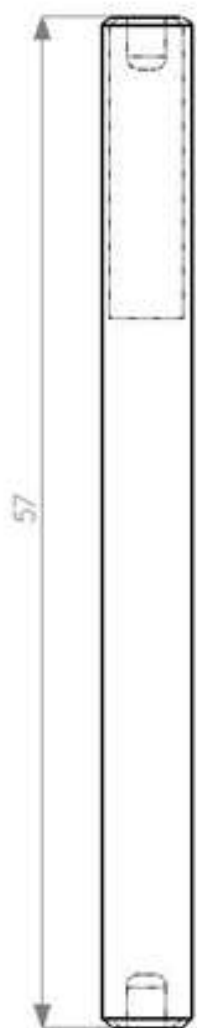
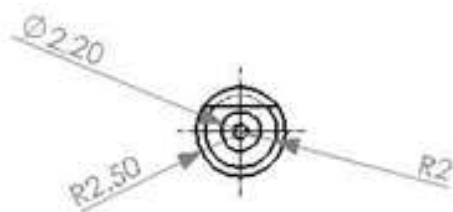


DATOS RUEDA	
NUMERO DE DIENTES	26
DIAMETRO EXTERIOR	10,96 mm
DIAMETRO DE RAIZ	10 mm

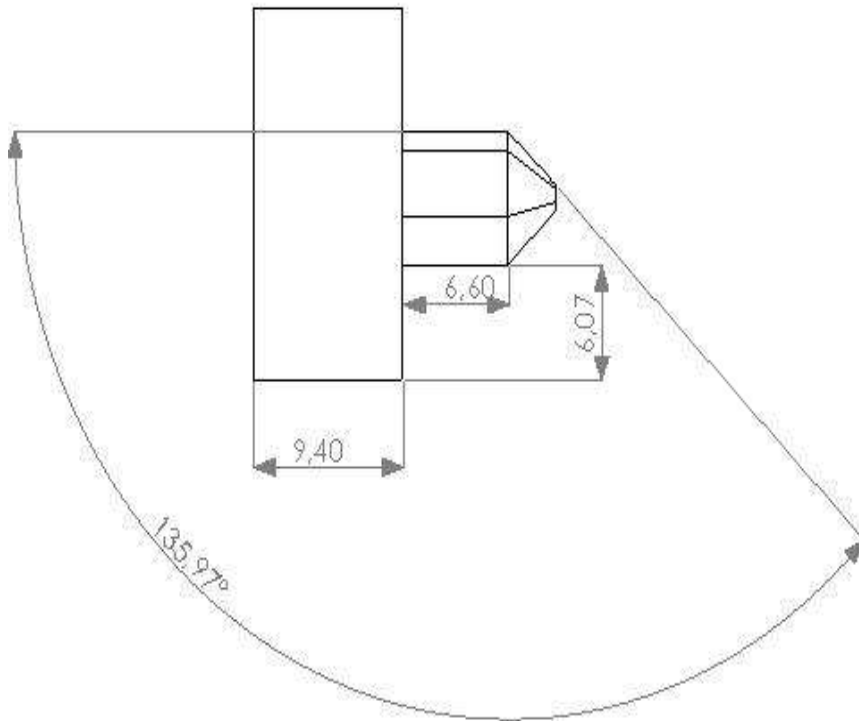
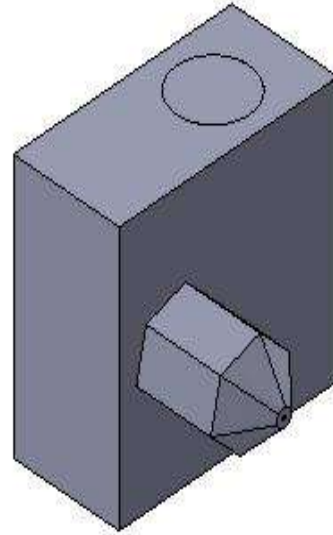
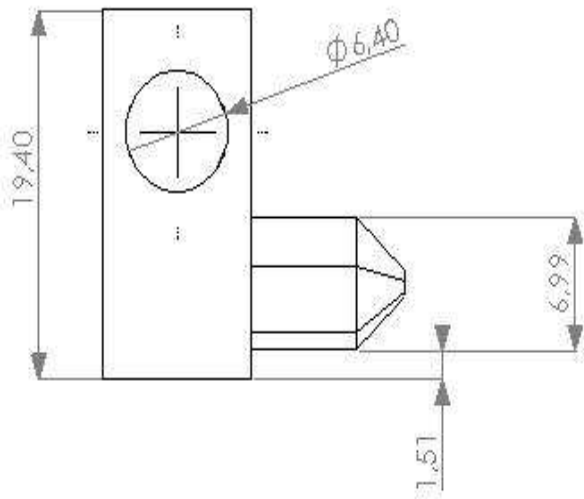
### Elemento de fijacion y empuje de la polea y el piñon



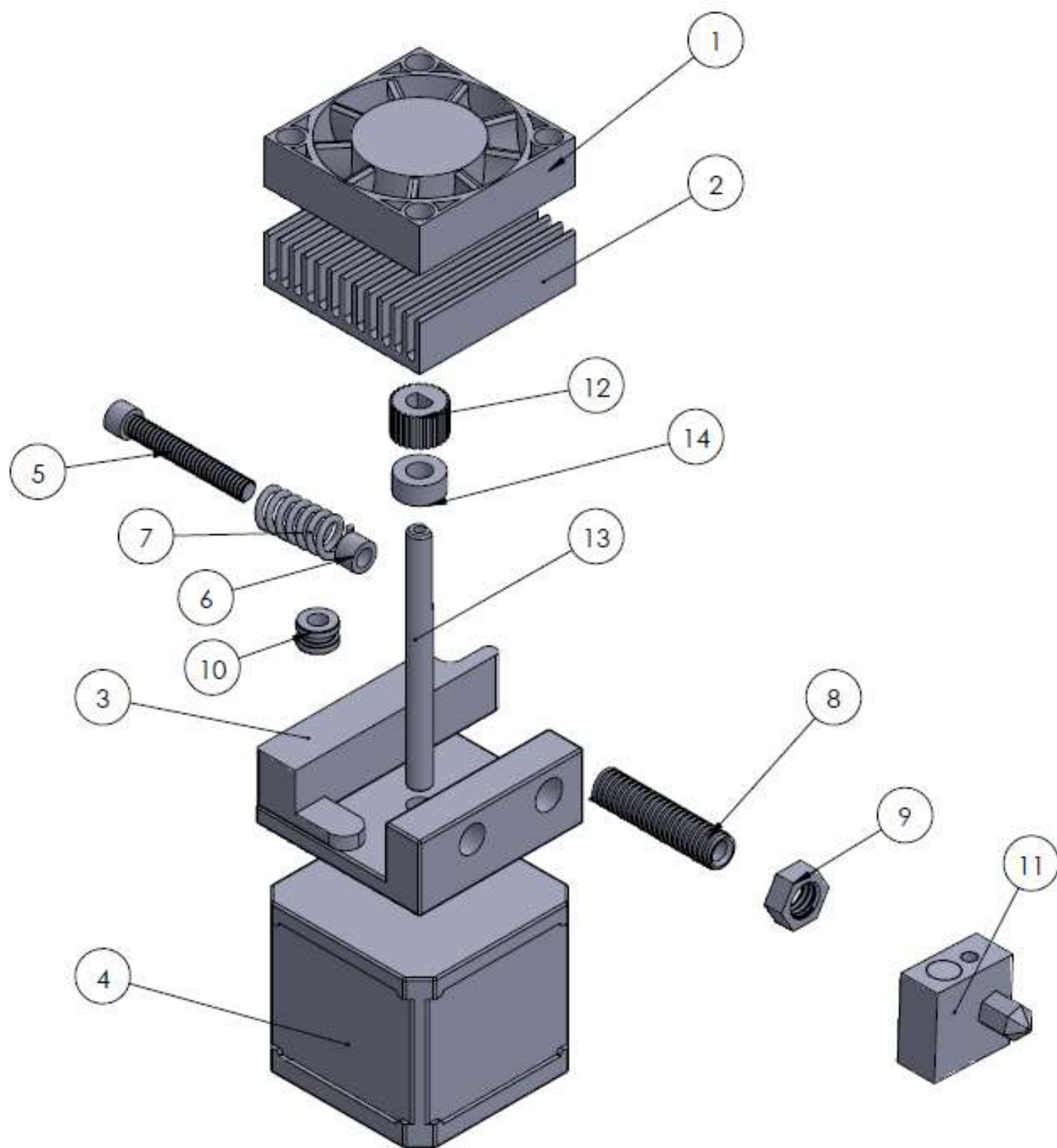
## Eje rotativo



## Boquilla con su respectiva resistencia



## Vista explosionada del ensamble



**Tabla de elementos (enumerada en vista explosionada del cabezal extrusor)**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA
1	ventilador
2	rejilla
3	Elemento de fijacion y empujeda la polea y el piñon
4	motor
5	Tornillo Resorte
6	buje Resorte
7	Resorte
8	tornillo A
9	tuerca
10	polea
11	boquilla
12	Piñon
13	eje rotativo
14	buje eje-piñon