

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Desarrollo de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D de  
bajo costo"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Cristian Antonio Avilés Muñoz

Nestor David Freire Reyes

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Tras poder cumplir una de las metas más importantes en mi vida, quiero agradecer en primer lugar a Dios que me permitió tener la sabiduría y el carácter para afrontar este largo camino, a mis padres Sr. Nestor Freire y Sra. Jenny Reyes que me dieron todas las herramientas necesarias para poder desempeñarme de la mejor manera posible y conseguir el objetivo de ser un profesional y lo más importante ser una persona llena de principios, a mis hermanos por ser un apoyo incondicional los cuales me ayudaron en todo momento aconsejándome y dándome ánimos para alcanzar la meta propuesta. A mi familia en general y a mi novia por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Quiero agradecer a la ESPOL por brindarme a lo largo de la carrera unas instalaciones y un paisaje inigualable, donde pase gran parte de mi tiempo formándome de manera intelectual pero también aprendiendo grandes valores humanos. A los catedráticos que son excepcionales y me impartieron sus mejores conocimientos para poder lograr el sueño de ser un Politécnico.

Freire Reyes Nestor David.

En primer lugar, agradezco a Dios por permitir tener la vitalidad y la entereza de poder llegar a la consecución de este logro tan importante, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre Sra. Amparo Bermeo, por la dedicación y apoyo que me ha brindado a este trabajo, a mi familia, a mis hermanos por la confianza ofrecida desde el inicio de mi vida estudiantil. Este trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a mis amigos y compañeros, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

Avilés Muños Cristian Antonio.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Cristian Antonio Avilés Muñoz

Nestor David Freire Reyes

Jorge Luis Hurel Ezeta, Ph.D

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Cristian Avilés Muñoz  
Autor 1

---

Nestor Freire Reyes  
Autor 2

---

Jorge Hurel Ezeta, Ph.D  
Tutor de Materia Integradora

## RESUMEN

Tanto empresas, como pequeños inversionistas que se dedican a realizar impresiones 3D crecen considerablemente, pero los filamentos que se utilizan como materia prima para dichas impresiones tienen un costo elevado en el mercado, actualmente en el país ya existen este tipo de máquinas, pero no tienen un correcto desempeño en cuanto al control de temperatura esto hace que disminuya la calidad del filamento. Por lo que se plantea diseñar y construir una máquina extrusora de filamento a partir de pellets (ABS, PLA), que cuente con un adecuado sistema de control de temperatura que permita generar filamento a bajo costo y óptima calidad.

La máquina está compuesta por sistemas de transmisión de potencia y control de temperatura, además cuenta con zonas de alimentación, transformación y extrusión del material. Para realizar la construcción de cada una de las piezas se procede a realizar procesos de mecanizado como torneado, fresado, taladrado, roscado y soldadura. Con la finalidad de garantizar la funcionalidad de la máquina se analiza las propiedades físicas y mecánicas de diferentes elementos como acero (A-36, DF2 e inoxidable AISI 304) y bronce al aluminio AB2, los mismos que cumplen con las respectivas Normas de calidad.

Como resultado se determinó las dimensiones apropiadas de cada una de las partes que constituyen la extrusora, considerando los criterios y parámetros de diseño adecuados, todo esto se alcanzó en la fase de diseño. Mientras que en la fase de construcción se la realizó con éxito logrando obtener un filamento continuo y uniforme.

En conclusión, se logró el objetivo planteado de diseñar y construir la máquina extrusora de filamento, logrando solucionar el principal problema de temperatura por medio del sistema de control ejecutado por una placa de Arduino UNO, donde se obtuvo un filamento muy bueno cumpliendo con las características básicas para realizar impresiones 3D como la uniformidad y continuidad.

Palabras Claves: Filamento, impresiones, máquina, calidad, diseñar, construir, sistema, mecanizado y extruir.

## **ABSTRACT**

*Companies and small investors who are dedicated to making 3D prints grow considerably, but the filaments used as raw material for these impressions have a high cost in the market, currently in the country there are already these types of machines but they do not have a correct performance in terms of temperature control this decreases the quality of the filament. So that is the proposed to design and build a filament extruder machine from pellets (ABS, PLA), which has an adequate temperature control system that allows to generate filament at low cost and optimum quality.*

*The machine is composed by systems of power transmission and temperature control, also has areas of feeding, transformation and extrusion of the material. To carry out the construction of each one of the pieces, it is necessary to perform machining processes such as turning, milling, drilling, tapping and welding. In order to assure the functionality of the machine, the physical and mechanical properties of different elements such as steel (A-36, DF2 and stainless ASIS 304) and aluminum bronze AB2 are analyzed, which comply with the respective quality standards.*

*As a result, the appropriate dimensions of each of the parts that compose the extruder were determined, considering the appropriate criteria and design parameters, all this was achieved in the design phase. While in the construction phase it was carried out successfully achieving a continuous and uniform filament.*

*In conclusion, the objective of designing and building the filament extruder machine was achieved, attaining to solve the main temperature problem by means of the control system executed by an Arduino UNO plate, where a very good filament was obtained, which comply with the basic characteristics to make 3D prints such as uniformity and continuity.*

*Keywords: Filament, impressions, machine, quality, design, build, system, machining and extrude.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Marco teórico.....	4
1.3.1. Materiales para la elaboración de los filamentos.....	4
1.3.2. PLA (Ácido Poliláctico).....	5
1.3.3. ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	7
1.3.4. Diferencias de los materiales ABS Y PLA.....	9
1.3.5. Procesamiento del Plástico.....	10
1.3.6. Proceso de Extrusión.....	11
1.3.7. Características de una Extrusora de tornillo simple.....	11
1.3.8. Método de fusión del material dentro del tornillo de extrusión.....	13

1.3.9.	Efecto de las propiedades del polímero.....	14
1.3.10.	Cambios en el material en el proceso de extrusión. ....	15
1.3.11.	Extrusión de Filamento.....	15
CAPÍTULO 2.....		16
2.	METODOLOGÍA.....	16
2.1.	Metodología de diseño .....	16
2.2.	Diseño conceptual.....	17
2.2.1.	Alternativas de Diseño .....	17
2.3.	Descripción del diseño detallado de los componentes de la extrusora. ....	21
2.3.1.	Sistema de transmisión.....	22
2.3.2.	Tornillo de extrusión.....	23
2.3.3.	Barril de extrusión .....	24
2.3.4.	Garganta de alimentación .....	25
2.3.5.	Tolva de alimentación .....	26
2.3.6.	Dado de extrusión.....	27
2.4.	Funcionamiento del Sistema de Control .....	27
2.5.	Selección de Material para el husillo .....	30
2.6.	Diseño de los elementos de la Extrusora .....	31
2.6.1.	Diseño del tornillo de extrusión.....	31
2.6.2.	Análisis de flujo dentro del cilindro de extrusión. ....	34
2.6.3.	Análisis de potencia requerida .....	38
2.6.4.	Cálculo de la Viscosidad efectiva.....	38
2.6.5.	Cálculo de Presiones en la extrusora .....	40
2.6.6.	Cálculo de fuerzas del husillo .....	41
2.6.7.	Selección de cadena y catarinas .....	49
2.6.8.	Potencia Calorífica.....	54

CAPÍTULO 3.....	55
3. RESULTADOS.....	55
3.1. Resultados de la fase de diseño y construcción.....	55
3.1.1. Tornillo de extrusión.....	55
3.1.2. Cadena y catarinas.....	56
3.1.3. Bridas y soporte de la extrusora.....	57
3.1.4. Tolda de alimentación.....	58
3.1.5. Dado de extrusión.....	59
3.2. Resultado del Sistema de Control de Temperatura.....	60
3.3. Resultado final de la máquina.....	66
3.4. Análisis de costo.....	70
3.4.1. Costo total por pieza mecanizada.....	70
3.4.2. Elementos para el control de temperatura.....	81
3.4.3. Elementos para el sistema de transmisión de potencia.....	82
3.4.4. Gastos varios.....	83
3.4.5. Total, de Gastos realizados.....	84
CAPÍTULO 4.....	85
4. DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	85
4.1. Conclusiones.....	88
4.2. Recomendaciones.....	90
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
FMD	Modelado por Deposición Fundida
PLA	Ácido Poliláctico
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
UV	Ultravioleta
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
PID	Proporcional Integrativo Derivativo
SKF	Svenska Kullagerfabriken

## SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
g/cm <sup>3</sup>	Gramos/centímetros cúbicos
GPa	Giga Pascales
%	Porcentaje
MPa	Mega Pascales
Hp	Caballo de Fuerza
m	Metro
mm	Milímetro
rpm	Revoluciones por minuto
J/Kg-K	Joule/Kilogramo-Kelvin
kN-m/Kg	Kilo Newton-metro/ Kilogramo
W/m-K	Watts/Metro Kelvin
µm/m-K	Micrómetro/ Metro- Kelvin
Pa.s	Pascales-Segundos
kW	Kilovatio
L/D	Longitud/ Diámetro
V	Voltio
t	Paso del usillo
e	Ancho Cresta del Filete
h <sub>1</sub>	Profundidad del Canal Helicoidal
L <sub>3</sub>	Longitud de la zona de Extrusión
δ	Holgura entre el usillo y el cilindro de extrusión.
α	Flujo de arrastre.
β	Flujo de presión.
γ	Flujo de filtración
n	Número de revoluciones
k	Constante de forma geométrica
i	Número de canales del husillo
h	Altura del canal
D	Diámetro del Tornillo

$e$	Ancho de la Cresta del Filete
$\varphi$	Angulo del Perfil de la Hélice
Ni	Níquel
$d_o$	Diámetro de Entrada del Material en un canal Anular Cilíndrico.
$d_1$	Diámetro de Salida del Material en un canal Anular Cilíndrico
Q	Caudal
$\dot{m}$	Flujo Másico
K	Factor de Proporcionalidad
$V_c$	Velocidad de Cortadura
$\mu$	Viscosidad Efectiva.
$L_d$	Longitud Cilíndrica del Dado
N	Potencia del Motor en kW.
$M_g$	Momento Torsor del Motor.
$\lambda$	Esbeltez del Husillo.
$R_i$	Radio de Inercia.
R	Radio del Dado
J	Momento de Inercia
S	Sección Transversal del husillo.
$\tau$	Tensión Tangencial.
$\sigma$	Tensión Normal
$\sigma_r$	Tensión Resultante
$\sigma_{adm}$	Esfuerzo Admisible
$M_p$	Momento Torsor.
$W_p$	Momento Polar de Resistencia.
$M_f$	Momento de Flexión Máximo.
$W_o$	Momento Resistente Respecto al Eje Neutro.
$\gamma$	Densidad del Material del Husillo
q	Peso del Husillo por metro lineal
E	Módulo de Elasticidad del Material
$f_{máx}$	Flecha Máxima

Mn	Manganeso
P	Fósforo
HRC	Hot Rolled Coil
$D_p$	Diámetro de Paso
$z$	Número de Dientes del Piñón
$p$	Paso de la Cadena
CT	Costo de torneado
CF	Costo de Fresado
CS	Costo de Soldadura
CR	Costo de Roscado.
CTa	Costo de Taladrado.
HrT	Hora Torno Hombre Máquina
HrF	Hora Fresa Hombre Máquina
HrS	Hora Soldadura Hombre Máquina.
HrR	Hora Roscado Hombre Máquina.
HrTa	Hora Taladro Hombre Máquina
P/m	Peso del Material/ metro
CM/P	Costo del material- Peso

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Proceso de obtención del PLA.....	6
Figura 1.2: Zona del Tornillo de extrusión.....	12
Figura 1.3: Proceso de fusión. ....	14
Figura 2.1. Esquema del proceso de diseño.....	16
Figura 2.2. Esquema de la máquina extrusora. ....	22
Figura 2.3. Sistema de transmisión de potencia. ....	23
Figura 2.4. Tornillo de Extrusión. ....	24
Figura 2.5. Cilindro de Extrusión.....	25
Figura 2.6. Dimensiones de la Garganta de alimentación.....	26
Figura 2.7. Tolva de Alimentación.....	26
Figura 2.8: Dado de Extrusión. ....	27
Figura 2.9: Arduino UNO.....	28
Figura 2.10: Termocuplas tipo K y Resistencias. ....	28
Figura 2.11: Dado de Extrusión. ....	29
Figura 2.12: Relee de estado sólido. ....	29
Figura 2.13: Pantalla LCD con shield.....	30
Figura 2.14. Partes Tornillo Extrusión .....	31
Figura 2.15: Características internas del Tornillo de extrusión. ....	32
Figura 2.16: Gráfica de relación de la Viscosidad efectiva.....	39
Figura 2.17 Diagrama de fuerzas en el Husillo. ....	42
Figura 3.1. Proceso de construcción Tornillo de Extrusión. ....	56
Figura 3.2. Cadena y catarinas.....	57
Figura 3.3. Brida y base de la extrusora. ....	58

Figura 3.4. Tolva de alimentación. ....	58
Figura 3.5. Tolva alimentada con pellets.....	59
Figura 3.6. Dado de extrusión. ....	59
Figura 3.7. Diagrama Proceso de Control de temperatura.....	60
Figura 3.8. Diagrama de flujo del controlador PID. ....	62
Figura 3.9. Gráfica de respuesta del sistema.....	64
Figura 3.10. Sistema de control de temperatura. ....	65
Figura 3.11. Sistema de distribución de resistencias. ....	66
Figura 3.12. Máquina Extrusora de filamento. ....	67
Figura 3.13. Máquina en funcionamiento. ....	68
Figura 3.14. Filamento a 1,75mm. ....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Propiedades físicas y mecánicas del PLA .....	7
Tabla 1.2: Propiedades físicas y mecánicas del ABS .....	9
Tabla 1.3: Características de procesos de formado en plásticos.....	10
Tabla 2.1: Progresión de ponderación .....	18
Tabla 2.2: Matriz de decisión Tornillo Extrusión.....	18
Tabla 2.3: Matriz decisión Material Tornillo Extrusión.....	19
Tabla 2.4: Matriz decisión Distribución Resistencias. ....	20
Tabla 2.5: Matriz decisión Control de Temperatura. ....	21
Tabla 3.1: Resumen de gastos proceso de mecanizado piezas .....	81
Tabla 3.2: Gastos adquisición dispositivos electrónicos .....	82
Tabla 3.3: Gastos realizados adquisición de Sistema de transmisión .....	83
Tabla 3.4: Gastos realizados por compra de elementos varios .....	83
Tabla 3.5: Resumen de Total de gastos realizados .....	84

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Tornillo sinfín
- PLANO 2 Cilindro de extrusión
- PLANO 3 Cilindro con boquilla para tolva
- PLANO 4 Tolva de alimentación
- PLANO 5 Dado de extrusión
- PLANO 6 Chumacera
- PLANO 7 Brida
- PLANO 8 Soporte de chumacera
- PLANO 9 Soporte de extrusora
- PLANO 10 Catarina 10 dientes
- PLANO 11 Catarina 30 dientes
- PLANO 12 Plano conjunto
- PLANO 13 Base de la extrusora
- PLANO 14 Ensamble final

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el Ecuador la producción por sistema de impresión 3D FMD (Modelado por Deposición Fundida) es escasa debido al coste de los materiales que se utilizan en este proceso, el filamento para impresión 3D no es de fácil de obtener y el costo es elevado.

La impresión 3D es una tendencia en auge, la cual disminuye el tiempo de fabricación de piezas y elementos de una manera rápida, con una variedad muy grande de aplicaciones, a través del prototipado rápido, desarrollo y fácil visualización del producto en 3D (Song, Fu, Liu, & Fu, 2015).

Existe una gran cantidad de impresoras, por consiguiente, la fabricación de materia prima para este proceso tiene altas expectativas de crecimiento, por lo que es factible un proceso de fabricación local del filamento de buena calidad y estandarizado para el uso de varios modelos de impresoras. En el medio local no se produce este filamento, debido a la inexistencia de micro empresarios que surtan el mercado con el producto; los distribuidores de este producto solo se dedican a la venta del producto importado.

El consumo de este elemento, debido a la creciente demanda generada por los usuarios que adquieren impresoras 3D, crea la necesidad de fabricar filamento de bajo costo para implementar en el proceso de impresión. El fabricar una máquina extrusora de baja denominación y producción a pequeña escala ayuda a cubrir la demanda generada en un mercado dirigido de clientes que cuentan con la impresora 3D. En la actualidad la extrusión es uno de los procesos para trabajos con polímeros más usado en el medio industrial a pequeña, mediana y gran escala, los productos que se pueden manufacturar a partir de este método son: tuberías, mangueras, fibras y un sin número de perfiles adaptados a las necesidades actuales.

El proceso de extrusión consiste en el tratamiento de un polímero termoplástico PLA o ABS, mediante la transformación del material base que se encuentra en forma sólida (pellets), al pasar por la extrusora sufre un proceso de cambio de estructura y pasa a estado fundido (Beltrán Rico & Marcilla G., 2012), para luego ser confinado mediante un molde (dado de extrusión) el cual le brinda la forma y acabado final.

El cambio de estado de la materia prima se realiza por medio de adhesión de calor, de ahí que es de vital importancia el control y regulación de la temperatura suministrada al proceso; por este motivo se debe tener en cuenta la degradación a la que está sometida el material que está propenso a ser extruido, debido a las excesivas temperaturas el material no adopta las propiedades necesarias requeridas para el filamento.

El método de fabricación (extrusión), debe adaptarse a las necesidades del mercado, con una forma flexible y una calidad óptima para el uso en impresoras; el principal inconveniente en la adquisición del filamento es el precio comercial, este se utiliza para la construcción de elementos en impresión y prototipado en diversas aplicaciones.

Existen tres tipos de extrusión: (1) Extrusión directa en la cual el diseño de una dado extruidor y el dispositivo para extraer determina el contorno de la forma. (2) Extrusión semi positiva, en la que las superficies importantes en la forma final de extrusión son controladas por un molde una vez que el material abandona el extrusor. (3) Extrusión positiva, en la cual todas las superficies son controladas por un molde una vez que el material deja el extrusor.

La extrusora que se plantea para este diseño es una extrusora monohusillo, con tolva de alimentación, sistema suministro de calor constante, sistema de arrastre del material, la extrusión propiamente dicha mediante un dado el cual dará la forma requerida al polímero extruido, sistema de enfriado del filamento extruido y sistema de enrollado o almacenamiento del filamento una vez extruido.

## **1.1. Descripción del problema**

Actualmente uno de los grandes problemas que presentan los elementos generados con impresoras 3D es el alto costo que implica su elaboración, pues en general el precio del filamento es relativamente elevado, dejando en claro que dicho filamento es el material plástico que se requiere para elaborar diferentes tipos de objetos en las impresoras 3D, cabe recalcar que hoy en día pequeñas y grandes empresas enfocan sus actividades hacia las impresiones 3D, este un mercado se vuelve muy atractivo y lucrativo.

En la actualidad este tipo de máquinas han ido decayendo en su costo, pero los filamentos no cuentan con la misma suerte ya que mantienen su alto valor de venta, es por tal motivo que se propone realizar el diseño de una máquina extrusora de filamento de bajo costo, donde el material principal para su desarrollo de dicho filamento es el pellet (PLA, ABS), tratando así de disminuir los elevados costos que tienen el producto en el mercado.

Una de las principales características a tener en cuenta la calidad del filamento, que debe ser adecuada para un buen desarrollo en las impresoras 3D. Actualmente ya existen equipos de extrusión, pero en su mayoría tienen una problemática, pues muchas de las extrusoras sobrecalientan el material y esto provoca que se degrade como consecuencia de esto se pierde gran parte de sus propiedades y disminuye la calidad de este, esto se debe a que los materiales plásticos tienen un ciclo térmico y cuando este se sobrepasa se presentan problemas en su estructura, en otras palabras, los filamentos bajan su calidad.

Con la finalidad de contrastar dicho problema se plantea diseñar una máquina que disminuye la degradación de los materiales termoplásticos a utilizarse, manteniendo la calidad del filamento y producirlo a un costo relativamente bajo. Este propósito se logrará con la construcción de dispositivo de extrusión

y permitirá distribuir el filamento a costos más razonables para el mercado consumidor.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseño y construcción de una extrusora de filamento, para uso en una impresora 3D.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar una extrusora que tenga la capacidad de producir filamento a partir de pellets.
- De acuerdo con las características requeridas en el diseño la máquina extrusora debe de producir el filamento de manera continua y uniforme.
- El tipo de extrusora que se va a desarrollar debe tener la capacidad de extruir el filamento y también enfriarlo para el uso en impresoras 3D.
- El diseño para el tipo de extrusora requerida debe ser confiable, de bajo costo y versátil que permita añadir si es necesario otro tipo de material para la elaboración del filamento.
- Diseñar un equipo de bajo costo de fabricación, sin afectar el correcto funcionamiento y la eficiencia de este.
- Diseñar un sistema de control de temperatura para optimizar la transferencia de calor.

## **1.3. Marco teórico**

### **1.3.1. Materiales para la elaboración de los filamentos**

Para el presente proyecto vamos a utilizar dos posibles materiales termoplásticos para la fabricación de los filamentos los cuales son:

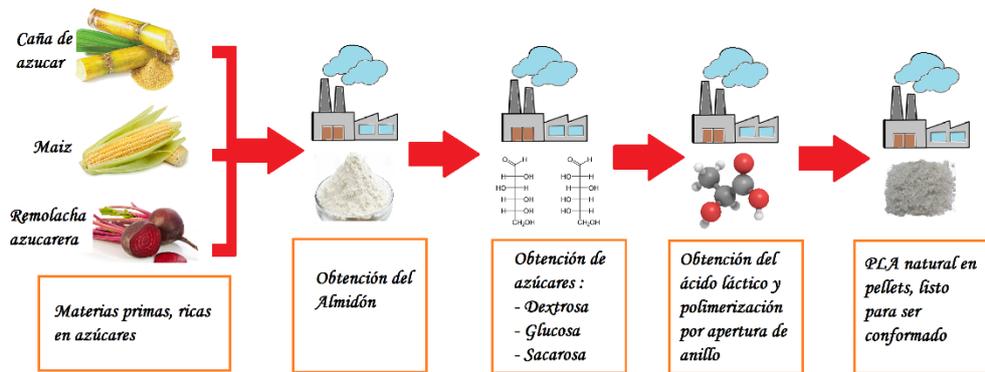
- PLA (Ácido Poliláctico)
- ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

En general las impresoras 3D que se encuentran en el mercado utilizan polímeros termoplásticos, ya que dichos materiales tienen la capacidad de fundirse y poderse moldear al aplicarles cierta cantidad de calor para posteriormente solidificarse al momento de enfriarse (Myfpschool, 2013). Este tipo de polímeros pueden ser reutilizados varias veces por tener la capacidad de fundirse y solidificarse, es por ese motivo que los materiales termoplásticos son los más utilizados en la actualidad por tener dichas características.

Se debe tener en consideración que no todos los termoplásticos son útiles para la impresión 3D, para que dichos polímeros sean aptos para realizar dicho trabajo deben de pasar por una serie de pruebas como de extrusión en filamentos, extrusión para hacer impresión en 3D y probar el material solidificado ya cuando este impreso (Myfpschool, 2013). Además, el material debe ser resistente, tener buen acabado y perdurable.

### **1.3.2. PLA (Ácido Poliláctico)**

El PLA es un material que es muy utilizado en el mundo de la impresión 3D debido a su disponibilidad y el precio. Este es un polímero biodegradable procedente del ácido láctico, es fabricado por medio de recursos renovables en su totalidad, debido a que sus principales derivados son procedentes del trigo, maíz, la remolacha y la caña de azúcar, lo que hace fácil su extracción. Sin duda alguna este termoplástico tiene un sin número de particularidades propias que lo hacen superiores a muchos de los plásticos provenientes del petróleo, lo que provoca que sea utilizado en impresiones 3D y en una diversidad de aplicaciones en el mercado (HXX Ingeniería e impresión, 2015).



**Figura 1.1: Proceso de obtención del PLA**

Fuente: (Castro, 2015).

Como este polímero es biodegradable al tener contacto con diferentes compuestos ya sea el agua u óxidos de carbono se empieza a desgastar paulatinamente en moléculas más simples (Castro, 2015).

Por las razones expuestas con anterioridad se puede tener muchas pruebas para saber que el material PLA es adecuado para poder ser utilizado para desarrollar filamentos. Además, es uno de los materiales de impresión 3D más ecológico, este material requiere poca energía para procesarlo a diferencia de los termoplásticos procedentes del petróleo. Los filamentos de PLA para ser utilizados en impresoras 3D se pueden encontrar de diferentes colores en diámetros de 1.75mm y 3mm (MatterHackers, 2016).

### 1.3.2.1. Propiedades físicas y mecánicas del PLA

En cuanto a las propiedades físicas, químicas y mecánicas, se puede ir viendo algunos de los aspectos más importantes como el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción de este material es semejante al del polietileno, pero el PLA es más hidrofílico por su baja densidad. Se puede comentar también que es más inalterable por parte de la luz U.V, lo que provoca que sea más complicada su coloración. En lo que tiene

que ver con la inflamabilidad es muy baja (HXX Ingeniería e impresión, 2015).

Este termoplástico se puede trabajar para que sea tanto flexible como rígido, es decir se lo puede producir con diferentes propiedades mecánicas de acuerdo con el proceso de fabricación requerido.

**Tabla 1.1: Propiedades físicas y mecánicas del PLA**

<b>Propiedades PLA</b>	<b>Valores</b>
Temperatura de extrusión	205N± 15° C
Comienzo de fusión	160° C
Temperatura de transición vítrea	60° C
Densidad	1,25 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad (Young)	3.5 GPa
Elongación a la rotura	6%
Módulo de flexión	4 GPa
Resistencia a la flexión	80 MPa
Módulo de corte	2,4 GPa
Capacidad calorífica específica	1800 J/Kg-K
Relación fuerza-peso	40 KN-m/Kg
Resistencia a la tracción (UTS)	50 MPa
Conductividad térmica	0,13 W/m-K

Fuente: (MakeltFrom, 2017)

Elaboración propia.

### **1.3.3. ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**

El ABS es un termoplástico que es altamente resistente al impacto, usado en la producción de piezas mecánicas y otras áreas donde se necesitan objetos relativamente resistentes. Se dice que es un termoplástico debido a que es un plástico que cuando es expuesto a temperaturas altas puede llegar a deformarse e incluso a derretirse y cuando se enfría se endurece.

Es mayormente usado para fabricar piezas que deban soportar un mayor rango de temperatura y que sean duraderas. Usualmente los filamentos de ABS tienen mayor ductilidad y son menos quebradizos que los filamentos de PLA. Tiene una gran ventaja ya que este polímero después de ser

impreso se le puede brindar un acabado más brillante y suave al utilizar vapor de acetona. Al realizar impresiones con filamentos de ABS, se sugiere que la superficie este caliente.

Se debe tener en cuenta que los filamentos de ABS es un tipo de termoplástico duro y resistente por lo que pueden ser mecanizados, lijados, limados, taladrados, pulidos, pintados, pegados, etc. Todo esto con mucha facilidad y aun así pueden presentar un buen acabado (Escobar, 2013).

Los filamentos de ABS, al igual que los de PLA se pueden encontrar en una variedad de colores en diámetros de 1.75 mm y 3 mm (MatterHackers, 2016).

#### **1.3.3.1. Propiedades físicas y mecánicas del ABS**

Los materiales de ABS tienen un buen número de propiedades que lo hacen útil para diferentes procesos en la ingeniería, como principal característica esta la resistencia mecánica que brinda y la facilidad para ser procesado. El material ABS no se resiste a la radiación UV, por lo que es más fácil su coloración, no es tóxico y no tiene cloro, lo que permite ser útil para aplicaciones que conlleven alimentos y agua potable (HXX Ingeniería e impresión, 2015).

El ABS es un polímero que tiene tres bloques, estireno, butadieno y acrilonitrilo al contener los tres elementos se lo llama terpolímero. De esta manera cada elemento nombrado con anterioridad contribuye con unas propiedades diferente, el estireno aporta con la resistencia mecánica, rigidez, brillo, dureza; el butadieno aporta con tenacidad, resistencia al impacto y resistencia a la fusión; y por último el acrilonitrilo con la rigidez, dureza, resistencia a la fatiga y estabilidad a elevadas temperaturas (HXX Ingeniería e impresión, 2015) (Escobar, 2013). Al mezclarse estas propiedades provoca que el producto pueda ser utilizado en el desarrollo de equipos pesados, carcasas de

electrodomésticos, componentes de automóviles etc. En general lo que provoca que este material sea considerado mucho para diferentes aplicaciones industriales.

**Tabla 1.2: Propiedades físicas y mecánicas del ABS**

Propiedades ABS	Valores
Temperatura de extrusión	230 ± 10°C
Temperatura de transición vítrea	100°C
Densidad	1,03 a 1,38 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad (Young)	2 a 2.6 GPa
Elongación a la rotura	3% al 75%
Módulo de flexión	2.1 a 7.6 GPa
Resistencia a la flexión	69 a 97 MPa
Capacidad calorífica específica	1080 a 1400 J/Kg-K
Relación fuerza-peso	31 a 80 KN-m/Kg
Resistencia a la tracción (UTS)	37 a 110 MPa
Expansión térmica	81 a 95 µm/m-K
Temperatura de deflexión de calor a 1.82 MPa	76 a 110 °C

Fuente: (MakeltFrom, 2017).

Elaboración propia.

#### 1.3.4. Diferencias de los materiales ABS Y PLA.

El ABS es un material plástico que se lo utiliza muy frecuentemente para elaborar piezas mecánicas, por su mayor resistencia. Este termoplástico es muy valorado ya que puede alcanzar un acabado superficial alto, pero su principal problema es que es sensible al calor.

Por otro lado, el PLA es un material mucho más frágil que el ABS, por lo que lo hace un polímero no apto para la fabricación de piezas mecánicas, se puede imprimir con mayor facilidad y una ventaja muy importante con relación al ABS es que es biodegradable. Este termoplástico es creado a partir de plantas como la patata, remolacha y maíz. Este no se deriva del petróleo como el ABS, por ende, lo hace perfecto para cualquier tipo de envases de comidas. Al momento de ser impresos son más atractivos y más brillantes, una de sus desventajas es que son sensibles al calor, en otras palabras, los termoplásticos de material de PLA son menos resistentes a la temperatura que los ABS (Myfpschool, 2013).

El PLA al ser impreso tiene un olor placentero que es procedente del azúcar, en cambio el ABS tiene un olor parecido al plástico cuando se calienta. Es por tal motivo que se debe considerar que si se van a realizar varias impresiones con ABS, se debe tener un área con mayor ventilación.

### 1.3.5. Procesamiento del Plástico

El procesamiento de polímeros está comprendido por una serie de operaciones, que son semejantes a las utilizadas en el procesamiento de metales. Los plásticos se desarrollaron en la década de 1920 (Kalpakjian & Schmid, 2008), con vertiginoso crecimiento fundamentalmente en el consumo industrial de productos plásticos.

El tipo de procesamiento requerido utiliza menos fuerza que en los metales, visto de una forma general los plásticos pueden ser moldeados, fundidos, y termoformados para adquirir formas definidas; en la Tabla 1.3 se muestran los diferentes procesos de extrusión y sus características.

**Tabla 1.3: Características de procesos de formado en plásticos**

Proceso	Característica
Extrusión	Caracterizado por producción continua de secciones, uniformidad en el proceso, se tiene formas complejas sean solidad o huecas.
Moldeo por inyección	Caracterizado por formas complejas, con diversas dimensiones, espesores muy finos y elevadas tasas de producción, proceso costoso.
Moldeo de espuma estructural	Elementos de gran dimensión, alta rigidez y bajas capacidades de producción.
Moldeo por soplado	se obtiene elementos huecos de pared fina, botellas y recipientes de envasado, alta capacidad de producción
Rotomoldeo	Elementos grandes, huecos, con forma sencilla, producciones bajas.
Termoformado	Elementos con cavidades profundas, capacidad de producción media.
Moldeo por compresión	Elementos de producción similares al forjado, capacidades de producción medias.
Moldeo pro transferencia	Elementos muy complejos, costo elevado, existe perdida de material.
Fundición	Elementos de forma simple o compleja, utilización de moldes rígidos de bajo costo, baja capacidad de producción
Procesamiento de materiales compuestos.	Tiempos de producción largos, costos elevados.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

### **1.3.6. Proceso de Extrusión**

El termino extrusión proviene del latín *extrudere*, *ex* que significa “fuera de” y *trudere* que significa “empujar”; en este proceso se calienta el plástico que tiene forma de gránulos secos, el cual se hace pasar por una ranura con sección determinada (Terry L. & Erik, 2000), se obtiene la forma requerida a través de un dado o boquilla.

Originalmente para la extrusión de polímeros se utilizaba máquinas con golpes de ariete o empuje mecánico, en el proceso moderno se utilizan un sistema con tornillos en el cual se hace pasar el plástico fundido o gomoso a lo través de la extrusora, esto produce una operación continua. Un adecuado proceso de extrusión está compuesto por varias etapas, nombradas a continuación:

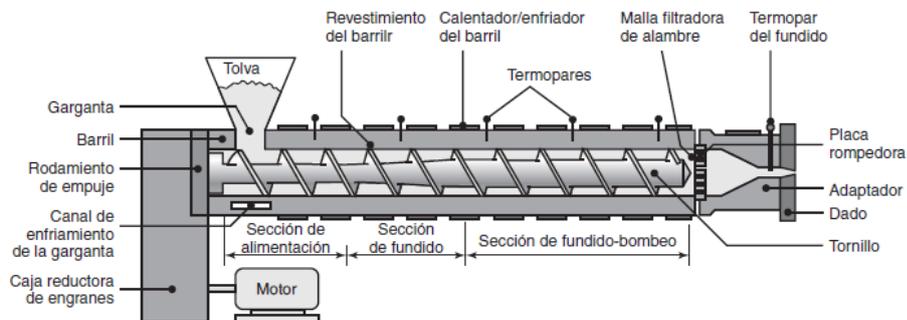
- Alimentación del material hacia la zona de fusión.
- Fusión del material base.
- Transportación dentro del tornillo de extrusión.
- Bombeo de alimentación y Presurizado.
- Mezclado del material.
- Conformado
- Enfriamiento

Los elementos que intervienen en la extrusión contienen principios de transportación, transferencia de calor, compactación, compresión del polímero, a través de la abertura del dado, bajo parámetros de presión y temperaturas constantes en las que el polímero se funde y se homogeniza.

### **1.3.7. Características de una Extrusora de tornillo simple**

El tornillo de extrusión está conformado por un hilo en espiral de rosca cuadrada, de diámetro constante en la cresta de rosca, que permite un ajuste de precisión en el barril de extrusión, la raíz de la rosca en cambio tiene un diámetro variable a lo largo de la longitud de la rosca, la

configuración determina que el diámetro del canal disminuye a medida que se aproxima a la zona de extrusión como se puede observar en la figura 1.2.



**Figura 1.2: Zona del Tornillo de extrusión.**

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Esta configuración permite un incremento de la presión a lo largo de la longitud de trabajo del tornillo, en consecuencia, se logra que el material fundido dentro del barril pase a través del orificio en el dado de extrusión; se examinarán las tres partes fundamentales que componen en tornillo de extrusión (Kalpakjian & Schmid, 2008):

**a) Zona de alimentación.**

Es la zona por donde ingresa el material granulado al tornillo de extrusión, aquí el material comienza a elevar su temperatura, se tiene la mayor profundidad en la hélice del tornillo la longitud de esta zona está determinada para la alimentación del material sea la correcta.

**b) Zona de Compresión.**

Esta zona del tornillo de extrusión se caracteriza por tener una profundidad de la hélice decreciente, cumple con varias funciones, la primera es expulsar el aire que se alberga en los gránulos de material, la segunda es mejorar la transferencia de calor proveniente de las paredes del barril calentando de mejor manera el material y se realiza el cambio de densidad del material al aumentar el calor recibido.

**c) Zona de extrusión.**

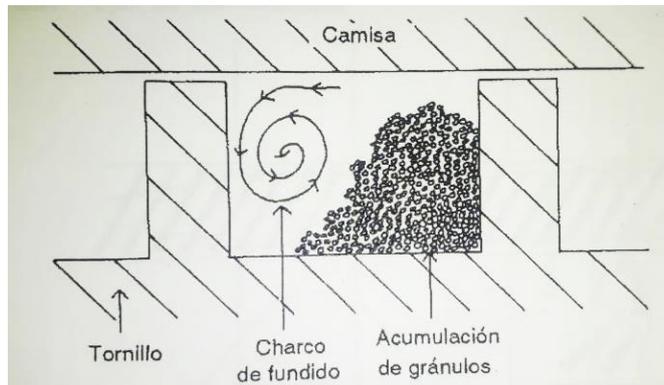
En esta zona se realiza la homogenización del material fundido, aquí la profundidad de la hélice es menor que en las zonas anteriores, con lo que se proporciona al material temperatura y presiones constantes para ser extruido.

**1.3.8. Método de fusión del material dentro del tornillo de extrusión.**

A medida que se transporta el material por la longitud del tornillo se logra un cambio de fase y de densidad del material gracias al calor transferido por conducción de las resistencias y es conducido por las paredes del barril, adicionalmente a esto la fricción que ejerce el material dentro del tornillo ayuda a este fenómeno.

Entre los canales de la rosca se produce la fusión, se crea una pasta de polímero fundido que se transporta al girar el tornillo; se crea un movimiento rotatorio en el cual el material pasa del borde del barril al núcleo fundido, a esto se le une nuevo material granulado en estado sólido transportado por el proceso hacia el material fundido, este es un proceso continuó hasta que se logra la fusión total del material. Se describe el este fenómeno en la figura 1.3 (Terry L. & Erik, 2000).

Existe fricción del material con el barril y el tornillo esto da lugar al *flujo de arrastre* del material como resultado de las fuerzas ejercidas por la fricción. Se opone a este flujo, el flujo de presión que se genera por la presión interna creada dentro del tornillo, y a este se le suma el flujo creado por la holgura entre el tornillo y el barril.



**Figura 1.3: Proceso de fusión.**

Fuente: (Terry L. & Erik, 2000)

#### **1.3.8.1. Eficiencia en la fisión.**

Terry L. & Erik, (2000) define parámetros que afectan a la eficiencia del proceso de extrusión, al inicio del proceso en la zona de alimentación el proceso tiene una alta eficiencia, a medida que avanza por el tornillo el material la fusión pierde eficiencia, la misma que depende exclusivamente de la geometría de la hélice del tornillo, a continuación se listan parámetros de diseño del tornillo para aumentar la eficiencia.

- Canal con mayor profundidad incrementa el flujo de material, pero la transferencia de calor no es óptima.
- Alta velocidad de operación incrementa la rapidez del proceso, poca homogenización en la fusión.
- Canal menos profundo, ayuda a un incremento de rapidez del proceso, mejora la transferencia de calor, pero como consecuencia se produce alto esfuerzo de corte que genera sobrecalentamiento.

#### **1.3.9. Efecto de las propiedades del polímero.**

Existen factores del polímero que intervienen en el proceso de extrusión, las propiedades reológicas del material y las propiedades de fricción, para que se dé el avance del material dentro del tornillo y este no gire simplemente con la rotación del tornillo, las fuerzas que ejercen la fricción

influyen para el avance del material; el material fundido adquiere el comportamiento de un fluido Newtoniano (Simonds & Church, 1964).

#### **1.3.10. Cambios en el material en el proceso de extrusión.**

Los productos que se generan en el proceso de extrusión que tiene configuración sólida, se controla el tamaño y la forma de estos perfiles a fin de obtener el producto con geometría definida. El material sufre un cambio de forma cuando sale de la extrusora, este fenómeno se denomina *esponjamiento de boquilla*. El material se expande en sentido horizontal, se debe tener en consideración la forma geométrica de la sección transversal esta debe ser uniforme para que la expansión también lo sea (Terry L. & Erik, 2000).

#### **1.3.11. Extrusión de Filamento.**

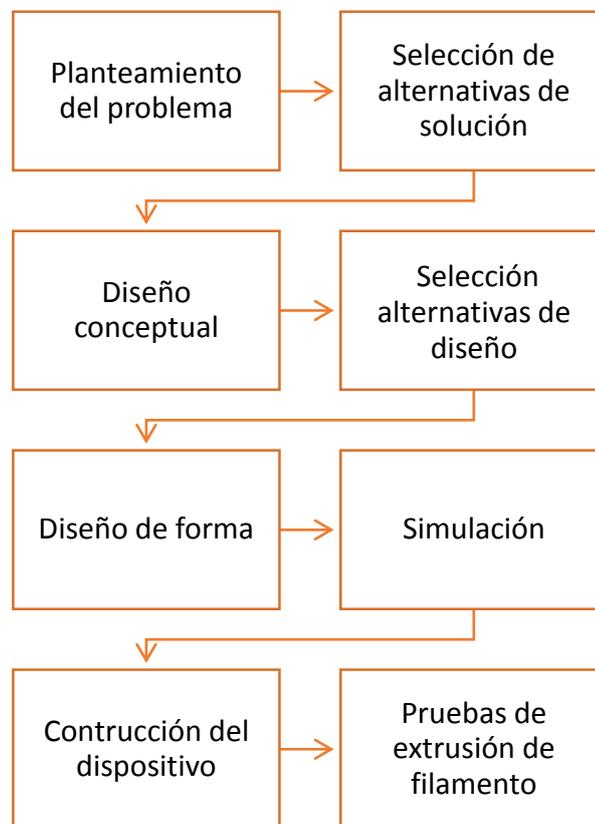
El filamento se caracteriza por ser una hebra de material extruido larga y de sección delgada, que en su mayoría están compuestos por monofilamentos o multifilamentos de polímero (Beltran Rico & Marcilla G., 2012).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Metodología de diseño

Para el proceso de construcción del dispositivo, se debe considerar un proceso esquemático, el cual proporciona una metodología óptima de diseño a seguir. La correcta elaboración y construcción del dispositivo se fundamenta en seguir este proceso de diseño el cual se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1. Esquema del proceso de diseño**

Fuente: Elaboración propia.

El planteamiento del problema consiste en definir la construcción y posterior prueba de extrusión de filamento para impresoras 3D, con la finalidad de poder construir una extrusora para extruir el filamento.

En la selección de las alternativas de diseño tenemos la construcción del dispositivo con elementos que encontramos en ferreterías, dado el ejemplo

del tornillo de extrusión, se utiliza una broca para concreto de dimensiones definidas en el diseño para concreto, por ello se define la alternativa de diseñar el tornillo de extrusión y así poder definir las dimensiones y parámetros del tornillo.

Una vez seleccionada la alternativa de diseño, se establecen los parámetros conceptuales para el diseño, dimensiones, potencia, caudal, torque y forma de los elementos a construir. El siguiente proceso es realizar el diseño de forma para el elemento a fin de poder visualizar las alternativas se realiza una simulación del dispositivo, con el fin de conocer los parámetros de funcionamiento tales como tolerancias, proceso de funcionamiento, restricciones, etc.

La construcción del dispositivo es el paso final habiendo realizado la aplicación de diseño conceptual, selección de elementos y simulación, este paso se realiza con ayuda de procesos de fabricación, procesos de manufactura, para posterior a ello realizar las pruebas de extrusión del filamento.

## **2.2. Diseño conceptual**

Se presentan las diferentes alternativas para el diseño de la extrusora, estas alternativas consideran especificaciones de funcionamiento definidas que se utilizarán en el montaje de la extrusora.

### **2.2.1. Alternativas de Diseño**

Para la selección de las alternativas para el diseño, se realizará una ponderación, con el fin de establecer un peso para cada alternativa en la selección de diferentes elementos de la constitución de la extrusora. Se presenta la ponderación en escala en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1: Progresión de ponderación**

Escala de ponderación	
0 a 0,2	Inaceptado
0,2 a 0,4	Poco aceptado
0,4 a 0,6	Aceptado
0,8 a 1	Muy aceptado

Fuente: Elaboración propia.

Para el tornillo sin fin se presentan las siguientes alternativas de diseño:

- a) Broca comercial para cemento, que se adquiere en ferreterías del medio, útil para la construcción de la extrusora, pero de costo elevado.
- b) Fabricación del tornillo de extrusión sin canales, cumple con requerimientos de diseño, mejora la eficiencia del sistema, costo de fabricación bajo.
- c) Fabricación tornillo sin fin con canales transversales, cumple con requerimientos de diseño, mejora la eficiencia, costo elevado de fabricación.

**Tabla 2.2: Matriz de decisión Tornillo Extrusión.**

Selección del tornillo sin fin				
Requerimiento/ alternativa	Costo	Eficiencia	Parámetros de diseño	Total
	0.5	0.3	0.2	
Broca comercial para cemento	0,4	0,3	0,5	0.45
Fabricación sin fin (sin canales)	0,8	0,7	0,7	0.75
Fabricación sin fin (con canales)	0,4	0,4	0,6	0.44

Fuente: Elaboración propia.

La alternativa seleccionada mostrada en la tabla 2.2 con el mayor peso fue “tornillo sin fin sin canales transversales”, de bajo costo de fabricación, mejora la eficiencia de la extrusora.

Para la selección del material del tornillo sin fin se tiene tres alternativas: a) acero AISI 304 (acero inoxidable), de excelente acabado superficial pero un costo elevado. b) acero DF2 (AISI 01), material de buen mecanizado, de gran dureza superficial. c) AISI 4340 (705) acero de gran resistencia a la tracción utilizado en maquinaria, alto costo de mecanizado por su dureza.

**Tabla 2.3: Matriz decisión Material Tornillo Extrusión**

Selección de Materia prima tornillo de extrusión				
Requerimiento/ alternativa	Costo	Resistencia	Mecanizado	Total
	0,3	0,5	0,2	
AISI 304	0,6	0,6	0,6	0,60
DF2 / AISI 01	0,6	0,7	0,8	0,69
AISI 4340 / 705	0,4	0,8	0,5	0,62

Fuente: Elaboración propia.

La mejor alternativa de diseño es el acero DF2/AISI 01, como se observa en la tabla 2.3 con la mayor ponderación, cumple con características de costos y buen mecanizado para la elaboración del tornillo sin fin de la extrusora.

El proceso de calentar el barril de extrusión se lo va a realizar por medio de resistencias alimentadas por un voltaje de 110-120 V, la distribución de las resistencias es fundamental para la óptima transferencia de calor, las distribuciones que se toman a consideración: a) Una resistencia colocada en la zona de extrusión, b) Dos resistencias una ubicada en la zona de extrusión y otra ubicada en la zona de transición y c) tres resistencias una en la zona de extrusión, en la zona de transición y una cerca de la zona de alimentación del tornillo de extrusión

**Tabla 2.4: Matriz decisión Distribución Resistencias.**

Selección de Distribución de resistencias				
Requerimiento/ alternativa	Costo	Eficiencia	Uniformidad transf. Calor	Total
		0,2	0,3	0,5
1 resistencia	0,8	0,4	0,5	0.53
2 resistencias	0,6	0,6	0,6	0.60
3 resistencias	0,4	0,8	0,8	0.72

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz presentada en la tabla 2.4 presenta la alternativa con mayor peso definida para el arreglo de las resistencias es la que está compuesta de tres resistencias ubicadas en la zona de extrusión, transición y alimentación, la principal característica es la uniformidad de transferencia de calor que se produce a lo largo del cilindro de extrusión.

El control de temperatura para el proceso de extrusión es una parte fundamental del diseño de la extrusora, tener un control óptimo y adecuado, controlando variables específicas como voltaje, resistencia, para esto se definen dos métodos de control para la temperatura que generan las resistencias: a) Un sistema de control con un controlador automático integrado en un dispositivo, en el cual se conectan las resistencias y los dispositivos para censar la temperatura (termocupla tipo K). b) Control de temperatura programado con Arduino para realizar la alimentación de voltaje a las resistencias, censar la temperatura mediante adaptadores y un sistema de control digital programable, con una retroalimentación PID para mantener estable la temperatura.

**Tabla 2.5: Matriz decisión Control de Temperatura.**

Selección de Control de Temperatura				
Requerimiento/ alternativa	Costo	Funcionalidad	Facilidad de uso	Total
	0,3	0,5	0,2	
Controlador automático	0,4	0,5	0,8	0,53
Sistema Programado (Arduino)	0,7	0,7	0,6	0,68

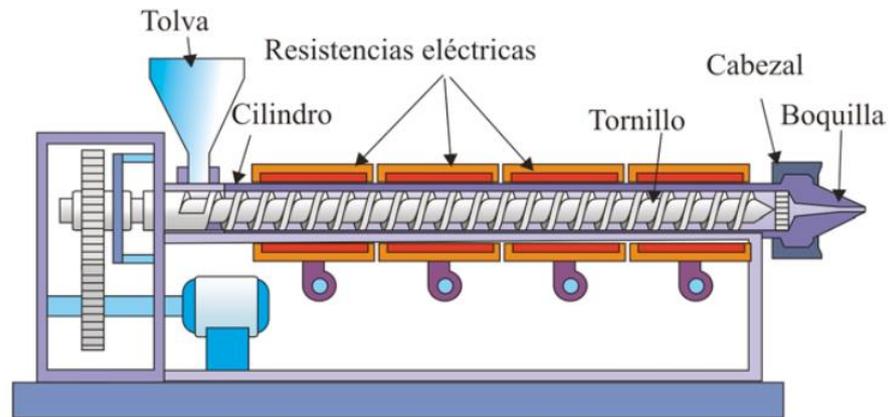
Fuente: Elaboración propia.

La alternativa seleccionada es un controlador de temperatura con programación PID y controlada por Arduino, alternativa que tuvo la mayor ponderación presentado en la tabla 2.5.

### **2.3. Descripción del diseño detallado de los componentes de la extrusora.**

La máquina de extrusión que se plantea construir básicamente está compuesta de un cilindro de extrusión, dentro del mismo se encuentra un tornillo, que al girar transporta el material desde la tolva de alimentación hasta la boquilla de extrusión donde va a salir el material en forma de filamento el cual será usado para las impresoras 3D. Al ser transportado el material por medio del tornillo de extrusión, ingresa a la tolva en forma de pellets donde se someterá a esfuerzos de cizalla y será comprimido y guiado hasta la boquilla, es importante recalcar que el material a lo largo de este recorrido será calentado por medio de resistencias eléctricas de tipo abrazadera las cuales estarán instaladas en el cilindro que rodea dicho tornillo.

Este tornillo de extrusión para hacerlo girar es importante diseñar un sistema de transmisión de potencia el cual está constituido de un motor eléctrico, un sistema de engranes y una cadena. Estos elementos se los diseñará considerando todos los requerimientos necesarios para lograr hacer funcionar dicha máquina de una manera correcta. En la figura 2.2, podemos observar como la extrusora está constituida.



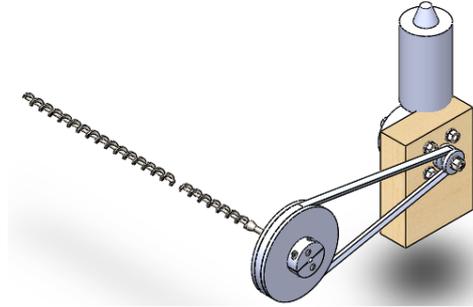
**Figura 2.2. Esquema de la máquina extrusora.**

Fuente: (Beltran Rico & Marcilla G., 2012)

Es importante tener claro cómo funciona cada sección de la máquina extrusora de filamento, por tal motivo que se detallará el diseño y funcionamiento de la máquina en su totalidad.

### **2.3.1. Sistema de transmisión**

Para diseñar el sistema de transmisión de potencia de la extrusora, en primer lugar, se calculó la potencia requerida del motor para que el sistema funcione de una manera correcta, además de las características principales que requería dicho motor. Es por tal motivo que se usará un motorreductor modelo EPG 133 (WEG, 2017) de corriente alterna el cuál funciona a 110 V, al usar el reductor le permite funcionar a la velocidad de trabajo necesaria y presentar una transmisión de potencia uniforme, esto es de acuerdo con la reducción que utiliza dicho motor. Junto al motorreductor irá acoplado un sistema de transmisión de potencia el cual consta de un piñón y un engrane junto a una cadena, lo que permite mover tornillo de extrusión, como se lo puede ver a continuación.



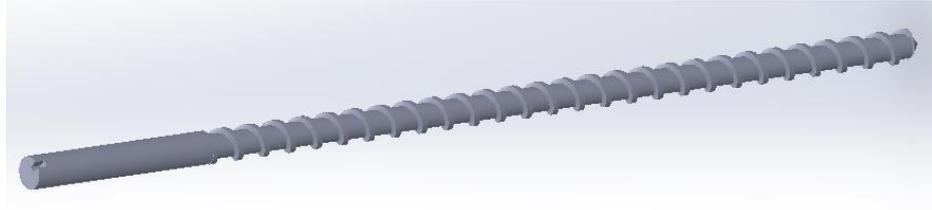
**Figura 2.3. Sistema de transmisión de potencia.**

Fuente: Elaboración propia.

Una de las principales ventajas que tiene dicho diseño, es que el sistema de engranes se puede intercambiar y lograr de esta manera cualquier tipo de relación de transmisión. Además, este engrane más pequeño (Piñón) el cual se lo acoplará al motor, irá sujeto con una especie de un manguito roscado al eje del motorreductor para evitar el movimiento entre ellos, recordar que el piñón es el que da impulso al sistema generando el movimiento del husillo de extrusión.

### **2.3.2. Tornillo de extrusión**

De acuerdo con las tolerancias que se dieron para el diseño del husillo de extrusión por parte del libro de Transformación de Procesos Termoplásticos con su autor Savgorodny (Savgorodny, 1976). Se logró diseñar un tornillo de extrusión adecuado para el funcionamiento de la máquina extrusora el cual se lo pudo construir de acuerdo con dichas tolerancias especificadas, dándole un ángulo de perfil de hélice coherente de acuerdo con los cálculos realizados. Esto permitió elevar la eficiencia de máquina extrusora hasta un 45%, ya que por lo general las máquinas caseras existentes tiene una eficiencia mucho menor a la especificada, es por tal motivo que se realizó un diseño interesante que permitirá que la extrusora funcione de una manera más eficiente.



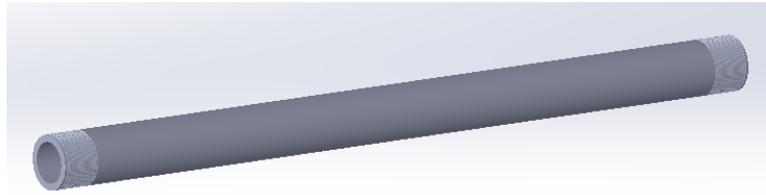
**Figura 2.4. Tornillo de Extrusión.**

Fuente: Elaboración propia.

Cabe recalcar que al momento de empezar a diseñar el husillo de extrusión es importante entender que dicho diseño tiene que estar acorde a los demás elementos de la máquina de extrusión, esto se debe a que, si se elige un diámetro del husillo mayor, se va a necesitar un motor con mayor potencia para poder mover dicho husillo y así esto puede elevar el costo de construcción de la extrusora. Es por tal motivo que el diámetro que se eligió para el diseño del husillo es 16 mm, una longitud de trabajo de 320mm y así presenta una relación de L/D de 20:1 que está dentro de las especificaciones de funcionamiento de una extrusora. De esta manera dicha máquina trabajará en condiciones adecuadas con el motorreductor de marca WEB EPG 133, ya que cumple con los requerimientos técnicos.

### **2.3.3. Barril de extrusión**

El barril de extrusión o cilindro es por donde se transportará el material a extruir, en su interior lo contiene al tornillo de extrusión como se muestra en la figura #2.5. La superficie interna del barril debe de ser poco rugosa para que permita fluir con normalidad el material a lo largo de la extrusora, el material que está constituido dicho cilindro es de Acero inoxidable AISI 304, ya que debe de ser un acero resistente incluso de mayor resistencia que la del tornillo, además se debe tener en cuenta evitar la corrosión y el desgaste mecánico del mismo.



**Figura 2.5. Cilindro de Extrusión.**

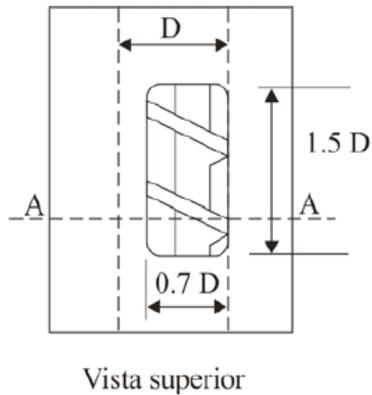
Fuente: Elaboración propia.

Este barril de extrusión debe ser calentado, este calentamiento se lo realizará mediante resistencias eléctricas cilíndricas que en forma de abrazaderas estarán localizadas a lo largo de su longitud.

El diseño más acorde a la máquina de extrusión que se está diseñando, se propuso utilizar un tubo de acero inoxidable 304 como ya se especificó con anterioridad, de acuerdo con las características geométricas que se requieren para el buen funcionamiento del equipo es de diámetro interno de 16,1 mm y un espesor de pared de 2,76mm. Al conseguir un tubo con esas características se le dará un correcto funcionamiento a la extrusora ya que la holgura máxima entre el cilindro y el tornillo de extrusión es de 0,08mm. Al ajustarse a las características requeridas por el diseño se logrará que exista poco flujo de retroceso lo que produce un aumento de caudal de salida.

#### **2.3.4. Garganta de alimentación**

La garganta de alimentación va conectada con la tolva por medio de una boquilla de entrada, las dimensiones de dicha boquilla por lo general son de 1.5 veces el diámetro cilindro y un ancho de 0.7 veces del mismo diámetro (Beltran Rico & Marcilla G., 2012).

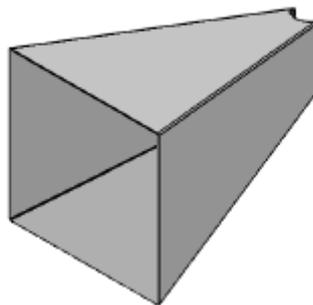


**Figura 2.6. Dimensiones de la Garganta de alimentación.**

Fuente: (Beltran Rico & Marcilla G., 2012)

### 2.3.5. Tolva de alimentación

La tolva es una especie de recipiente que es utilizada para introducir el material en la máquina extrusora. Es de vital importancia que la garganta de alimentación por medio de la boquilla se adapte perfectamente a la tolva, además que debe estar diseñada para que generen un flujo de material de manera constante. Es por tal motivo que se diseñó una tolva de sección rectangular, ya que dicha tolva genera un flujo adecuado para las exigencias de la máquina extrusora, la cual es más fácil su construcción y por ende tienen un precio menor que las de sección circular.

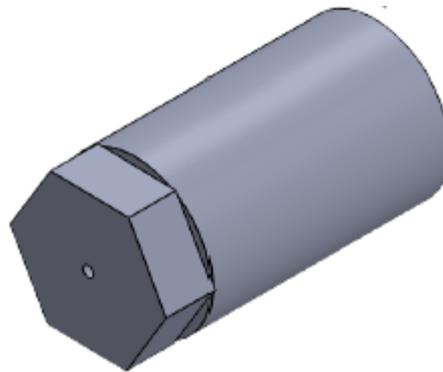


**Figura 2.7. Tolva de Alimentación.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.6. Dado de extrusión

El dado de extrusión o boquilla se encuentra en la zona final del cilindro de extrusión. La función principal del dado de extrusión es moldear el plástico y sacarlo en forma de filamento con un diámetro de 1.75mm. Tenemos un sistema cabezal-boquilla de forma anular, el cual tiene una longitud total de 48mm de largo, donde la sección que esta calibrada a un diámetro de 1.75mm tiene un largo de 25mm, la sección en forma de cono tiene una longitud de 8mm y el resto de la sección es circular lo cual se la diseñó con una rosca métrica a fin de que se pueda unir al cilindro de extrusión.



**Figura 2.8: Dado de Extrusión.**

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4. Funcionamiento del Sistema de Control

Es importante conocer el funcionamiento del sistema de control, por tal motivo se detallará el funcionamiento de cada dispositivo electrónico y además que función desempeñan dentro del sistema.

### 2.4.1. Arduino UNO

Es un dispositivo que realiza la función de ejecutar el código de lazo cerrado que contiene los parámetros de control del PID, al cual se conectan los actuadores, sensores de temperatura y el dispositivo pantalla LCD para visualizar la temperatura actual del sistema y demás parámetros de funcionamiento del sistema.

Hace el papel de tarjeta de control y tarjeta de adquisición de datos, ejecuta las funciones del código.



**Figura 2.9: Arduino UNO.**

Fuente: Elaboración propia.

#### **2.4.2. Termocupla tipo K,**

Son sensores de temperatura que emite una señal análoga, generalmente se las construye con dos alambres de diferente material y se unen en sus extremos. Al aplicar una temperatura en la unión esta produce un voltaje en el orden de milivoltios es decir muy pequeños. Esta termocupla censa la temperatura generadas por las resistencias que van unidas al cilindro de extrusión en forma de abrazaderas que se muestra a continuación.

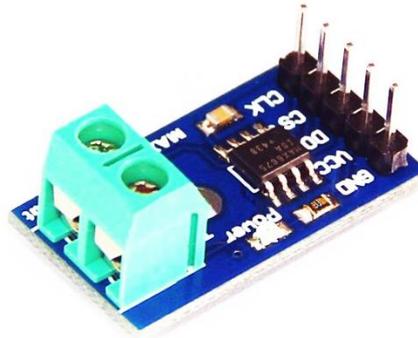


**Figura 2.10: Termocuplas tipo K y Resistencias.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.3. Max 6665, Adc Amplificador Para Termocuplas Tipo K Arduino

Recepta la señal del sensor (termocupla tipo K) el mismo que da una señal análoga y la tarjeta Max 6665 la convierte en señal digital.



**Figura 2.11: Dado de Extrusión.**

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.4. Relee de estado Sólido

Es un dispositivo que ejecuta la función de conmutar, para dar paso de voltaje o corriente a los dispositivos actuadores del sistema (resistencias eléctricas, motor, y ventilador) para accionarlos y ejecutar una función de intermitencia (on, off) de energía y mantener la temperatura del sistema. Este tipo de relee conmuta más rápido y el control se realiza por medio de señal PWM, en comparación al relee magnético este tiene mayor desgaste ya que conmuta mecánicamente

Octocoplador, separa el sistema de control con el sistema de fuerza.



**Figura 2.12: Relee de estado sólido.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4.5. Pantalla LCD con shield,

Está constituida por un LCD de 16 caracteres y dos filas, cuenta con 6 teclas de tipo “push-boton” que son de uso múltiple en función de lo que se programe, se conecta al Arduino directamente mediante pines macho.



**Figura 2.13: Pantalla LCD con shield.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.5. Selección de Material para el husillo

Al momento de seleccionar el material para el husillo se debe tener una serie de consideraciones ya que a las condiciones que va a operar y los factores tanto químicos como mecánicos que van a intervenir van a ir afectando al husillo a medida que vaya teniendo mayores horas de trabajo, esto se debe a que dicho husillo va a someterse a elevados esfuerzos, es por tal motivo que se debe considerar un material que tenga características acordes a las exigencias de trabajo.

Al analizar una serie de alternativas de materiales se llegó a la conclusión que el material adecuado para el tornillo sin fin es el acero DF2 AISI 01 el cual se encuentra en nuestro mercado, este material tiene una serie de ventajas sobre los demás, las consideraciones más importantes son: El bajo costo, alta resistencia y fácil de mecanizar.

El AISI 01 es un acero al manganeso-cromo-tungsteno templable en aceite y muy versátil, es considerado un excelente elemento para realizar trabajos en frío, entre sus principales características cuenta con unas buenas características de mecanizado, alta resistencia al desgaste, buena

combinación de gran dureza superficial y tenacidad tras el temple y revenido, y además buena estabilidad dimensional en el temple. (Ivan Bohman , 2018) Su principal característica física es que alcanza una dureza de 62 HRC, y puede trabajar a temperatura ambiente hasta temperaturas más elevadas sin perder ninguna propiedad.

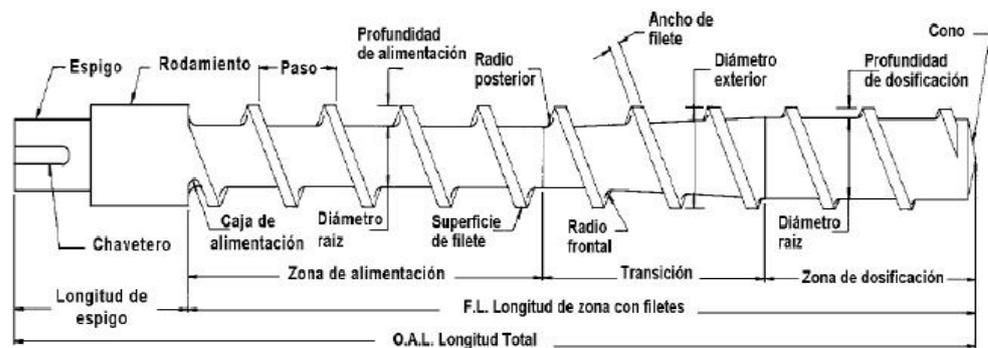
El DF2 puede ser utilizado en aplicaciones y herramientas de conformación en frío periféricos donde necesitan alta resistencia al desgaste. Además, en herramientas para trabajar en madera, matrices de porcelana, cortadoras, tornillos, brocas, acoples, perforadoras, expulsores, pistones, ruedas dentadas e incluso instrumentos de medición (Ivan Bohman , 2018).

Es por estas características que lo hace un acero adecuado para la elaboración de herramientas que vayan a estar sometidas a grandes esfuerzos.

## 2.6. Diseño de los elementos de la Extrusora

### 2.6.1. Diseño del tornillo de extrusión.

El tornillo está determinado por su forma geométrica, es muy común que se utilicen relaciones de longitud frente al diámetro  $L/D = (20 \text{ a } 30)$ , el cual se compone de tres partes fundamentales: 1) Sección de alimentación; 2) sección de compresión; 3) sección de fundición o dosificación. Cada una con una relación determinada de  $L/D$ .



**Figura 2.14. Partes Tornillo Extrusión**

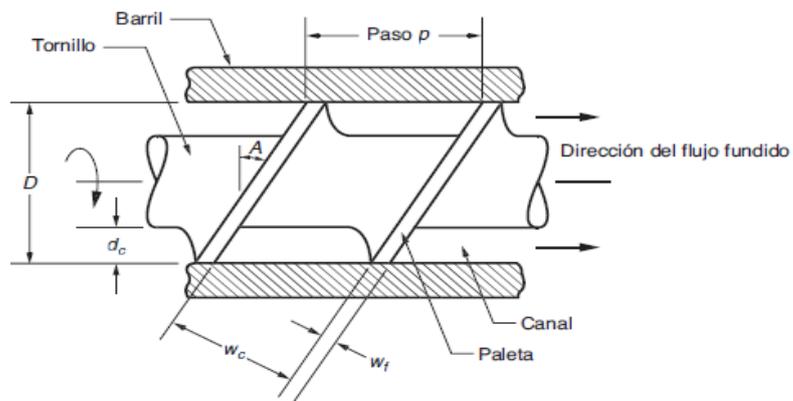
Fuente: (Castro, 2015).

El diámetro seleccionado para el tornillo es de **16 mm**, en consecuencia.

$$\text{Relacion } \frac{L}{D} = 20 \quad L = 20xD \quad (2.0)$$

$$L = 320 \text{ mm}$$

El cálculo anterior indica la longitud del tornillo de extrusión, para fines de trabajo se utiliza una sección que va del 70% a 80% de la dicha longitud para el proceso, el resto se utiliza para la alimentación de la tolva.



**Figura 2.15: Características internas del Tornillo de extrusión.**

Fuente: (Groover, 2007)

Para el cálculo del usillo Savgorodny, (1976) recomienda las siguientes ecuaciones empíricas:

$$t = (0.8 \text{ a } 1.2)D; \quad (2.1)$$

$$e = (0.06 \text{ a } 0.1)D; \quad (2.2)$$

$$h_1 = (0.12 \text{ a } 0.16)D; \quad (2.3)$$

$$L_3 = (0.4 \text{ a } 0.6)L; \quad (2.4)$$

$$\delta = (0.002 \text{ a } 0.005)D, \quad (2.5)$$

Donde:

t= Paso del husillo

e= Ancho cresta del filete

h<sub>1</sub>= Profundidad del canal helicoidal

$L_3$ = Longitud de la zona de extrusión

$L$ = Longitud de trabajo

$\delta$  = Holgura entre el husillo y el cilindro de extrusión.

$D$ = Diámetro del tornillo.

La configuración preliminar del husillo queda constituida con los siguientes parámetros:

$$t = 1 * 16$$

$$t = 16 \text{ mm}$$

$$e = 0.1 * 16$$

$$e = 1.6 \text{ mm}$$

*para fines de fabricación se utilizara 3 mm;*

$$h_1 = 0.16 * 16$$

$$h_1 = 2.56 \text{ mm};$$

$$L_3 = (0.4 \text{ a } 0.6)L; \quad \text{con } L = 320\text{mm}$$

$$L_3 = (128 \text{ a } 192) \text{ mm}$$

$$L_3 = 192 \text{ mm}$$

$$\delta = (0.002 \text{ a } 0.005)D,$$

$$\delta = (0.032 \text{ a } 0.08) \text{ mm},$$

Se determina el ángulo de perfil de la hélice del tornillo de extrusión.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{t}{\pi * D}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{16}{\pi * 16}$$

$$\varphi = 17.66^\circ$$

A continuación, se procede al cálculo de Eficiencia Volumétrica

$$Eficiencia = \frac{Q_{max}}{Q_i}$$

$$Eficiencia = 1/2 \cos^2(\varphi)$$

$$Eficiencia = 1/2 \cos^2(17.66^\circ)$$

$$Eficiencia = 0,45$$

$$Eficiencia = 45\%$$

Como podemos observar la eficiencia calculada de nuestro equipo será de un 45%, esto se debe a que el diámetro del tornillo sin fin es igual al paso, al ser diseñado el husillo y ser construido de acuerdo a las medidas estimuladas por el libro de (Savgorodny, 1976) se puede aumentar dicha eficiencia en la máquina extrusora.

### 2.6.2. Análisis de flujo dentro del cilindro de extrusión.

El gasto volumétrico de la extrusión tiene la característica que está conformado por tres tipos diferentes de flujo del material que interviene dentro del cilindro de extrusión: 1) Componente del flujo provocado por el tornillo de extrusión y su configuración geométrica llamado flujo de arrastre, 2) El flujo de presión provocado por el contraflujo que se produce en la zona del dado de extrusión y 3) El flujo que se produce por la filtración de flujo en la holgura del tornillo y el cilindro llamado flujo de fuga.

La ecuación para determinar el flujo es la siguiente (Savgorodny, 1976):

$$Q = \left( \frac{\alpha * k}{k + \beta + \gamma} \right) * n$$

$\alpha$  = flujo de arrastre.

$\beta$  = flujo de presión.

$\gamma$  = flujo de filtración

$n$  = número de revoluciones

$k = \text{constante de forma geométrica}$

### 2.6.2.1. Flujo de arrastre

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \cos^2 \varphi}{2}$$

$m = \text{Número de canales del husillo}$

$h = \text{Altura del canal}$

$D = \text{Diámetro del tornillo}$

$e = \text{Ancho de la cresta del filete}$

$\varphi = \text{Ángulo del perfil de la hélice}$

$L = \text{Longitud de trabajo}$

$$\alpha = \frac{\pi * (1) * (16 \text{ mm}) * (2.56 \text{ mm}) * \left(\frac{16 \text{ mm}}{1} - 3 \text{ mm}\right) * \cos(17.66^\circ)^2}{2}$$

$$\alpha = 759.44 \text{ mm}^3$$

### 2.6.2.2. Flujo de presión

$$\beta = \frac{m * h^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) * \sin \varphi * \cos \varphi}{12 * L}$$

$L = \text{Longitud de trabajo}$

$$\beta = \frac{(1) * (2.56 \text{ mm})^3 * \left(\frac{16 \text{ mm}}{1} - 3 \text{ mm}\right) * \sin(17.66^\circ) * \cos(17.66^\circ)}{12 * 320 \text{ mm}}$$

$$\beta = 0.016 \text{ mm}^3$$

### 2.6.2.3. Flujo de filtración.

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * \delta^3 * \tan \varphi}{10 * e * L}$$

$\delta = \text{holgura entre el usillo y el cilindro de extrusión.}$

$$\gamma = \frac{\pi^2 * (16mm)^2 * (0.08mm)^3 * \tan(17.66^\circ)}{10 * (3mm) * 320mm}$$

$$\gamma = 0.0000429 \text{ mm}^3$$

#### 2.6.2.4. Constante total de forma geométrica del dado

El diseño del dado de extrusión se define más adelante, preliminarmente las dimensiones son 1.75 mm de diámetro y 30 mm de largo para el dado de la forma cónica.

Se procede a calcular el valor de k, donde el cabezal tiene diferentes zonas de diferente configuración, las cuales se establecerá una constante para cada una, y así obtener el coeficiente de forma geométrica equivalente.

Para el diseño de la boquilla del dado de extrusión se consideran dos formas geométricas:

- Forma cónica
- Forma cilíndrica

A continuación, se procede a calcular para la forma cónica (Savgorodny, 1976):

$$k_1 = \frac{\pi * D^4}{128 * L}$$

D = Diámetro del canal del dado

L = Longitud del canal.

$$k_1 = \frac{\pi^2 * (1.75)^4}{128 * (30)}$$

$$k_1 = 0.007673 \text{ mm}^3$$

Para la forma cilíndrica se considera el siguiente cálculo:

$$k_2 = \frac{3 \pi * d_o^3 * d_1^3}{128 * L * (d_o^3 + (d_o * d_1) + d_1^3)}$$

$d_o$  = Diámetro de entrada del material en un canal anular cilíndrico.

$d_1$  = Diámetro de salida del material en un canal anular cilíndrico

$$k_2 = \frac{3 \pi * 16.10^3 * 1.75^3}{128 * 8 * (16.10^3 + (16.10 * 1.75) + 1.75^3)}$$

$$k_2 = 0.049 \text{ mm}^3$$

La constante de la cabeza perfiladora o dado se procede a calcular como la suma de las resistencias experimentadas en las distintas zonas.

$$k = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_n}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{0.007673 \text{ mm}^3} + \frac{1}{0.049 \text{ mm}^3}}$$

$$k = 0.006634 \text{ mm}^3$$

El flujo total dentro del cilindro de extrusión queda determinado de la siguiente manera; para el cálculo se toma una velocidad de rotación de 20 rpm.

$$Q = \left( \frac{\alpha * k}{k + \beta + \gamma} \right) * n$$

$$Q = \left( \frac{(759.44 \text{ mm}^3) * (0.006634 \text{ mm}^3)}{0.006634 \text{ mm}^3 + 0.016 \text{ mm}^3 + 0.0000429 \text{ mm}^3} \right) * 20$$

$$Q = 4443.39 \frac{\text{mm}^3}{\text{mit}}$$

Con los valores de densidad que se encuentra en la tabla 1.1 podremos obtener el valor flujo másico del material extruido en Kg/h

$$Q = 4443.39 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}} = 2.66 E^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = \left( 2.66 E^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * \left( 1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\dot{m} = 0.3325 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 332.5 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

### 2.6.3. Análisis de potencia requerida

La potencia necesaria para el accionamiento del husillo de extrusión se establece mediante la siguiente expresión (Savgorodny, 1976).

$$P = \frac{\pi * D^3 * n}{K^2}$$

*D = Diámetro de la broca*

*n = Número de revoluciones*

*K = Factor de proporcionalidad*

*P = Potencia*

El valor de K= 66,7.

$$P = \frac{\pi * (16)^3 * (20rpm)}{(66.7)^2}$$
$$P = 57 W$$

Dado este valor se escogerá el motor con el sistema de reducción que cumpla con estas características.

### 2.6.4. Cálculo de la Viscosidad efectiva

Es de vital importancia obtener la viscosidad efectiva del material que se va a utilizar, ya que con este valor se calculará las presiones que se van a producir en la extrusora.

Para obtener la viscosidad efectiva es necesario realizar el cálculo de la velocidad de cortadura. Ya que posteriormente se va a utilizar un diagrama que hace relación entre la velocidad de cortadura y la temperatura de trabajo (Temperatura de extrusión PLA), donde al interceptarse dichos valores nos dará el valor de la viscosidad efectiva.

A continuación, se realiza el cálculo de la velocidad de cortadura con la siguiente fórmula.

$$V = \frac{32 * Q}{\pi * d^3}$$

$V =$  Velocidad de cortadura

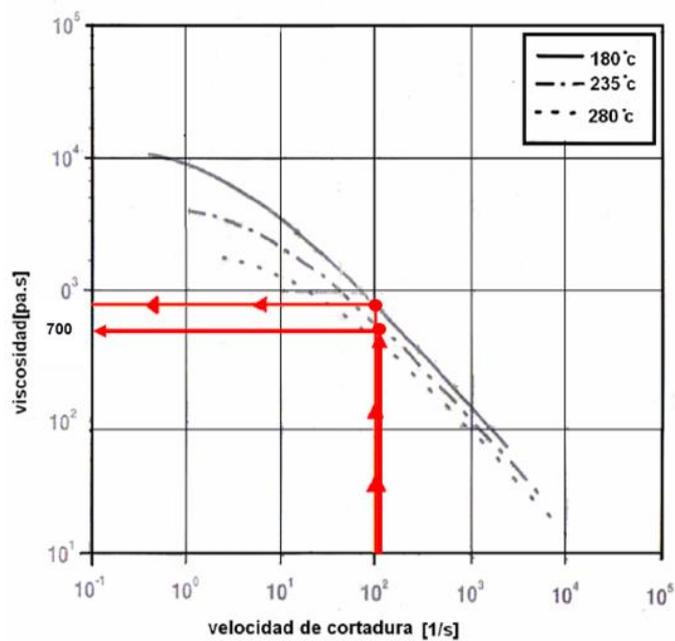
$Q =$  Caudal

$d =$  Diámetro del dado de extrusión

$$V = \frac{32 * 2.66 E^{-4} \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}}{\pi * (1.75 E^{-3}m)^3}$$

$$V = 140.43 \frac{1}{s}$$

Al obtener la velocidad de cortadura con los cálculos ya realizados, procedemos a obtener la viscosidad efectiva mediante la siguiente gráfica.



**Figura 2.16: Gráfica de relación de la Viscosidad efectiva.**

Fuente: (Savgorodny, 1976)

Donde se puede observar que trabaja en función de la velocidad de cortadura y de la temperatura de trabajo de acuerdo con el material que se vaya a trabajar. Para fines del proyecto que se está realizando se tomará una temperatura aproximada de trabajo de 235° C, ya que los materiales con los que se van a trabajar su temperatura de extrusión están alrededor de dicha temperatura.

Entonces al utilizar la gráfica se obtuvo una viscosidad efectiva de aproximadamente: **700 Pas**

### **2.6.5. Cálculo de Presiones en la extrusora**

Es de vital importancia hacer el cálculo de las presiones que se ejercen en la parte delantera del husillo, ya que al tener los valores de estas presiones se podrá calcular los factores de acabado y procesado del material.

#### **2.6.5.1. Presión máxima**

Se tomará como referencia  $Q=0$ , para determinar la presión máxima que se produce en parte delantera del tornillo de extrusión (Savgorodny, 1976).

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{6 * \pi * D * L_3 * n * \mu}{h^2 * \tan\varphi}$$

$h$  = Profundidad del canal.

$D$  = Diámetro de la broca.

$n$  = Número de revoluciones.

$\mu$  = Viscosidad efectiva.

$L_3$  = Longitud de la zona de extrusión =  $320 * 0.6 = 192mm$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{6 * \pi * 0.016m * 0.192m * (20rev/min) \left(\frac{1min}{60s}\right) * 680Pa.s}{(0.00256m)^2 * \tan 17.66^\circ}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 6290652.31 Pa = 6.29MPa$$

### 2.6.5.2. Presi3n de operaci3n

Se procede a calcular la presi3n de operaci3n en la extrusora, la cual se concentra en la zona del dado de extrusi3n (Savgorodny, 1976).

$$P_{oper} = \frac{2 * \pi * \mu * D^2 * n * h * \text{sen}\varphi * \text{cos}\varphi}{\frac{R^4}{2L_d} + \frac{D * h^3 * \text{sen}^2\varphi}{2L}}$$

$L_d$  = Longitud cil3ndrica del dado.

$R$  = Radio del dado.

$L$  = Longitud de trabajo

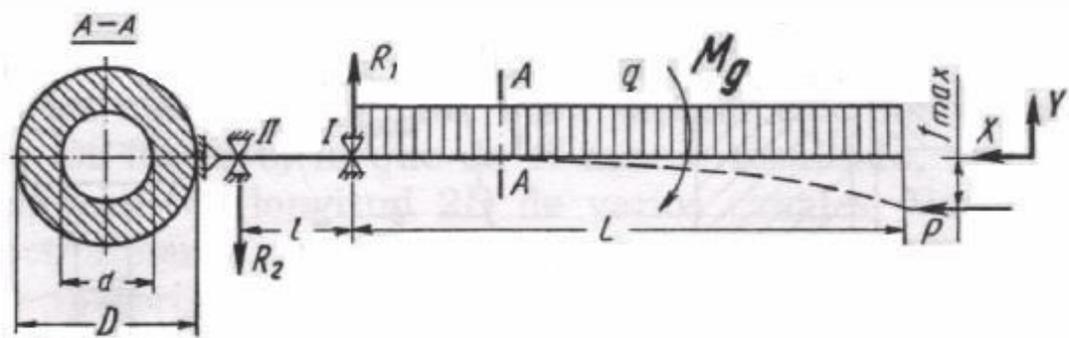
$$P_{oper} = \frac{2 * \pi * 680Pa.s * (0.016m)^2 * (20rev/min) \left(\frac{1min}{60s}\right) * 0.00256m * \text{sen}17.66^\circ * \text{cos}17.66^\circ}{\frac{(0.000875m)^4}{2(0.03m)} + \frac{(0.016m) * (0.00256m)^3 * \text{sen}^2 17.66^\circ}{2(0.32m)}}$$

$$P_{oper} = 5577957.96 Pa = 5.57 MPa$$

### 2.6.6. C3lculo de fuerzas del husillo

Para los c3lculos referentes al husillo se procede a realizar una serie de comprobaciones con referencia a la resistencia de este, por lo cual se comprobar3 las dimensiones asignadas con anterioridad del husillo y determinar la flecha m3xima admisible.

Para tener m3s claro las tensiones que se producen en el husillo se adjunta el siguiente diagrama.



**Figura 2.17 Diagrama de fuerzas en el Husillo.**

Fuente: (Savgorodny, 1976)

Donde podemos observar que sobre el husillo actúa una fuerza axial  $P$ , el momento de giro  $M_g$ , y la carga uniforme distribuida  $q$ , la cual se produce del propio peso del husillo. La fuerza  $P$  y la carga distribuida  $q$ , originan la flecha  $f$  en el husillo.

Para lograr comprobar si el husillo que se pre-diseñó es el adecuado para el proyecto, en primer lugar, se procede a realizar el cálculo de la fuerza en el husillo, para lo cual necesitamos el torque que nos proporciona la fuerza aplicada en una palanca para hacer rotar un elemento sobre un eje, al aplicar una fuerza sobre el extremo de una llave se genera un torque que hace girar el husillo. En otras palabras, se procede al cálculo de la fuerza axial que actúa, momento de giro y la carga distribuida, la cual se origina por el peso del husillo.

Para poder calcular el momento torsor del motor utilizamos la fórmula empírica dada por (Savgorodny, 1976).

$$M_g = 9550 * \frac{N}{n}, [N.m]$$

$N$  = Potencia del motor en kW.

$n$  = Número de revoluciones.

$M_g$  = Momento torsor del motor.

$$M_g = 9550 * \frac{0.17kW}{20rpm} = 81.17 N.m$$

Antes de hacer el cálculo de las fuerzas que actúan sobre el husillo es importante calcular la esbeltez del mismo, en la mayoría de casos  $\lambda < 120$ . El cálculo se lo realizará con las siguientes fórmulas (Savgorodny, 1976):

$$\lambda = \frac{\alpha L}{R_i}$$

donde:

$\lambda$  = Esbeltez del husillo.

$\alpha = 2$

$R_i$  = Radio de inercia.

El coeficiente  $\alpha = 2$ , depende del procedimiento empleado, en este caso se fija el extremo del árbol, como se lo observa en la figura 2.17

La fórmula del radio de inercia es igual a:

$$R_i = \sqrt{\frac{J}{S}}$$

J = Momento de inercia.

S = Sección transversal del husillo.

Cálculo de la sección transversal del husillo seccionado por A-A.

$$S = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (1 - u^2)$$

$$S = \pi \left(\frac{0.016}{2}\right)^2 * (1 - 0.625^2) = 1.23 E^{-4} m^2$$

Cálculo del momento de inercia:

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} (1 - u^4)$$

$$J = \frac{\pi * (0.016m)^4}{64} (1 - 0.625^4) = 2.73E^{-9} m^4$$

Entonces el radio de inercia es:

$$R_i = \sqrt{\frac{2.73E^{-9} m^4}{1.23 E^{-4} m^2}} = 4.71E^{-3}m$$

La esbeltez del husillo es igual a:

$$\lambda = \frac{2*0.32m}{4.71E^{-3}m} = 136.17$$

Al obtener la esbeltez del sistema es una manera de poder predecir la inestabilidad elástica del husillo, ya que relaciona la rigidez de la sección transversal con su longitud total.

El siguiente cálculo que se va a realizar es la relación entre los diámetros del husillo.

$$u = \left(\frac{d}{D}\right)$$

$$u = \left(\frac{0.010m}{0.016m}\right)$$

$$u = 0.625$$

Una vez hecho el cálculo de la relación existente entre los diámetros del husillo, procedemos a calcular la fuerza que actúa sobre el husillo, la cual es la multiplicación entre la superficie de la sección transversal del husillo y la presión específica que se genera en la parte delantera del husillo (Presión máxima) (Savgorodny, 1976).

$$F = S * p, [N]$$

*F = Fuerza Axial.*

*S = Sección Transversal del husillo.*

*p = Presion en la parte delantera del husillo.*

En el cálculo ya realizado de la sección transversal del husillo se lo multiplica por la presión máxima que es la que actúa en la parte delantera del tornillo de extrusión y se obtiene la fuerza que actúa sobre el husillo.

$$F = (1.23 E^{-4} m^2) * 6.29 MPa ,$$

$$F = 770.66 [N]$$

Se procede a calcular la tensión tangencial máxima sobre la superficie del husillo:

$$\tau = \frac{M_g}{W_p} , \left( \frac{N}{m^2} \right)$$

$\tau$  = Tensión tangencial.

$M_p$  = Momento torsor.

$W_p$  = Momento polar de resistencia.

$$W_p = \frac{\pi * D^3}{16} (1 - u^4)$$

$$W_p = \frac{\pi * 0.016^3}{16} (1 - 0.625^4) = 6.82 E^{-7} m^3$$

$$\tau = \frac{M_g}{W_p} = \frac{81.17 N.m}{6.82 E^{-7} m^3}$$

$$\tau = 119.01 MPa$$

Ahora se realiza el cálculo de las tensiones normales, las cuales son provocadas por la fuerza axial F y la carga distribuida q, donde las tensiones máximas se presentarán en el rodamiento.

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{M_f}{W_o}$$

$F = \text{Fuerza Axial.}$

$M_f = \text{Momento de flexión máximo.}$

$S = \text{Sección transversal del husillo.}$

$W_o = \text{Momento resistente respecto al eje neutro.}$

$$W_o = \frac{\pi * D^3}{32} (1 - u^4)$$

$$W_o = \frac{\pi * 0.016^3}{32} (1 - 0.625^4) = 6.40 E^{-7} m^3$$

$$M_f = \frac{\gamma * L^2}{2} * \frac{\pi * D^2}{4} * (1 - u^3), N.m$$

$L = \text{Longitud total de trabajo.}$

$u = \text{Relación existente entre los diámetros del husillo.}$

$\gamma = \text{Densidad del material del husillo.}$

$D = \text{Diámetro del husillo.}$

El material del husillo escogido es un acero al manganeso- cromo- tungsteno, templable en aceite y muy versátil, para uso general. Su densidad es:

$$\gamma = 7750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$M_f = \frac{(7750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * (0.32\text{m})^2}{2} * \frac{\pi * (0.016\text{m})^2}{4} * (1 - 0.625^3), N.m$$

$$M_f = 0.59 N.m$$

Ahora procedemos al cálculo de la tensión normal

$$\sigma = \frac{770.66[N]}{1.23 E^{-4} m^2} + \frac{0.59 N.m}{6.40 E^{-7} m^3}$$

$$\sigma = 7187403.45 \frac{N}{m^2} = 7.18 \text{ MPa}$$

Para el cálculo de la solidez del husillo, procedemos aplicar la tercera teoría de resistencia, y encontrar la resistencia equivalente. Para lo cual usamos la tensión normal y la tensión tangencial máxima que se lo calculó con anterioridad.

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2}$$

$\sigma_r =$  Tensión resultante.

$\sigma =$  Tensión normal.

$\tau =$  Tensión tangencial.

$$\sigma_r = \sqrt{(7.18 \text{ MPa})^2 + 4 * (119.01 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_r = 238128269.6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_r = 238.12 \text{ MPa}$$

Con el resultado obtenido se puede comprobar si el husillo soporta la tensión que se le va a ejercer, de acuerdo a catálogo el esfuerzo admisible del Acero DF2 (AISI 01) es  $436.9 \text{ MPa}$ . (Ivan Bohman , 2018)

Para que el diseño del husillo sea correcto el esfuerzo resultante debe ser menor al esfuerzo admisible.

$$\sigma_r < \sigma_{adm}$$

$$\mathbf{238.12 \text{ MPa} < 436.9 \text{ MPa}}$$

Si cumple la condición de diseño, esto quiere decir que el material del husillo es el adecuado para el diseño.

Para finalizar se procede a calcular la flecha máxima del husillo al aplicar la carga distribuida (Savgorodny, 1976).

$$f_{\text{máx}} = \frac{q * L^4}{8 * E * J}$$

$f_{\text{máx}}$  = Flecha máxima.

$q$  = Peso del husillo por metro lineal.

$L$  = Longitud de trabajo.

$J$  = Momento de inercia de la sección transversal

$E$  = Módulo de elasticidad del material.

$E = 185 \text{ GPa}$

$$f_{\text{máx}} = \frac{q * L^4}{8 * E * J}$$

Donde:

$$q = \gamma * g * A.$$

$\gamma$  = Densidad del material .

$g$  = Gravedad.

$A$  = Área del husillo.

$$q = 7750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.019 \text{ m}^2$$

Se calcula el momento de inercia:

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} (1 - u^4)$$

$$J = \frac{\pi * (0.016\text{m})^4}{64} (1 - 0.625^4) = 2.73\text{E}^{-9} \text{ m}^4$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{(7750 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.019 \text{ m}^2) * (0.32\text{m})^4}{8 * (185 \text{ GPa}) * (2.73\text{E}^{-9} \text{ m}^4)}$$

$$f_{m\acute{a}x} = 3.75E^{-3}m = 3.75mm$$

Con referencia al cálculo de la flecha máxima se puede concluir que el husillo tendra una flecha muy pequeña, lo que significa que tiene una deflexión mínima debido a los esfuerzos que intervienen en el husillo y se lo considera como aceptable.

### 2.6.7. Selección de cadena y catarinas

Para realizar la selección adecuada para la cadena y catarinas se seguir el ejemplo realizado por el catálogo (SKF , s.f.), esta empresa es considerada una marca líder a nivel mundial en sistemas de transmisión de potencia.

- **Para Fuente de Potencia:** Motor DC de arranque directo

Potencia del motor = 0.23 hp = 170 W

Velocidad de giro = 60 rpm

- **Maquinaria a mover:** Tornillo de extrusión (Extrusora)

Velocidad de giro = 20 rpm

Distancia mínima entre centros = 265 mm

#### 2.6.7.1. Cálculo de la potencia de diseño

Se aplica el factor de servicio para corregir la potencia de diseño.

De acuerdo con la tabla que se encuentra en el Apéndice 1.1, se procede a obtener el factor de servicio que es igual 1, debido a que en la construcción de la máquina se utilizó un motor eléctrico que ejerce una carga uniforme.

Entonces para el cálculo la potencia de diseño, se multiplica la potencia del motor por el factor de servicio (SKF , s.f.).

$$PD = Fs \times Pm$$

Donde:

*PD = Potencia de diseño.*

*Fs: Factor de servicio.*

*Pm: Potencia del motor.*

$$PD = 1 \times 170W$$

$$PD = 0.17kW$$

#### 2.6.7.2. Cálculo de relación de velocidades

$$i = \frac{60}{20} = 3:1$$

#### 2.6.7.3. Combinación tentativa de catarinas basada en los números de dientes.

De acuerdo con el tamaño de la máquina y de cada uno de los elementos que la constituyen se procede a escoger un número de dientes para el piñón de 10, eso se multiplica por la relación de velocidades calculada con anterioridad para encontrar el número de dientes del engrane.

$$10 \times 3 = 30 \text{ dientes}$$

**10T- 30T**

#### 2.6.7.4. Cálculo del Power Rating

Para calcular el Power Rating de la cadena se lo realiza de acuerdo con la tabla que se encuentra en el Apéndice 1.2, la cual relaciona la velocidad de giro del motor y el número de dientes del piñón que ya se lo definió con anterioridad.

Velocidad de giro = 60rpm

Número de dientes del piñón = 10 dientes

En primer lugar, se procede a calcular el Power Rating de la cadena a 60 rpm y 19 dientes que es igual a 0.80 kW.

$$\frac{75 - 50}{75 - 60} = \frac{1 - 0.66}{1 - X}$$

$$1.66 = \frac{0.34}{1 - X}$$

$$1.66(1 - X) = 0.34$$

$$**PR = 0.80 kW**$$

Para poder calcular el Power rating a 60 rpm y 10 dientes que es el que se necesita para la selección, se multiplica por un factor de corrección que se lo presenta en la tabla del **Apéndice 1.3**. En dicha tabla se puede observar el Power rating adecuado que es el de 19 dientes, si el número de dientes es menor o mayor a dicho valor se lo multiplica por dicho factor de corrección.

Como se puede observar el catálogo de SKF no ha experimentado pruebas para 10 dientes, pero si queda claro que el factor de corrección es menor a 0.30, para fin de una selección correcta se tomará el valor más cercano.

$$0.80kW * 0.3 = 0.24 kW = 240 W$$

El Power Ratings de la cadena es igual a **240 W** de la cadena, como podemos observar es mayor a la potencia de diseño por lo que es suficiente para el diseño requerido.

Entonces el **Tipo de cadena es 10B-1**.

### 2.6.7.5. Lubricación de la cadena

Para elegir el tipo de lubricación más adecuada para el diseño realizado se procede a observar la tabla que se encuentra en el **Apéndice 1.4** donde se eligió la de tipo 2, ya que se consideró ser la más adecuada para la correcta lubricación de la máquina que se diseñó.

Entonces la lubricación recomendada para este tipo de cadena es un tipo de lubricación manual por baño de aceite ya que es para velocidades bajas y medias.

### 2.6.7.6. Cálculo de los diámetros de paso de las ruedas dentadas.

$$D_p = \operatorname{sen}\left(\frac{180}{z}\right)^{-1} * p$$

$D_p$  = Diámetro de paso mm

$z$  = Número de dientes del piñón

$p$  = Paso de la cadena mm

#### Designación de catarinas

De acuerdo con el Cálculo PTP en línea que ofrece la marca de SKF se pudo seleccionar las catarinas más adecuadas para la correcta transmisión de potencia en la máquina que se diseñó.

- Selección del piñón: **PHS 10B-1B10**
- Selección del engrane: **PHS 10B-1B30**

Las características de las catarinas seleccionadas se lo muestran en el **Apéndice 1.6 y Apéndice 1.7.**

$$z_1 = 10$$

$$z_2 = 30$$

$$p = 15,88mm$$

Diámetro de paso del piñón:

$$D_{p1} = \text{sen}\left(\frac{180}{10}\right)^{-1} * 15,88$$

$$D_{p1} = 51.39mm$$

Diámetro de paso del engrane:

$$D_{p2} = \text{sen}\left(\frac{180}{30}\right)^{-1} * 15.88$$

$$D_{p2} = 151.92mm$$

#### 2.6.7.7. Cálculo de la longitud de la cadena como un múltiplo de los pasos

(C).

Ya que la distancia entre centros es de 265 mm y el paso de la cadena es 15,88mm entonces:

$$C = \frac{265}{15,88} = 16,69 \text{ Pasos}$$

Entonces para mi caso se escogerá C = 17 pasos para darle un factor de seguridad al momento de calcular la longitud de la cadena.

Para saber el valor de K se lo obtiene de la tabla del **Apéndice 1.5.**

$$z_2 - z_1 = 20$$

**K=10.13**

$$L = \frac{z_1 + z_2}{2} + 2C + \frac{K}{C}$$

C= Separación entre centros

L= Longitud de la cadena

$$L = \frac{10 + 30}{2} + 2(17) + \frac{10,13}{17}$$

$$L = 54,60 \approx \mathbf{55 \text{ Pasos}}$$

Entonces la longitud de la cadena se la obtiene multiplicando por el paso:

$$L = 55 \text{ Pasos} * 15,88 = \mathbf{873,40 \text{ mm}}$$

#### 2.6.7.8. Designación de la cadena

De acuerdo con los cálculos realizados se llegó a seleccionar el tipo de cadena **PHC 10B-1**, ya que es la más acorde para el funcionamiento de la máquina diseñada (SKF , s.f.).

La característica de dicha cadena se la muestra en el **Apéndice 1.8**.

#### 2.6.8. Potencia Calorífica

Se procederá a calcular la potencia que requiere el polietileno dentro del barril de extrusión para realizar el cambio de estado y así pasar de un sólido granular a un líquido viscoso de alta densidad.

$$P = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

*P = Potencia calorífica*

*$\dot{m}$  = Flujo másico de polietileno*

*C<sub>p</sub> = Capacidad calorífica del polietileno*

*$\Delta T$  = Variación de Temperatura*

$$P = (0.00092 \frac{kg}{seg})(1080 \frac{J}{kg \cdot K^o})(230 - 25)K^o$$

$$P = 29.13 \text{ W}$$

El valor de Potencia necesaria para cambiar de estado el polietileno dentro del barril de extrusión, como se muestra en el apartado 2.5, los valores de potencia de las resistencias de generación de calor son mucho mayores al que se necesita según los cálculos.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Resultados de la fase de diseño y construcción.

Se alcanzó el objetivo planteado como fue el diseño y la construcción de una extrusora de filamento.

Dentro de la fase de diseño, considerando los criterios y parámetros de diseño adecuados se logró determinar las dimensiones óptimas de cada una de las partes que se detalla a continuación:

#### 3.1.1. Tornillo de extrusión

Mediante los cálculos realizados por el método de Savgorodny se determinó una longitud de trabajo  $L = 320 \text{ mm}$ , diámetro y paso  $t = D = 16 \text{ mm}$ , ancho de cresta  $e = 1.6 \text{ mm}$  y la profundidad del canal  $h_1 = 2.56 \text{ mm}$ . Estas dimensiones permiten que la máquina construida alcance una eficiencia de 45%.

Este elemento cumple con las características predefinidas en el apartado 2.6.1, cumpliendo así con las características de diseño apropiadas para este elemento, se consideró un material adecuado para su fabricación acero DF-2 el cual cumple con la característica de fácil maquinabilidad y tiene una propiedad adicional que al momento de ser maquinado sufre un endurecimiento superficial lo que ayuda al proceso de extrusión.

En la imagen 3.1 se observa el proceso de torneado que se realizó para la construcción del mismo.



**Figura 3.1. Proceso de construcción Tornillo de Extrusión.**

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.1.2. Cadena y catarinas**

Se realizó una serie de cálculos mediante la guía de selección del manual (SKF , s.f.) se seleccionó un tipo de cadena PHC 10B-1 la cual tiene un paso de 15,88 mm y las catarinas PHS 10B-1B de 10 y 30 dientes, las mismas que fueron las más acordes para el funcionamiento de la máquina diseñada. La lubricación recomendada para este tipo de cadena es lubricación por baño de aceite ya que es para velocidades bajas y medias. En la imagen 3.2 se muestra los resultados obtenidos, en este caso se puede observar el sistema de catarinas con su respectiva cadena ya ensamblada.



**Figura 3.2. Cadena y catarinas.**

Fuente: Elaboración Propia.

Dentro de la fase de construcción, considerando las características requeridas para un correcto funcionamiento de la máquina extrusora, se construyeron los siguientes elementos:

### **3.1.3. Bridas y soporte de la extrusora**

Para la fabricación de las bridas y los soportes de la extrusora se dimensionaron de acuerdo con el criterio técnico propio ajustándolo de tal manera que se acople a la máquina para un correcto funcionamiento. El tipo de material utilizado es un acero ASTM A-36 (IPAC, 2014), las propiedades del material se adjuntan en el apéndice 3. Se realizaron los procesos de torneado, fresado, soldadura y roscado para las bridas y para los soportes se realizó procesos de taladrado y soldadura. A continuación, en la figura 3.3 se muestra los detalles de los elementos anteriormente descritos.



**Figura 3.3. Brida y base de la extrusora.**

Fuente: Elaboración Propia.

#### **3.1.4. Tolva de alimentación**

Se fabricó una tolva de alimentación donde se colocará la materia prima (Pellet) con una capacidad de  $19.63 \text{ cm}^3$ . El material de fabricación de la tolva es de acero inoxidable (IPAC, 2014) las propiedades del material se adjuntan en el apéndice. En las imágenes 3.4 y 3.5 que se adjuntan a continuación se pueden observar la tolva ya fabricada junto al material de ingreso.



**Figura 3.4. Tolva de alimentación.**

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 3.5. Tolva alimentada con pellets.**

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.1.5. Dado de extrusión**

El dado de extrusión está diseñado con un diámetro de 1,75mm, para que el filamento obtenga una forma cilíndrica e uniforme. El material del que está constituido es de bronce. Para la construcción de este elemento se hizo varios procesos de mecanizado como torneado, fresado, taladrado y roscado. A continuación, en la imagen 3.6 se observa el resultado final.



**Figura 3.6. Dado de extrusión.**

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2. Resultado del Sistema de Control de Temperatura

El sistema de control de temperatura está compuesto por un sistema controlado por Arduino UNO, el cual censa la temperatura de la extrusora y mediante un sistema de control PID regula el flujo de voltaje a las resistencias para mantener estable la temperatura en un punto fijo establecido previamente.

El sistema está compuesto por varios componentes que realizan una acción definida en el proceso, el cual es retroalimentado con la temperatura actual del sistema, para así proceder a la regulación automática del voltaje que reciben las resistencias de generación de calor, ejecutando un switch mediante el relee de estado sólido.

A continuación, se detallará por medio de un diagrama de bloques el funcionamiento del control PID.

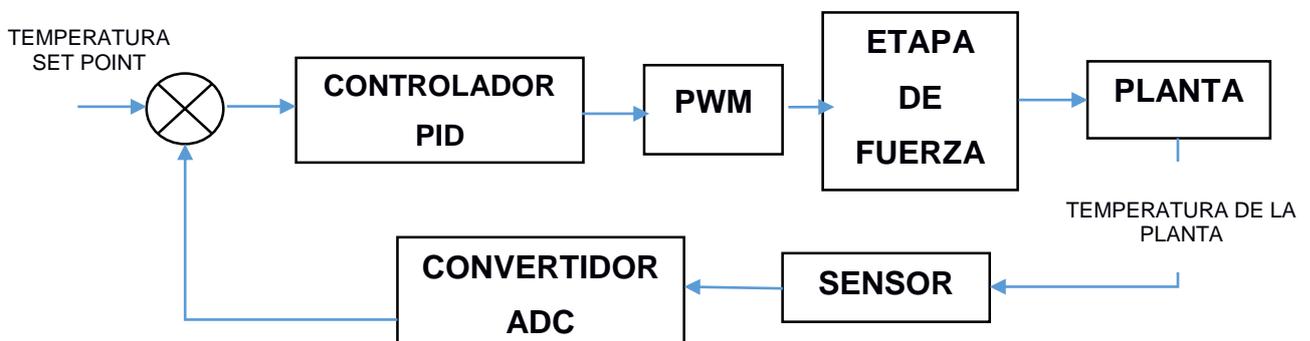


Figura 3.7. Diagrama Proceso de Control de temperatura.

Fuente: Elaboración Propia.

#### Funcionamiento del PID

El Control de temperatura funcionará de la siguiente forma:

Primero se enciende nuestra tarjeta Arduino donde se podrá observar en una pantalla Lcd 16x2 la temperatura actual y deseada de la Planta. En este caso se le va a programar la temperatura SET POINT que sería la deseada en la Planta.

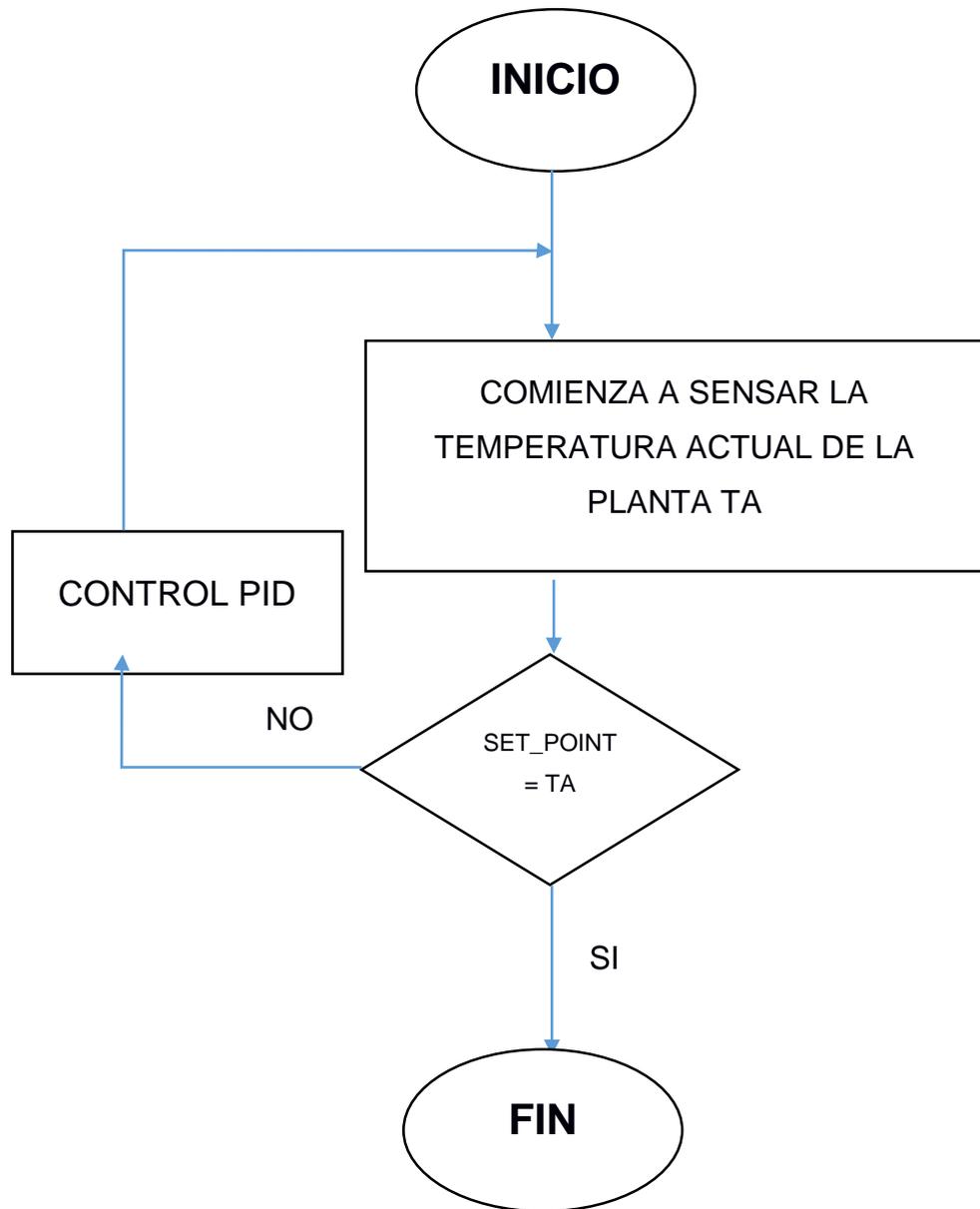
Después procederá el controlador a analizar la señal de error para enviar una señal PWM a la etapa de fuerza regulando corriente que pasará por una resistencia como actuador de la Planta.

La adquisición de los datos se realiza por medio del sensor (termocupla), por medio del convertidor se transforma la señal de analógica a digital y lo compara con la especificada en el SET POINT y si aún no es igual se vuelve hacer el mismo proceso.

Finalmente, después de un tiempo el sistema logrará estabilizarse con un margen de error.

### **3.2.1. Código de programación**

Para el control de temperatura se realizaron dos códigos de programación, los cuales contienen bibliotecas ya establecidas para el funcionamiento de determinados componentes para el control de la pantalla (Prometec, 2018), y para el control del releer de estado (AJPD soft., 2017), los cuales se detallan en el apéndice 5, uno para controlar las resistencias de calentamiento de forma independiente y otro para el control de resistencias en serie, el objetivo final es tener la mayor transferencia de calor al sistema. El diagrama de bloques adjunto detalla el ciclo de funcionamiento, en el que el sensor mide la temperatura del sistema y la compara, si esta es igual al punto de referencia sigue el proceso caso contrario ejecuta la función de control y alimenta al sistema de energía para mantener la temperatura estable.



**Figura 3.8. Diagrama de flujo del controlador PID.**

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.2. Función de transferencia del sistema

Una vez obtenidos los datos de funcionamiento del sistema, se procedió a obtener la función de transferencia del sistema, se presenta la expresión correspondiente a esta función y sus parámetros. Se caracteriza por ser una función de segundo orden.

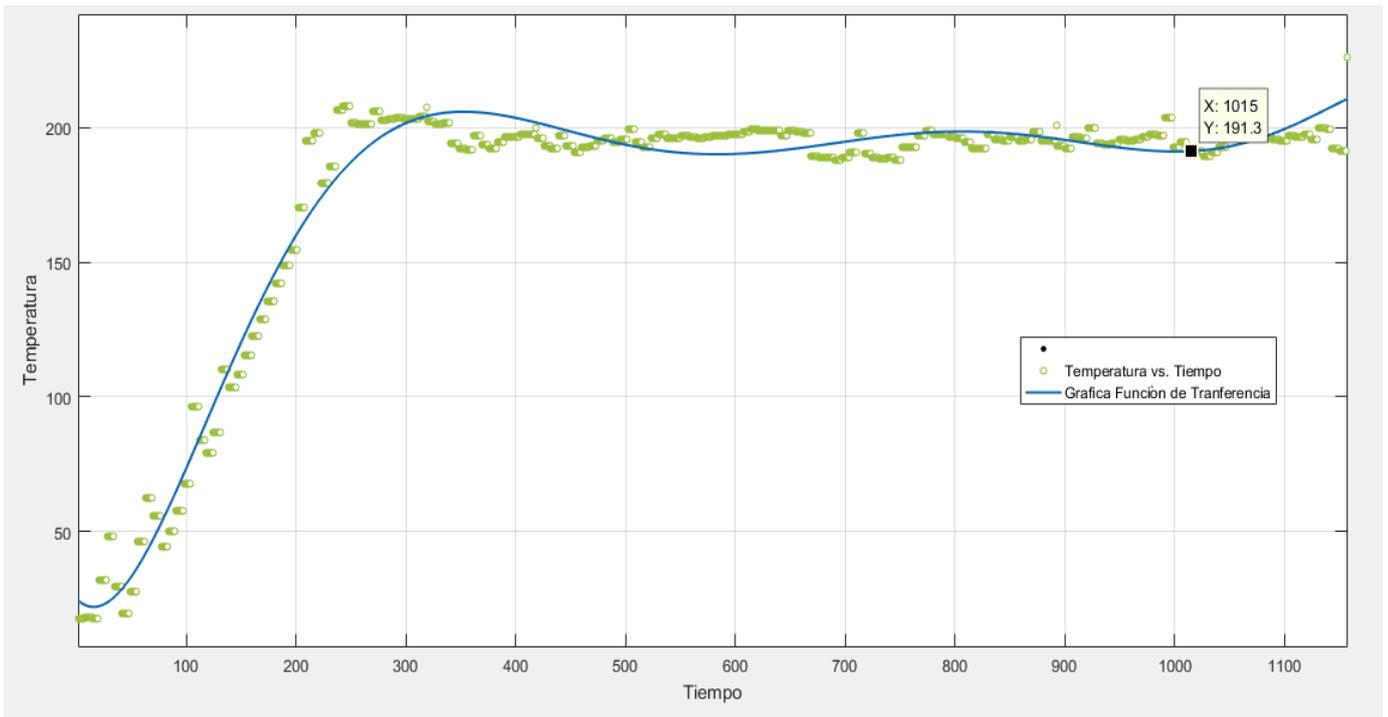
El controlador PID, es el parámetro que se puede modificar directamente, programado en el código y ayuda a la rapidez del proceso. La determinación de estos parámetros se realizó de forma experimental.

$$F(t) = e^{-71.2 S} * \frac{22.97 S - 0.04101}{1858 S^2 + 113.1 S + 1}$$

### 3.2.3. Gráfica de respuesta del sistema

En esta gráfica se obtuvo por medio de los datos adquiridos de temperatura en función del tiempo, en esta gráfica se puede observar el comportamiento del sistema de calentamiento de las resistencias y como actúa el control de temperatura programado para mantener estable el valor de temperatura en un punto definido.

Se observa mediante la gráfica el punto de estabilización del sistema, ubicado aproximadamente en 1100 segundos, lo que equivale a 16 minutos, tiempo que toma llegar a una temperatura estable en el sistema, posterior a ello se debe esperar aún más tiempo para poder comenzar con el proceso de extrusión. Variando los parámetros del controlador PID manualmente se puede modificar este tiempo, o el tiempo de subida.



**Figura 3.9. Gráfica de respuesta del sistema.**

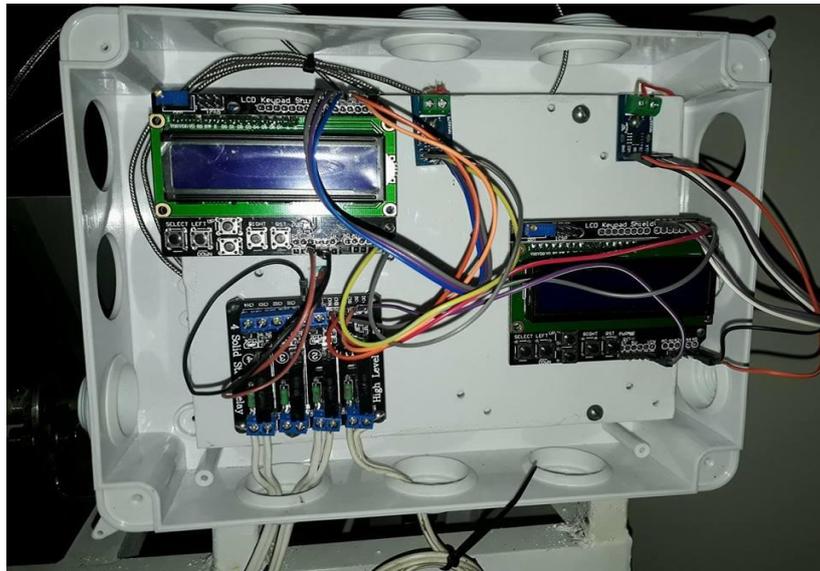
Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.4. Montaje final del sistema de control de temperatura

Se presenta el sistema estructurado con los componentes de control electrónico, se visualiza la instalación final para su funcionamiento, dentro de la cual consta de dos tarjetas de Arduino, equipada con LDC para visualizar los parámetros de funcionamiento, el módulo Relee el que ejecuta la función de alimentar las resistencias, como resultado final se obtiene la selección del sistema de calentamiento de tres resistencias, el tipo de control con retroalimentación y controlador PID y los dispositivos para el correcto funcionamiento del sistema mostrado.

El sistema cumple eficientemente con la función de controlar y mantener la temperatura de las resistencias por separado, así se pueden establecer diferentes temperaturas en diferentes etapas del sistema, de esta manera el polietileno tiene una adecuada transición de sólido granular a fluido

viscoso y cumpla con el proceso de transición vítrea y posteriormente con el proceso de fundición con lo que se obtiene una adecuada extrusión.



**Figura 3.10. Sistema de control de temperatura.**

Fuente: Elaboración Propia.

El conjunto de resistencias seleccionado se presenta en la figura 3.11, como se detalló en el diseño preliminar, se observa la distribución de las tres resistencias seleccionadas las cuales cumplen con la función de calentar el cilindro de extrusión y mantener la temperatura del sistema en un punto previamente establecido. La transferencia de temperatura en el interior del cilindro provoca que el plástico cambie su densidad y adquiera características de fluido viscoso.

El conjunto de resistencias está controlado por el controlador, reciben el paso de energía eléctrica mediante la acción del relee, y en todo momento la temperatura está siendo censada por la termocupla para así retroalimentar el sistema con información actual de temperatura.



**Figura 3.11. Sistema de distribución de resistencias.**

Fuente: Elaboración Propia.

### **3.3. Resultado final de la máquina**

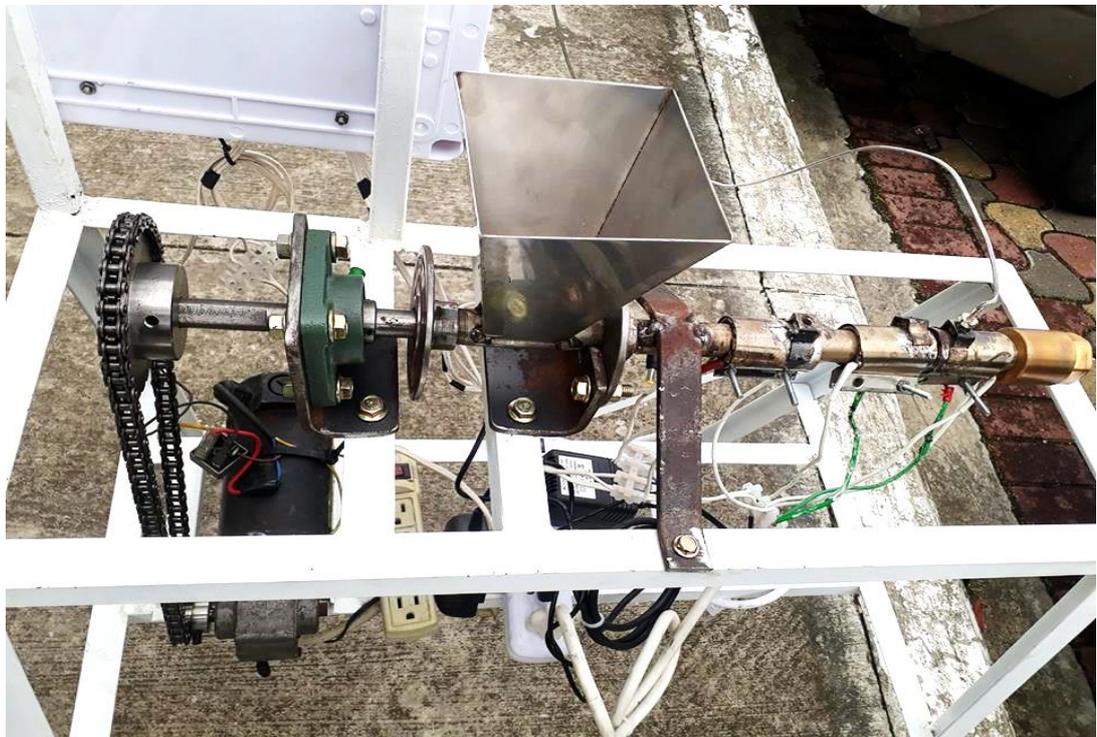
La construcción de la máquina extrusora se la muestra en la figura 3.12, aquí se puede observar los diferentes componentes y sus elementos ya instalados, se observa el sistema de transmisión de movimiento por Cadena y Catarina, el sistema de resistencias de calentamiento, la tolva de alimentación de material, el dado de extrusión acoplado al cilindro, dentro del cilindro se encuentra alojado el sin fin que transporta el material hacia las zonas de calor y de extrusión.

La máquina está sujeta en una estructura construida de ángulos de acero A-36 de (1, 1, 1/8) soldada la cual soporta y sostiene los elementos de la extrusora, el motor con acoples de catarinas para transmitir el movimiento, el sistema de control de temperatura, el ventilador del sistema de enfriamiento y conexiones eléctricas.

El tornillo sin fin este sujeto a una chumacera de pared de 5/8 de diámetro interno, sostiene al sin fin axialmente y soporta las fuerzas generadas en este sentido debido a la presión que se genera en la extrusión, de la misma forma la rosca del dado de extrusión la cual soporta la presión interna máxima y la fuerza ejercida por esta presión en la superficie interna del dado.

La tolva está construida de plancha de 0.6mm de acero inoxidable ASIS 304, material que por su calidad superficial ayuda al deslizamiento de los gránulos de pellet de material al momento de ingresar al proceso de extrusión y ser arrastrados por el tornillo sinfín.

Los elementos del sistema de transmisión de potencia conectan el motorreductor al sistema de extrusión por medio de una Catarina motriz de 10 dientes y una Catarina motora de 30 dientes con una cadena de paso 5/8 (15,88 mm), el sistema transfiere la potencia y el torque necesario, el motor se enciende por medio de los controles en la pantalla LCD.



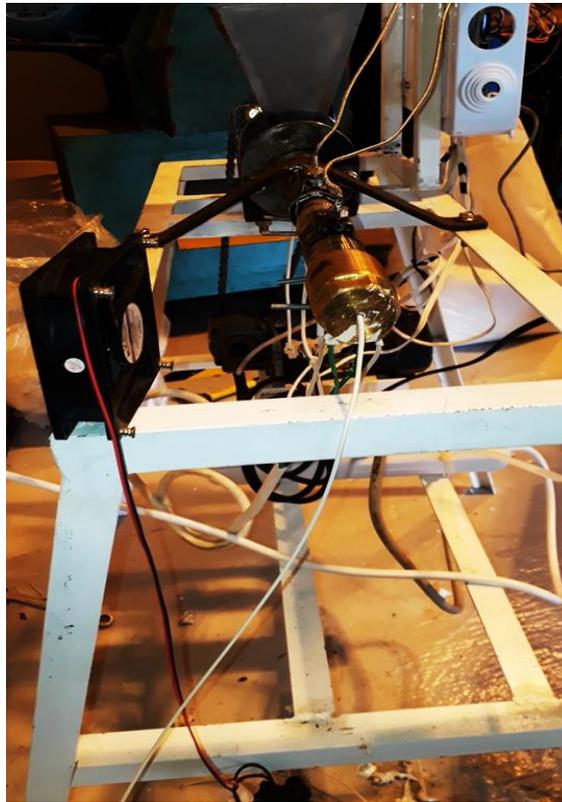
**Figura 3.12. Máquina Extrusora de filamento.**

Fuente: Elaboración Propia.

El resultado del proceso de extrusión es un filamento de ABS, continuo y de sección uniforme, el sistema gira a 20 rpm, el funcionamiento de la máquina de extrusión se realiza a 110-120 V, se puede conectar en un tomacorriente convencional cumpliendo con el objetivo que la máquina sea de uso casero.

Variando los parámetros de temperatura de prueba y los parámetros del control PID, se tiene la capacidad de extruir más de un material, cumpliendo con el objetivo que la extrusora sea utilizada para extruir ABS y PLA.

Los dispositivos del sistema se conectan de forma independiente, controlado cada uno por separado, si uno llegase a fallar los otros siguen su funcionamiento normalmente; las resistencias tienen alimentación de 110-120V independiente una de la otra, el paso de energía se modula mediante un pulso PWM conmutado por el relee de estado sólido.



**Figura 3.13. Máquina en funcionamiento.**

Fuente: Elaboración Propia.

Las pruebas de extrusión realizadas dieron como resultado un filamento uniforme en su estructura, con diámetros de  $1,7 \pm 0.5$  mm, como se observa en la figura 3.14, el filamento obtenido es resultado de la extrusión de material ABS reprocesado, las características del filamento cumplen con los criterios de extrusión continua y uniforme, diámetro requerido para el filamento.

Se probó con un material virgen polietileno de baja densidad cuya temperatura de fusión es de 115° C, el cual tuvo características similares en cuanto a la homogeneidad del filamento y la continuidad en la longitud.

Hasta el momento se siguen realizando pruebas para determinar la configuración adecuada de temperatura.

Se realizaron más pruebas con el material ABS, los resultados tiene características similares a los filamentos expuestos en la imagen con pequeñas variaciones en el diámetro.



**Figura 3.14. Filamento a 1,75mm.**

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4. Análisis de costo

#### 3.4.1. Costo total por pieza mecanizada

##### 3.4.1.1. Tornillo de extrusión

Para la construcción del tornillo de extrusión se utilizó un acero DF2 (AISI 01)

##### 3.4.1.1.1. Costo de materia prima

$\Phi=16\text{mm}$ ;  $L=320\text{mm}$ .

Medidas del material adquirido;  $\Phi 16.1 \times 450\text{mm}$

$$\text{Costo M. P} = P/m * L * \text{CM/P}$$

Donde:

Costo M. P = Costo de materia prima.

$P/m$  = Peso del material \* metro.

$L$  = Longitud de la pieza a mecanizar.

$\text{CM/P}$  = Costo del material \* peso.

$$\text{Costo M. P} = 1.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 0.45 \text{ m} * 8 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

$$\text{Costo M. P} = \$ 5,75$$

##### 3.4.1.1.2. Costo de Mecanizado

***Proceso: Torneado***

$$\text{CT} = \text{HrT} * \text{CT/h}$$

Donde:

$\text{CT}$  = Costo de torneado.

$\text{HrT}$  = Hora torno hombre máquina.

$\text{CT/h}$  = Costo de Torneado \* Hora.

$$\text{CT} = 4 \text{ HrT} * 11 \frac{\$}{\text{HrT}}$$

$$\text{CT} = \$ 44$$

### 3.4.1.1.3. Costo total de fabricación

$$C_{\text{Tornillo de extrusión}} = \text{Costo M. P} + CT$$

$$C_{\text{Tornillo de extrusión}} = 5,75 + 44$$

$$C_{\text{Tornillo de extrusión}} = \$ 49,75$$

### 3.4.1.2. Bridas

Para la fabricación de las bridas se utilizó un Acero ASTM A-36.

#### 3.4.1.2.1. Costo de materia prima

Torta:  $\Phi=100\text{mm}$ ;  $L= 30 \text{ mm}$

Medidas del material adquirido;  $\Phi100 \times 30\text{mm}$

$$\text{Costo M. P} = P/m * L * CM/P$$

Donde:

Costo M. P = Costo de materia prima.

$P/m$  = Peso del material \* metro.

$L$  = Longitud de la pieza a mecanizar.

$CM/P$  = Costo del material \* peso.

$$\text{Costo M. P} = 64,65 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 0,03 \text{ m} * 6 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

$$\text{Costo M. P} = \$ 11,62$$

#### 3.4.1.2.2. Costo de Mecanización

**Proceso: Torneado**

$$CT = HrT * CT/h$$

Donde:

$CT$  = Costo de torneado.

$HrT$  = Hora torno hombre máquina.

CT/h = Costo de Torneado \* Hora.

$$CT = 1 \text{ HrT} * 11 \frac{\$}{\text{HrT}}$$

$$CT = \$ 11$$

**Proceso: Fresado**

$$CF = \text{HrF} * CF/h$$

Donde:

CF = Costo de Fresado.

HrF = Hora fresa hombre máquina.

CF/h = Costo de Fresado \* Hora.

$$CF = 0.5 \text{ HrF} * 13 \frac{\$}{\text{HrF}}$$

$$CF = \$ 7,50$$

**Proceso: Soldadura**

$$CS = \text{HrS} * CS/h$$

Donde:

CS = Costo de Soldadura.

HrS = Hora Soldadura hombre máquina.

CS/h = Costo de Soldadura \* Hora.

$$CS = 0.25 \text{ HrS} * 10 \frac{\$}{\text{HrS}}$$

$$CS = \$ 2,50$$

**Proceso: Roscado**

$$CR = \text{HrR} * CR/h$$

Donde:

CR = Costo de Roscado.

HrR = Hora Roscado hombre máquina.

CR/h = Costo de Roscado \* Hora.

$$CR = 0.36 \text{ HrR} * 7 \frac{\$}{\text{HrR}}$$

$$CR = \$ 2,52$$

### 3.4.1.2.3. Costo total de fabricación

$$C_{\text{Brida}} = \text{Costo M. P} + CT + CF + CS + CR$$

$$C_{\text{Brida}} = 11.62 + 11 + 7,50 + 2,50 + 2,52$$

$$C_{\text{Brida}} = \$ 32,62$$

Como son 2 Bridas en total:

$$2 * C_{\text{Brida}} = 2 * 32,62$$

$$\text{Costo Total Bridas} = \$ 65,24$$

### 3.4.1.3. Cilindro de Extrusión (Camisa)

#### 3.4.1.3.1. Costo de materia prima

Tubería de Acero inoxidable 304

$\Phi_{\text{int}} = 16,1 \text{ mm}$ ;  $L = 360 \text{ mm}$  ; Espesor de pared = 2,76 mm

$$\text{Costo M. P} = \$ 7,56$$

### 3.4.1.3.2. Costo de Mecanizado

#### **Proceso: Roscado**

$$CR = HrR * CR/h$$

Donde:

CR = Costo de Roscado.

HrR = Hora Roscado hombre máquina.

CR/h = Costo de Roscado \* Hora.

$$CR = 0.30 HrR * 7 \frac{\$}{HrR}$$

$$CR = \$ 2,10$$

Como son 4 roscas a lo largo del cilindro de extrusión, ya que se lo corto en 2 elementos y cada elemento tiene roscas en sus extremos:

$$4 * C_{Rosca} = 4 * 2,10$$

$$\mathbf{Costo Total Roscas = \$ 8,40}$$

### 3.4.1.3.3. Costo total de fabricación

$$\text{Costo Total Cilindro de extrusión} = \text{Costo Total Roscas} + \text{Costo M.P}$$

$$\text{Costo Total Cilindro de extrusión} = 8,40 + 7,56$$

$$\mathbf{Costo Total Cilindro de extrusión = \$15,96}$$

### 3.4.1.4. Dado de extrusión

#### 3.4.1.4.1. Costo de materia prima

Para el diseño de la boquilla de extrusión se utilizó un material de bronce en forma cilíndrica.

$$\Phi=40\text{mm}; L= 48 \text{ mm}$$

Medidas del material adquirido;  $\Phi 40 \times 60 \text{mm}$

$$\text{Costo M.P} = P/m * L * CM/P$$

Donde:

Costo M.P = Costo de materia prima.

P/m = Peso del material \* metro.

L = Longitud de la pieza a mecanizar.

CM/P = Costo del material \* peso.

$$\text{Costo M.P} = 11,56 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 0.06 \text{ m} * 10 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

$$\text{Costo M.P} = \$ 6.90$$

#### 3.4.1.4.2. Costo de Mecanizado

##### ***Proceso: Torneado***

$$CT = \text{HrT} * CT/h$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HrT = Hora torno hombre máquina.

CT/h = Costo de Torneado \* Hora.

$$CT = 1,30 \text{ HrT} * 11 \frac{\$}{\text{HrT}}$$

$$CT = \$ 14,30$$

##### ***Proceso: Fresado***

$$CF = \text{HrF} * CF/h$$

Donde:

CF = Costo de Fresado.

HrF = Hora fresa hombre máquina.

CF/h = Costo de Fresado \* Hora.

$$CF = 0.40 \text{ HrF} * 13 \frac{\$}{\text{HrF}}$$

$$CF = \$ 5,20$$

### **Proceso: Taladrado**

$$CTa = HrTa * CTa/h$$

Donde:

CTa = Costo de taladrado.

HrTa = Hora taladro hombre máquina.

CTa/h = Costo de taladrado \* Hora.

$$CTa = 0.25 HrTa * 6 \frac{\$}{HrTa}$$

$$CTa = \$ 1,50$$

### **Proceso: Roscado**

$$CR = HrR * CR/h$$

Donde:

CR = Costo de Roscado.

HrR = Hora Roscado hombre máquina.

CR/h = Costo de Roscado \* Hora.

$$CR = 0.30 HrR * 7 \frac{\$}{HrR}$$

$$CR = \$ 2,10$$

#### **3.4.1.4.3. Costo total de fabricación**

$$C_{\text{Dado de extrusión}} = \text{Costo M. P} + CT + CF + CTa + CR$$

$$C_{\text{Dado de extrusión}} = 6,90 + 14,30 + 5,20 + 1,50 + 2,10$$

$$C_{\text{Dado de extrusión}} = \$ 30$$

#### **3.4.1.5. Soportes de la extrusora**

Para la fabricación de los soportes de la extrusora se utilizó un Acero ASTM A-36.

#### 3.4.1.5.1. Costo de materia prima

Placas: 180x168x8; 180x80x8.

Medidas del material adquirido; 180x168x8 ; 180x80x8

Las placas tienen un valor de:

Costo M. P = Costo de materia prima.

$$\text{Costo M. P} = \$ 3.90$$

#### 3.4.1.5.2. Costo de Mecanizado

##### *Proceso: Soldadura*

$$CS = \text{HrS} * CS/h$$

Donde:

CS = Costo de Soldadura.

HrS = Hora Soldadura hombre máquina.

CS/h = Costo de Soldadura \* Hora.

$$CS = 0.25 \text{ HrS} * 10 \frac{\$}{\text{HrS}}$$

$$\text{CS} = \$ 2,50$$

##### *Proceso: Taladrado*

$$CTa = \text{HrTa} * CTa/h$$

Donde:

CTa = Costo de taladrado.

HrTa = Hora taladro hombre máquina.

CTa/h = Costo de taladrado \* Hora.

$$CTa = 0.25 \text{ HrTa} * 6 \frac{\$}{\text{HrTa}}$$

$$\text{CTa} = \$ 1,50$$

### 3.4.1.5.3. Costo total de fabricación

$$C_{\text{ Soporte de la extrusora}} = \text{Costo M. P} + \text{CS} + \text{CTa}$$

$$C_{\text{ Soporte de la extrusora}} = 3,90 + 2,50 + 1,50$$

$$C_{\text{ Soporte de la extrusora}} = \$ 7,90$$

Como son 2 soportes a lo largo de la extrusora:

$$2x C_{\text{ Soporte de la extrusora}} = 2 * \$ 7,90$$

$$\text{Costo Total de los soportes de la extrusora} = \$ 15,80$$

### 3.4.1.6. Base de la extrusora

Para la fabricación de la base de la extrusora se utilizó un ángulo de hierro de 1"x1/8" el cual

#### 3.4.1.6.1. Costo de materia prima

Ángulo de hierro: 1"x1/8"

Medidas del material adquirido; Ángulo de 1"x1/8" con 6m de largo

Los ángulos venían solo en longitudes de 6 metros; por lo que se dispuso de 9 metros para realizar la base de la extrusora:

Medidas del material adquirido; 2 Ángulos de 1"x1/8" por 6 metros

Costo M. P = Costo de materia prima.

$$\text{Costo M. P por cada ángulo} = \$ 6,98 * 2$$

$$\text{Costo M. P Total} = \$ 13,96$$

#### 3.4.1.6.2. Costo de Mecanizado

##### *Proceso: Corte*

Se procedió a cortar el ángulo de hierro a las diferentes medidas requeridas, para posterior a ello soldar.

$$\text{Costo M. P Corte de ángulos de hierro} = \$ 3$$

##### *Proceso: Soldadura*

$$\text{CS} = \text{HrS} * \text{CS/h}$$

Donde:

CS = Costo de Soldadura.

HrS = Hora Soldadura hombre máquina.

CS/h = Costo de Soldadura \* Hora.

$$CS = 2 \text{ HrS} * 10 \frac{\$}{\text{HrS}}$$

$$CS = \$ 20$$

### **Proceso: Taladrado**

$$CTa = \text{HrTa} * CTa/h$$

Donde:

CTa = Costo de taladrado.

HrTa = Hora taladro hombre máquina.

CTa/h = Costo de taladrado \* Hora.

$$CTa = 0.25 \text{ HrTa} * 6 \frac{\$}{\text{HrTa}}$$

$$CTa = \$ 1,50$$

### **Costo de la pintada**

¼ de Pintura esmaltada blanca: \$3

Mano de Obra: \$3

$$CP = \$ 6$$

### **3.4.1.6.3. Costo total de fabricación**

$$C_{\text{Base de la extrusora}} = \text{Costo M.P} + CC + CS + CTa + CP$$

$$C_{\text{Base de la extrusora}} = 13,96 + 3 + 20 + 1,50 + 6$$

$$C_{\text{Base de la extrusora}} = \$ 44,46$$

### 3.4.1.7. Tolva de alimentación

Para la fabricación de la tolva de alimentación se utilizó pequeñas planchas de acero inoxidable ASIS 304.

#### 3.4.1.7.1. Costo de materia prima

Acero inoxidable: Plancha 60x60cm y espesor 0.6mm

Medidas del material adquirido; Plancha 60x60cm

Costo M. P = Costo de materia prima.

$$\text{Costo M. P Acero inoxidable} = \$ 8$$

#### **Proceso: Corte**

Se procedió a cortar la plancha de acero inoxidable a medida, para posterior a ello soldar.

$$\text{Costo M. P Corte de planchas} = \$ 3$$

#### 3.4.1.7.2. Costo de Mecanizado

#### **Proceso: Soldadura**

$$CS = \text{HrS} * \frac{CS}{h}$$

Donde:

CS = Costo de Soldadura.

HrS = Hora Soldadura hombre máquina.

$\frac{CS}{h}$  = Costo de Soldadura para soldar acero inoxidable \* Hora.

$$CS = 0.50 \text{ HrS} * 13 \frac{\$}{\text{HrS}}$$

$$CS = \$ 6.50$$

#### 3.4.1.7.3. Costo total de fabricación

$$C_{\text{Tolva de alimentación}} = \text{Costo M. P} + CC + CS$$

$$C_{\text{Tolva de alimentación}} = 8 + 3 + 6,50 + 6$$

$$C_{\text{Tolva de alimentación}} = \$ 17,50$$

A continuación, se detallará por medio de la siguiente tabla el costo de cada proceso de mecanizado, que se realizó para la construcción de la máquina extrusora de filamento plástico.

**Tabla 3.1: Resumen de gastos proceso de mecanizado piezas**

<b>Construcción de piezas</b>	<b>Costo (\$)</b>
Tornillo de extrusión	49.75
Bridas	65.24
Cilindro de extrusión	15.96
Dado de extrusión	30
Soportes de la extrusora	15.8
Base de la extrusora	44.46
Tolva de alimentación	17.5
<b>Costo Total de construcción</b>	<b>\$ 238.71</b>

Fuente: Elaboración Propia

### **3.4.2. Elementos para el control de temperatura**

A continuación, se detallarán los costos de cada elemento que se utilizó para el control de temperatura, que fue desarrollado por medio del sistema de Arduino UNO.

**Tabla 3.2: Gastos adquisición dispositivos electrónicos**

Dispositivos Electrónicos	Unidades	Precio (\$)	Total (\$)
Módulo Relé de estado sólido, 4 Canales Arduino	1	22.0	22.0
Arduino LCD Shield 16x2 + Teclado de 4 pulsadores	2	12.0	24.0
Max 6675 ADC amplificador para Termocupla Tipo K Arduino	2	15.0	30.0
Arduino UNO	2	20.0	40.0
Módulo Relé Relay 5V- 2 canales Arduino UNO Raspberry Pic Avr	2	3.8	7.5
Cables Dupont 20cm Macho-Macho	60	0.1	6.0
Convertidores de Voltaje (9V)	2	8.0	16.0
Convertidores de Voltaje (12V)	1	8.0	8.0
Ventilador	1	6.0	6.0
Resistencias Boquilla de 22x50cm a 120V-200W	3	15.0	45.0
Termocuplas Tipo K	2	20.0	40.0
Pantalla Led	2	8.0	16.0
Cables y enchufes	1	10.0	10.0
<b>Costo Total de los elementos</b>			<b>\$ 270.5</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3. Elementos para el sistema de transmisión de potencia

Al momento de construir el sistema de transmisión de potencia de la extrusora se utilizaron una serie de elementos que son indispensables para lograr un funcionamiento adecuado, por lo que se necesitó un motorreductor el cual fue acoplado a un sistema de transmisión de potencia que consta de un piñón y un engrane junto a una cadena, lo que permitió mover tornillo de extrusión.

A continuación, en la siguiente tabla se detalla el costo de cada elemento adquirido.

**Tabla 3.3: Gastos realizados adquisición de Sistema de trasmisión**

Elementos	Precio (\$)
Motorreductor de marca WEB EPG 133	50
Piñón Sencillo 35BX10T	3
Piñón Sencillo 35BX30T	8
Cadena Translink (3/8")	14
Adaptación del sistema	5
<b>Costo Total del sistema de transmisión de Potencia</b>	<b>\$ 80.0</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.4. Gastos varios

Se detalla algunos de los elementos que fueron necesarios para la construcción de la máquina y su correcto funcionamiento, además gastos adicionales generados para alcanzar el objetivo planteado y garantizar el funcionamiento de algunos dispositivos electrónicos para el sistema de calentamiento por medio de Arduino UNO.

**Tabla 3.4: Gastos realizados por compra de elementos varios**

Gastos varios	Precio (\$)
Chumacera	7
Broca de 1/16" de cobalto alpen	3.28
Transporte	30
Regleta	8
Caja de plástico (Para colocar los elementos electrónicos)	6
<b>Costo Total</b>	<b>54.28</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5. Total, de Gastos realizados

En la siguiente tabla se muestra el resumen de todos los gastos generados para la construcción de la máquina. Como se puede observar se detalló tanto los gastos por la compra de dispositivos y la construcción de cada pieza o mecanizado de la misma.

Por lo tanto, el valor de **\$643.49** es el costo en su totalidad para el desarrollo del sistema de extrusión de filamento para impresión 3D que se propuso construir.

**Tabla 3.5: Resumen de Total de gastos realizados**

Descripción de actividades	Precio (\$)
Dispositivos Electrónicos (Sistema Arduino UNO)	270.50
Construcción de piezas (Mecanizado)	238.71
Elementos para el sistema de transmisión de potencia	80.00
Gastos Varios	54.28
<b>Costo Total de la Máquina</b>	<b>\$ 643.49</b>

Fuente: Elaboración Propia

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

El diseño total de la extrusora tiene un funcionamiento óptimo, una vez realizada la construcción y montaje de los sistemas de calentamiento, sistema de transmisión de potencia y la selección de los elementos que lo componen, se utilizaron criterios válidos en cuanto a la selección y disponibilidad en el mercado de este tipo de mecanismos.

Tras realizar el análisis de costo de la máquina extrusora de filamento desarrollada se pudo observar en el apartado 3.4.5 que el costo total de la misma es de \$643.49, dicho costo es aceptable, ya que al analizar su eficiencia y desempeño claramente se justifica la inversión realizada. La misma que cuenta con un sistema de control de temperatura que fue la inversión más alta de la máquina en su totalidad, este sistema se lo desarrolló y se ejecuta por medio de una placa de Arduino UNO, el cual censa la temperatura de la extrusora y es controlado por un sistema de retroalimentación PID, este regula el flujo de voltaje a las resistencias, por medio de este sistema se pudo solucionar la gran problemática que se presentó en el proyecto el cual consiste en un mal proceso de calentamiento del material para ser extruido; en el mercado los prototipos existentes sobrecalientan el material, como consecuencia disminuye su calidad.

Al realizar la construcción de cada elemento para conseguir el funcionamiento adecuado de la máquina se tuvo un costo elevado en la mano de obra del mecanizado de piezas y en el costo de los materiales. Es por tal motivo que se tiene una máquina que brinda la seguridad para realizar una correcta extrusión y así obtener el filamento de manera continua y uniforme, esto se debe a que su diseño fue realizado de una manera correcta, además se tomaron todas las medidas correctivas ante las fallas que se lograron detectar mediante varias pruebas realizadas durante el funcionamiento de la máquina.

En el diseño se detalla la utilización de un sistema con una cadena 10B-1 el cual cumple con los criterios de seguridad y tiempo de vida útil de la cadena. Para fines

de construcción se utilizó un sistema de cadena 6B-1 con paso de 5/8" el cual transmite el movimiento de la potencia y el torque necesario, pero con una penalización en la vida útil de la cadena y las catarinas debido a que se utilizó una denominación menor; esto no tiene mayor relevancia ya que el costo del sistema como se detalla en el apartado 3.4.3, es de \$26, y al castigar una vida útil de 15 mil horas que en promedio tienen estos sistemas no va a tener mayor representación, pues de igual manera será alta su vida útil con referencia al precio del sistema.

El motor con reductor incorporado que se utilizó en la construcción brinda una potencia necesaria de 170W, para que el sistema funcione correctamente se sobredimensionó la selección de este elemento ya que los valores de potencia requeridos para el sistema son de 57 W.

La construcción del tornillo sinfín cumple con los requerimientos establecidos para este tipo de elementos, rosca cuadrada, diámetro de raíz variable y longitud determinada para el proceso de extrusión. Los resultados alcanzados son óptimos, el material para este elemento permite un fácil maquinado, además en el mercado local se cuenta con mano de obra calificada para la construcción de este tipo de piezas.

Este equipo cuenta con la versatilidad de poder ajustar la temperatura a la que se desea que trabaje la extrusora, con esta premisa se puede extruir materiales de diversos puntos de fusión que trabajen hasta temperaturas de fusión de 260 °C dándole así una característica diferente ante otros dispositivos que realizan el mismo trabajo en el mercado.

Con la distribución de las resistencias de calor a lo largo del cilindro de extrusión se busca tener una mejor distribución de la temperatura dentro del mismo, así el material que fluye adquiere calor progresivamente en las distintas etapas del proceso, desde la zona de alimentación a una baja temperatura hasta la zona de extrusión donde se requiere una temperatura mayor ; esto se logra con un eficiente control de temperatura diseñado con este objetivo, una de las características del

control es poder modificar los parámetros del controlador PID, una vez encontrada la función de transferencia del sistema se puede adecuar estos parámetros para tener un mejor desempeño, con los datos obtenidos en las pruebas se determinó la función de transferencia del sistema en Matlab.

La figura 3.9 muestra la función de transferencia del sistema, el tiempo de estabilización del sistema para el conjunto de resistencias en serie es de 16 minutos, tiempo que se demora en calentar el sistema, variando los parámetros del PID se puede modificar este tiempo según sea la necesidad o el material a extruir, cabe considerar que después de realizar las pruebas de extrusión en el interior del cilindro queda adherido material plástico que se endurece al enfriar la extrusora, se debe prolongar el tiempo de calentamiento hasta que el material dentro del dispositivo adquiera nuevamente la viscosidad adecuada para fluir por el dado de extrusión.

Los resultados de la extrusión dieron un filamento con un diámetro requerido de 1,75 mm, adecuado a lo planteado en la realización del proyecto. Las pruebas realizadas con materia ABS arrojaron diferentes resultados, cabe destacar que aún no se puede realizar una prueba con material virgen para el proceso, el material disponible es reprocesado y las características del filamento no están totalmente óptimas. El filamento tiene el diámetro requerido, la calidad de la extrusión es óptima, la textura superficial es adecuada y se obtiene uniformidad en el proceso de extrusión. Una de las dificultades que se tiene hasta el momento es que el filamento extruido a partir de un material reprocesado se resquebraja con facilidad, en las pruebas realizadas con el material ABS no se ha podido obtener un filamento con la flexibilidad requerida; esto es un limitante en los resultados finales. Se continuó realizando pruebas con otro tipo de materiales vírgenes y se obtuvo un filamento con las propiedades requeridas y la calidad adecuada. Dejando claro que el problema no es el proceso de extrusión sino la calidad del material a extruir.

Una de las limitantes del proyecto es el presupuesto, la implementación de mejoras en el dispositivo en cuanto al sistema de control de temperatura pues se requiere un

incremento de resistencia, es decir una inversión adicional, por lo que se detienen las mejoras a realizar en lo antes mencionado.

#### **4.1. Conclusiones**

Mediante el diseño y construcción del sistema de extrusión se logró el objetivo de extruir el filamento para el sistema de impresión 3D, cumpliendo con los requerimientos establecidos.

El filamento que se obtiene en el proceso de extrusión se produce de manera continua y uniforme, cuya forma la determina la sección cilíndrica que posee el dado de extrusión, la misma que tiene un diámetro constante de 1,75mm, cumpliendo así con el requerimiento propuesto en los objetivos. Además, la capacidad instalada de la extrusora es de 330 gr/h, por lo que se verificó que la extrusora construida a pequeña escala produce un flujo másico bastante aceptable.

El sistema permite en principio extruir los dos materiales que se utilizan en la extrusión de filamento para impresoras 3D, PLA y ABS, corroborando así la versatilidad de la máquina.

Por otra parte, se comprobó que para construir la máquina extrusora de filamento se requiere inversión de tiempo y dinero, sin embargo, con los resultados obtenidos se garantiza la fiabilidad de la construcción de esta lo que permite obtener un filamento de alta calidad y a bajo costo contrastando la inversión realizada.

Por tal motivo el costo total de la máquina permite que sea accesible para pequeños empresarios que desarrollan impresiones en 3D, lo que les ayudaría a generar su propio filamento a menor costo.

En cuanto a la eficiencia se logró mejorar respecto a otros dispositivos que existen en el mercado, el flujo del material dentro del cilindro de extrusión, posee una eficiencia del 45%, esto se logra al proporcionar la geometría adecuada al tornillo sin fin. Por lo que se evidencia que al construir el tornillo sin fin con las medidas adecuadas permitirá elevar la eficiencia de la máquina,

lo que no sucede al usar una broca de dimensiones ya proporcionadas por diversos proveedores, cabe recalcar que muchas de las extrusoras diseñadas usan diferentes tipos de brocas que se acoplen a sus requerimientos.

La experiencia de expertos en la industria referente al tema de extrusión, control automático, y diseño ayudó al desarrollo de elementos y funciones del proceso. La contribución académica proveniente de profesores expertos en áreas antes mencionadas permitió el resolver dudas e inquietudes presentadas a lo largo del desarrollo del proyecto. El aporte estudiantil en el desarrollo del proyecto es importante, puesto que se incursionó en ámbitos de diseño conceptual, búsqueda, selección, desarrollo y construcción de los diferentes elementos que conforman la máquina extrusora, cumpliendo así con los objetivos trazados al principio del proyecto.

El diseño abarca 4 de las ramas principales de la Ing. Mecánica, 1.- Diseño de elementos Mecánicos, delineando los parámetros de selección y fiabilidad de los elementos. 2.-Control Automático, con la puesta en funcionamiento del sistema de control de temperatura y la selección de los elementos. 3.- Selección de materiales con los que se diseñó y construyó la extrusora, propiedades físicas y mecánicas que cumplen con los estándares de seguridad y calidad. 4.- Transferencia de calor para determinar puntos de operación del sistema, temperaturas del proceso de extrusión. Estas áreas del conocimiento han proporcionado un desempeño adecuado al sistema y el aval en la construcción y posterior puesta en funcionamiento. La máquina es portable, sus dimensiones la hacen fácilmente transportable, con lo que se cumple el objetivo de ser de bajo costo y de uso casero.

Una de las limitantes del diseño es no poseer el sistema para poder enrollar el filamento una vez extruido, esto se debe al coste de la implementación, añadir el sistema o cualquier mejora al dispositivo incurre en una inversión extra, la cual no está contemplada en el proyecto, se analizará cual será la mejor alternativa para este inconveniente. Se podría mejorar el desempeño

de la extrusión si se coloca una resistencia de calentamiento en el dado de extrusión, mejoras a considerar en un futuro.

El dispositivo ha sido diseñado no sólo para producir el filamento estándar de impresión 3D, sino también se puede utilizar para crear nuevos filamentos de diferentes materiales y estudiar el comportamiento de estos materiales siendo extruidos. Además, se puede probar la extrusión de materiales compuestos para crear otros tipos de filamento que potencien el proceso de Impresión 3D, también se puede establecer como método de enseñanza práctico en la materia de procesamiento del plástico en general. Cabe recalcar que este proyecto es el punto de partida para nuevas pruebas, que deriven nuevos conocimientos sobre este proceso y la implementación de nuevas tecnologías del plástico o en otras áreas relacionadas con el prototipo.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Antes de cada proceso de extrusión es recomendable que la extrusora se encienda mínimo 20 minutos antes de producir el filamento, con la finalidad de que el cilindro de extrusión, tornillo sin fin y la boquilla alcancen la temperatura ideal, ayudando a que cuando ingrese el material (Pellets) sea fundido al instante lo que ayudará a que no existan atascamientos en el sistema de extrusión.
- No se debe utilizar pellets con gránulos muy grandes, ya que no permitirá que fluya el material para ser arrastrado por medio del tornillo sin fin y finalmente sea extruido.
- Se recomienda que al finalizar cada proceso de extrusión se haga una limpieza en el dado, ya que la mayoría de material tiende a acumularse en esta sección lo que provoca que dicho elemento se obstruya.

- Es importante diseñar el tornillo sin fin, ya que, al tener las medidas adecuadas para el prototipo de máquina extrusora a construir, se podrá aumentar la eficiencia del flujo de material dentro del cilindro de extrusión.
- Se recomienda que al realizar pruebas en la extrusora se trabaje con material virgen, ya que al utilizar material reprocessado disminuirá notablemente la calidad del filamento.

## BIBLIOGRAFÍA

- AJPD soft. (11 de 2017). *Arduino: Conectar pantalla LCD a Arduino UNO e interactuar con ella, mostrar temperatura.* Obtenido de <http://www.ajpdsoft.com/modules.php?name=News&file=article&sid=627>
- Beltran Rico, M., & Marcilla G., A. (2012). *Tecnología de los Polimeros Procesado y Propiedades.* Alicante: Diazotec, S. A.
- C.A, I. B. (Febrero de 2016). *Catalogos de productos III edición .* Obtenido de <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/01/catalogo-general-IBCA.pdf>
- Castro, M. A. (17 de Febrero de 2015). *PLA. Material, Interés y consejos de impresión.* Obtenido de <http://www.dima3d.com/pla-material-interes-y-consejos-de-impresion-3/>
- Escobar, C. (13 de Mayo de 2013). *El material de impresión ABS y sus características.* Obtenido de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102832135-el-material-de-impresion-abs-y-sus-caracteristicas>
- Groover, M. (2007). *Fuendamentos de Manufactura Moderna.* Mexico: McGraw-Hill.
- HXX Ingenieria e impresión. (12 de Marzo de 2015). *Materiales de impresión 3D.* Obtenido de <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>
- IPAC. (2014). *IPAC Productos.* Obtenido de <http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/3f78bd0f5d45f865d46b8496d7665de3.pdf>
- IPAC. (2014). *IPAC Productos.* Obtenido de <http://www.ipac-acero.com/assets/img/upload/big/66ee395632a1e9ad9a446535d2a6dcff.pdf>
- Ivan Bohman . (07 de Febrero de 2018). *Ivan Bohman C.A Catalogo 2018.* Obtenido de <http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2016/01/catalogo-general-IBCA.pdf>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología.* Mexico: Pearson Education.
- MakeltFrom. (30 de Septiembre de 2017). *Propiedades Mecánicas y otras.* Obtenido de <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Poly lactide/>
- Marcilla, M. B. (s.f.). *Tecnología de polimeros.* 110.

- MatterHackers. (2016). *Guía de comparación de filamentos de impresora 3D*. Obtenido de <http://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare>
- Prometec. (2018). *LCD KEYPAD SHIELD*. Obtenido de <https://www.prometec.net/lcd-keypad-shield/>
- Savgorodny, V. (1976). *Transformación de Plásticos*. Barcelona: Gustavo Gili S. A.
- Simonds, H., & Church, J. (1964). *PLÁSTICOS Formulación y Moldeo*. Mexico: Contiental.
- SKF . (s.f.). *Transmission chains*. Obtenido de <http://www.skf.com/binary/57-238620/SKF-Transmission-Chains---13747-EN.pdf>
- Song, P., Fu, Z., Liu, L., & Fu, C. (2015). Printing 3D objects with interlocking parts. *Computer Aided Geometric Design*, 35, 137-148.
- Terry L., R., & Erik, L. (2000). *Industria del plástico: plástico industrial*. Madrid: Parafino.
- WEG. (2017). *WEG, Producto y Servicios* . Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-standard-stock-catalog-2017-complete-catalog-us100-brochure-english.pdf>

# APÉNDICE 1

## Apéndice 1: Tablas de selección de cadena y catarinas

### Apéndice 1.1: Factor de servicio

#### Service factors

- More than two sprocket system
- Reversing torque / load
- High load variations

#### Application service factor ( $F_a$ )

For transmission chain there may be a number of service factors that need to be applied. These may be:

Table 1

Application service factor ( $F_a$ )		Type of prime mover		
Load classification	Driven equipment	Electric motor or turbine	Internal combustion engine > 6 cylinders, with flywheel, or hydraulic coupling	Internal combustion engine < 6 cylinders, with NO flywheel, or hydraulic coupling
Uniform load (U)	Agitators; centrifugal blowers; generators, centrifugal pumps; Uniformly loaded belt conveyor, lightly loaded chain conveyors	1.0	1.0	1.2
Moderate shock (M)	Centrifugal compressors; kilns and dryers; conveyors and elevators with intermittent, medium load fluctuations; Dryers; Pulverisers; machinery with moderate pulsating loads (machine tools paper, textiles)	1.3	1.2	1.4
Heavy shock (H)	Press, construction and mining equipment; reciprocating machinery, (compressors, reciprocating feeders, oil well rigs) rubber mixers, roll lines, machinery with heavy shock or reversing torques	1.5	1.4	1.7 – 1.9

### Apéndice 1.2: Cálculo de Power Rating

Table 9c

10B-1; (15.875 mm Pitch) Power ratings in kilowatt (European standard)

No of teeth Z	Pitch circle Dia. mm	rpm of small (faster) sprocket $z_1$															
		25	50	75	100	200	300	400	500	750	1 000	1 200	1 500	1 800	2 100	2 400	2 700
13	66,34	0,25	0,43	0,66	0,82	1,60	2,19	2,81	3,48	4,94	6,47	7,68	7,81	5,84	4,62	3,79	3,17
15	76,35	0,27	0,52	0,70	0,95	1,70	2,58	2,99	4,06	5,24	6,86	9,01	9,70	7,24	5,73	4,70	3,93
17	86,39	0,33	0,59	0,85	1,09	2,08	2,94	3,67	4,64	6,44	8,43	10,22	11,67	8,76	6,91	5,67	4,76
19	96,45	0,38	0,66	1,00	1,23	2,42	3,32	4,26	5,23	7,49	9,80	11,59	13,82	10,38	8,16	6,70	5,61
21	106,51	0,42	0,74	1,10	1,38	2,67	3,69	4,69	5,84	8,24	10,77	12,88	15,79	12,02	9,45	7,79	6,55
23	116,51	0,45	0,81	1,19	1,51	2,90	4,08	5,12	6,42	8,98	11,75	14,16	17,33	13,82	10,82	8,93	7,49
25	126,66	0,49	0,90	1,30	1,67	3,15	4,46	5,54	7,03	9,73	12,73	15,63	18,97	15,63	12,36	10,12	8,50
Lubrication method		TYPE 1				TYPE 2						TYPE 3					

Refer multiple strand factor multiplier on table 6, page 13  
For requirements at faster speeds, or sprocket sizes contact SKF

### Apéndice 1.3: Factor de corrección del Power Rating, de acuerdo número de dientes.

Table 5

Sprocket Correction Factors					
No. teeth Z	Tooth Factor F2	No. teeth Z	Tooth Factor F2	No. teeth Z	Tooth Factor F2
23	1.22	17	0.90	12	0.35
21	1.11	15	0.60	11	0.30
19	1.00	13	0.40	10	NR <sup>A</sup>

14

SKF

### Apéndice 1.4: Método de lubricacion de la cadena

#### Lubrication

On the power rating tables, the foot of each table shows a "Lubrication Type". This is the recommended method of lubrication at that operating speed. The types referred to are shown in Table 7 below:

Table 7

Lubrication methods		
Type	Lubrication method	Description
<b>Type I</b> (Low speed)	Manual lubrication Drip feed lubrication	Oil is applied manually by brush or oil-can Via a drip system in a case, oil is fed via the sump to drip nozzles at a pre-determined rate
<b>Type II</b> (Low- Medium speed)	Oil bath Disc lubrication	In a leak proof casing, the chain dips into the sump reservoir by about 13–17mm. In a leak proof casing, a disc or flinger supplies oil to the chain, which operates above the oil level.
<b>Type III</b> (High speed)	Pump lubrication	In a leak proof casing oil is pumped directly onto the chain links. The oil is circulated usually via an external filter / cooling system.

**Relative speed range for lubrication tables**  
 Type I: Low speed is considered to be less than 60% of the maximum permissible chain speed.  
 Type II: Low- Medium speed is between 60% and 80% of the maximum permissible chain speed.  
 Type III: High speed is when the chain is operating over 80% of the permissible chain speed.  
 In general, the larger the chain pitch, the lower the permissible speed range. If higher speeds are required, consider using multi-strand chains.

### Apéndice 1.5: Valor de K para obtener la longitud de la cadena.

Table 8

'K' Factors													
Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K
1	0,0	11,00	3,06	21,00	11,17	31,00	24,34	41,00	42,58	51,00	65,88	61	94,25
2	0,1	12,00	3,65	22,00	12,26	32,00	25,94	42,00	44,68	52,00	68,49	62	97,37
3	0,2	13,00	4,28	23,00	13,40	33,00	27,58	43,00	46,84	53,00	71,15	63	100,54
4	0,4	14,00	4,96	24,00	14,59	34,00	29,28	44,00	49,04	54,00	73,86	64	103,75
5	0,6	15,00	5,70	25,00	15,83	35,00	31,03	45,00	51,29	55,00	76,62	65	107,02
6	0,9	16,00	6,48	26,00	17,12	36,00	32,83	46,00	53,60	56,00	79,44	66	110,34
7	1,2	17,00	7,32	27,00	18,47	37,00	34,68	47,00	55,95	57,00	82,30	67	113,71
8	1,6	18,00	8,21	28,00	19,86	38,00	36,58	48,00	58,36	58,00	85,21	68	117,13
9	2,1	19,00	9,14	29,00	21,30	39,00	38,53	49,00	60,82	59,00	88,17	69	120,6
10	2,5	20,00	10,13	30,00	22,80	40,00	40,53	50,00	63,33	60,00	91,19	70	124,12
11	3,0	21,00	11,17	31,00	24,34	41,00	42,58	51,00	65,88	61	94,25	71	127,7
12	3,6	22,00	12,26	32,00	25,94	42,00	44,68	52,00	68,49	62	97,37	72	131,3
13	4,2	23,00	13,40	33,00	27,58	43,00	46,84	53,00	71,15	63	100,54	73	135,0
14	4,9	24,00	14,59	34,00	29,28	44,00	49,04	54,00	73,86	64	103,75	74	138,7
15	5,7	25,00	15,83	35,00	31,03	45,00	51,29	55,00	76,62	65	107,02	75	142,5
16	6,4	26,00	17,12	36,00	32,83	46,00	53,60	56,00	79,44	66	110,34	76	146,3
17	7,3	27,00	18,47	37,00	34,68	47,00	55,95	57,00	82,30	67	113,71	77	150,2
18	8,2	28,00	19,86	38,00	36,58	48,00	58,36	58,00	85,21	68	117,13	78	154,1
19	9,1	29,00	21,30	39,00	38,53	49,00	60,82	59,00	88,17	69	120,6	79	158,1
20	10,1	30,00	22,80	40,00	40,53	50,00	63,33	60,00	91,19	70	124,12	80	162,1
21	11,1	31,00	24,34	41,00	42,58	51,00	65,88	61	94,25	71	127,7		
22	12,2	32,00	25,94	42,00	44,68	52,00	68,49	62	97,37	72	131,3		
23	13,4	33,00	27,58	43,00	46,84	53,00	71,15	63	100,54	73	135,0		
24	14,5	34,00	29,28	44,00	49,04	54,00	73,86	64	103,75	74	138,7		
25	15,8	35,00	31,03	45,00	51,29	55,00	76,62	65	107,02	75	142,5		
26	17,1	36,00	32,83	46,00	53,60	56,00	79,44	66	110,34	76	146,3		
27	18,4	37,00	34,68	47,00	55,95	57,00	82,30	67	113,71	77	150,2		
28	19,8	38,00	36,58	48,00	58,36	58,00	85,21	68	117,13	78	154,1		
29	21,3	39,00	38,53	49,00	60,82	59,00	88,17	69	120,6	79	158,1		
30	22,8	40,00	40,53	50,00	63,33	60,00	91,19	70	124,12	80	162,1		
31	24,3	41,00	42,58	51,00	65,88	61	94,25	71	127,7				
32	25,9	42,00	44,68	52,00	68,49	62	97,37	72	131,3				
33	27,5	43,00	46,84	53,00	71,15	63	100,54	73	135,0				
34	29,2	44,00	49,04	54,00	73,86	64	103,75	74	138,7				
35	31,0	45,00	51,29	55,00	76,62	65	107,02	75	142,5				
36	32,8	46,00	53,60	56,00	79,44	66	110,34	76	146,3				
37	34,6	47,00	55,95	57,00	82,30	67	113,71	77	150,2				
38	36,5	48,00	58,36	58,00	85,21	68	117,13	78	154,1				
39	38,5	49,00	60,82	59,00	88,17	69	120,6	79	158,1				
40	40,5	50,00	63,33	60,00	91,19	70	124,12	80	162,1				
41	42,5	51,00	65,88	61	94,25	71	127,7						
42	44,6	52,00	68,49	62	97,37	72	131,3						
43	46,8	53,00	71,15	63	100,54	73	135,0						
44	49,0	54,00	73,86	64	103,75	74	138,7						
45	51,2	55,00	76,62	65	107,02	75	142,5						
46	53,6	56,00	79,44	66	110,34	76	146,3						
47	55,9	57,00	82,30	67	113,71	77	150,2						
48	58,3	58,00	85,21	68	117,13	78	154,1						
49	60,8	59,00	88,17	69	120,6	79	158,1						
50	63,3	60,00	91,19	70	124,12	80	162,1						
51	65,8	61	94,25	71	127,7								
52	68,4	62	97,37	72	131,3								
53	71,1	63	100,54	73	135,0								
54	73,8	64	103,75	74	138,7								
55	76,6	65	107,02	75	142,5								
56	79,4	66	110,34	76	146,3								
57	82,3	67	113,71	77	150,2								
58	85,2	68	117,13	78	154,1								
59	88,1	69	120,6	79	158,1								
60	91,1	70	124,12	80	162,1								
61	94,2	71	127,7										
62	97,3	72	131,3										
63	100,5	73	135,0										
64	103,7	74	138,7										
65	107,0	75	142,5										
66	110,3	76	146,3										
67	113,7	77	150,2										
68	117,1	78	154,1										
69	120,6	79	158,1										
70	124,1	80	162,1										

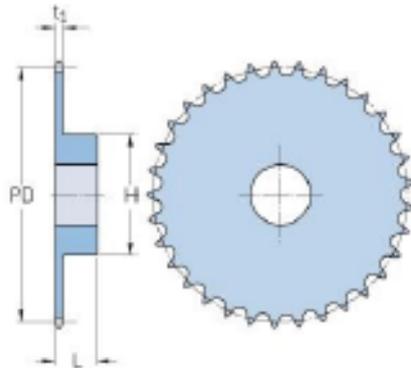
16

SKF

## Apéndice 1.6: Selección del Piñón.

**Sprockets**  
Metric Simplex, Pilot Bore

# PHS 10B-1B10



Pitch P (mm)	15.88
Pitch P (in)	0.63
No. of teeth	10
Pitch diameter (mm)	15.88
Pitch diameter (in)	0.63
Min. bore (mm)	10
Min. bore (in)	0.39
Max. bore (mm)	18
Max. bore (in)	0.71
Hub H (mm)	35
Hub H (in)	1.38
Hub L (mm)	25
Hub L (in)	0.98
Weight (kg)	0.23
Weight (lbs)	0.51

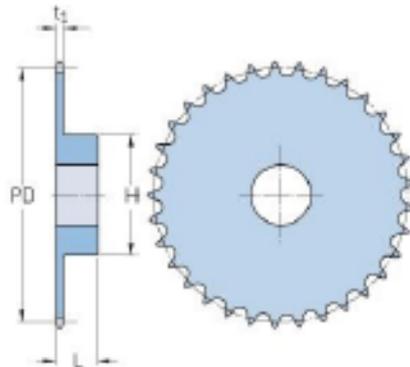
© SKF is a registered trademark of the SKF Group

© SKF Group 2012

The contents of this publication are the copyright of the publisher and may not be reproduced (even extracts) unless prior written permission is granted. Every care has been taken to ensure the accuracy of the information contained in this publication but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the information contained herein.

**SKF**

## PHS 10B-1B30



Pitch P (mm)	15.88
Pitch P (in)	0.63
No. of teeth	30
Pitch diameter (mm)	15.88
Pitch diameter (in)	0.63
Min. bore (mm)	20
Min. bore (in)	0.79
Max. bore (mm)	58
Max. bore (in)	2.28
Hub H (mm)	90
Hub H (in)	3.54
Hub L (mm)	35
Hub L (in)	1.38
Weight (kg)	2.42
Weight (lbs)	5.34

© SKF is a registered trademark of the SKF Group

© SKF Group 2012

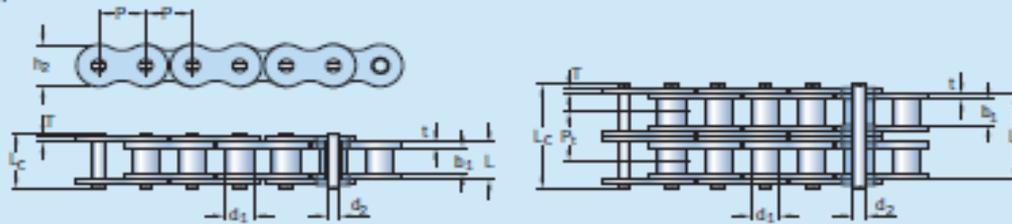
The contents of this publication are the copyright of the publisher and may not be reproduced (even extracts) unless prior written permission is granted. Every care has been taken to ensure the accuracy of the information contained in this publication but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the information contained herein.

**SKF**

## Apéndice 1.8: Selección de la cadena.

Table 1

BS European standard chains

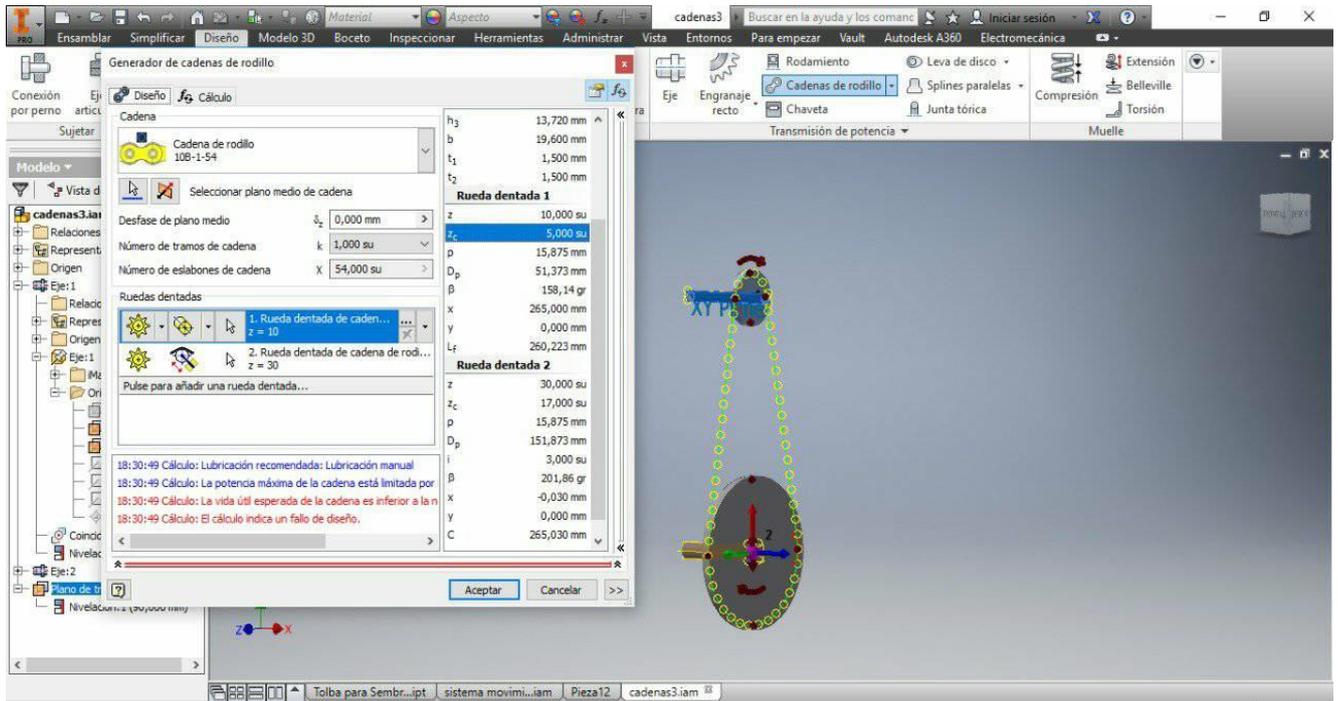


BS/ISO Chain number	Dimensions			Pin diameter	Pin length	Inner plate height	Plate thickness	Transverse pitch	Ultimate tensile strength	Average tensile strength	Weight per meter	Designation		
	Pitch	Roller diameter	Width between inner plates											
	P	d <sub>1</sub> max	b <sub>1</sub> min	d <sub>2</sub> max	L max	L <sub>c</sub> max	t max	T max	P <sub>t</sub>	Q min	Q <sub>a</sub>	q		
	mm										kN	kg/m		
04B-1	6,000	4,00	2,80	1,85	6,80	7,8	5,00	0,60	0,60	-	3,0	3,2	0,11	PHC 04B-1
05B-1	8,000	5,00	3,00	2,31	8,20	8,9	7,10	0,80	0,80	-	5,0	5,9	0,20	PHC 05B-1
06B-1*	9,525	6,35	5,72	3,28	13,15	14,1	8,20	1,30	1,30	-	9,0	10,4	0,41	PHC 06B-1
08B-1	12,700	8,51	7,75	4,45	14,70	18,2	11,80	1,60	1,60	-	18,0	19,4	0,69	PHC 08B-1
10B-1	15,875	10,16	9,65	5,08	19,50	20,9	14,70	1,70	1,70	-	22,4	27,5	0,93	PHC 10B-1
12B-1	19,050	12,07	11,68	5,72	22,50	24,2	16,00	1,85	1,85	-	29,0	32,2	1,15	PHC 12B-1
16B-1	25,400	15,88	17,02	8,28	36,10	37,4	21,00	4,15	3,10	-	60,0	72,8	2,71	PHC 16B-1
20B-1	31,750	19,05	19,56	10,19	43,30	45,0	26,40	4,50	3,50	-	95,0	106,7	3,70	PHC 20B-1
24B-1	38,100	25,40	25,40	14,63	53,40	57,8	33,20	6,00	4,80	-	160,0	178,0	7,10	PHC 24B-1
28B-1	44,450	27,94	30,99	15,90	65,10	69,5	36,70	7,50	6,00	-	200,0	222,0	8,50	PHC 28B-1
32B-1	50,800	29,21	30,99	17,81	66,00	71,0	42,00	7,00	6,00	-	250,0	277,5	10,25	PHC 32B-1
40B-1	63,500	39,37	38,10	22,89	82,20	89,2	52,96	8,50	8,00	-	355,0	394,0	16,35	PHC 40B-1
48B-1	76,200	48,26	45,72	29,24	99,10	107,0	63,80	12,00	10,00	-	560,0	621,6	25,00	PHC 48B-1
56B-1	88,900	53,98	53,34	34,32	114,60	123,0	77,80	13,50	12,00	-	850,0	940,0	35,78	PHC 56B-1
64B-1	101,600	63,50	60,96	39,40	130,00	138,5	90,17	15,00	13,00	-	1120,0	1240,0	46,00	PHC 64B-1
72B-1	114,300	72,39	68,58	44,48	147,40	156,4	103,60	17,00	15,00	-	1400,0	1550,0	60,80	PHC 72B-1
05B-2	8,000	5,00	3,00	2,31	13,9	14,5	7,10	0,80	0,80	5,64	7,8	10,2	0,33	PHC 05B-2
06B-2*	9,525	6,35	5,72	3,28	23,4	24,4	8,20	1,30	1,30	10,24	16,9	18,7	0,77	PHC 06B-2
08B-2	12,700	8,51	7,75	4,45	31,2	32,2	11,80	1,60	1,60	13,92	32,0	38,7	1,34	PHC 08B-2
10B-2	15,875	10,16	9,65	5,08	36,1	37,5	14,70	1,70	1,70	16,59	44,5	56,2	1,84	PHC 10B-2
12B-2	19,050	12,07	11,68	5,72	42,0	43,6	16,00	1,85	1,85	19,46	57,8	66,1	2,31	PHC 12B-2
16B-2	25,400	15,88	17,02	8,28	68,0	69,3	21,00	4,15	3,10	31,88	106,0	133,0	5,42	PHC 16B-2
20B-2	31,750	19,05	19,56	10,19	77,8	81,5	26,40	4,50	3,50	36,45	170,0	211,2	7,20	PHC 20B-2
24B-2	38,100	25,40	25,40	14,63	101,7	106,2	33,20	6,00	4,80	48,36	280,0	319,2	13,40	PHC 24B-2
28B-2	44,450	27,94	30,99	15,90	124,6	129,1	36,70	7,50	6,00	59,56	360,0	406,8	16,60	PHC 28B-2
32B-2	50,800	29,21	30,99	17,81	124,6	129,6	42,00	7,00	6,00	58,55	450,0	508,5	21,00	PHC 32B-2
40B-2	63,500	39,37	38,10	22,89	154,5	161,5	52,96	8,50	8,00	72,29	630,0	711,9	32,00	PHC 40B-2
48B-2	76,200	48,26	45,72	29,24	190,4	198,2	63,80	12,00	10,00	91,21	1000,0	1130,0	50,00	PHC 48B-2
56B-2	88,900	53,98	53,34	34,32	221,2	229,6	77,80	13,50	12,00	106,6	1600,0	1760,0	71,48	PHC 56B-2
64B-2	101,600	63,50	60,96	39,40	249,9	258,4	90,17	15,00	13,00	119,89	2000,0	2200,0	91,00	PHC 64B-2
72B-2	114,300	72,39	68,58	44,48	283,7	292,7	103,60	17,00	15,00	136,27	2500,0	2750,0	120,40	PHC 72B-2
05B-3	8,000	5,00	3,00	2,31	19,5	20,2	7,10	0,80	0,80	5,64	11,1	13,8	0,48	PHC 05B-3
06B-3*	9,525	6,35	5,72	3,28	33,5	34,6	8,20	1,30	1,30	10,24	24,9	30,1	1,16	PHC 06B-3
08B-3	12,700	8,51	7,75	4,45	45,1	46,1	11,80	1,60	1,60	13,92	47,5	57,8	2,03	PHC 08B-3
10B-3	15,875	10,16	9,65	5,08	52,7	54,1	14,70	1,70	1,70	16,59	66,7	84,5	2,77	PHC 10B-3
12B-3	19,050	12,07	11,68	5,72	61,5	63,1	16,00	1,85	1,85	19,46	86,7	101,8	3,46	PHC 12B-3
16B-3	25,400	15,88	17,02	8,28	99,8	101,2	21,00	4,15	3,10	31,88	160,0	203,7	8,13	PHC 16B-3
20B-3	31,750	19,05	19,56	10,19	114,2	117,9	26,40	4,50	3,50	36,45	250,0	290,0	10,82	PHC 20B-3
24B-3	38,100	25,40	25,40	14,63	150,1	154,6	33,20	6,00	4,80	48,36	425,0	493,0	20,10	PHC 24B-3
28B-3	44,450	27,94	30,99	15,90	184,2	188,7	36,70	7,50	6,00	59,56	530,0	609,5	24,92	PHC 28B-3
32B-3	50,800	29,21	30,99	17,81	183,2	188,2	42,00	7,00	6,00	58,55	670,0	770,5	31,56	PHC 32B-3
40B-3	63,500	39,37	38,10	22,89	226,8	233,8	52,96	8,50	8,00	72,29	950,0	1092,5	48,10	PHC 40B-3
48B-3	76,200	48,26	45,72	29,24	281,6	289,4	63,80	12,00	10,00	91,21	1500,0	1710,0	75,00	PHC 48B-3
56B-3	88,900	53,98	53,34	34,32	327,8	336,2	77,80	13,50	12,00	106,6	2240,0	2240,0	107,18	PHC 56B-3
64B-3	101,600	63,50	60,96	39,40	369,8	378,3	90,17	15,00	13,00	119,89	3000,0	3300,0	136,00	PHC 64B-3
72B-3	114,300	72,39	68,58	44,48	420,0	429,0	103,60	17,00	15,00	136,27	3750,0	4125,0	180,00	PHC 72B-3

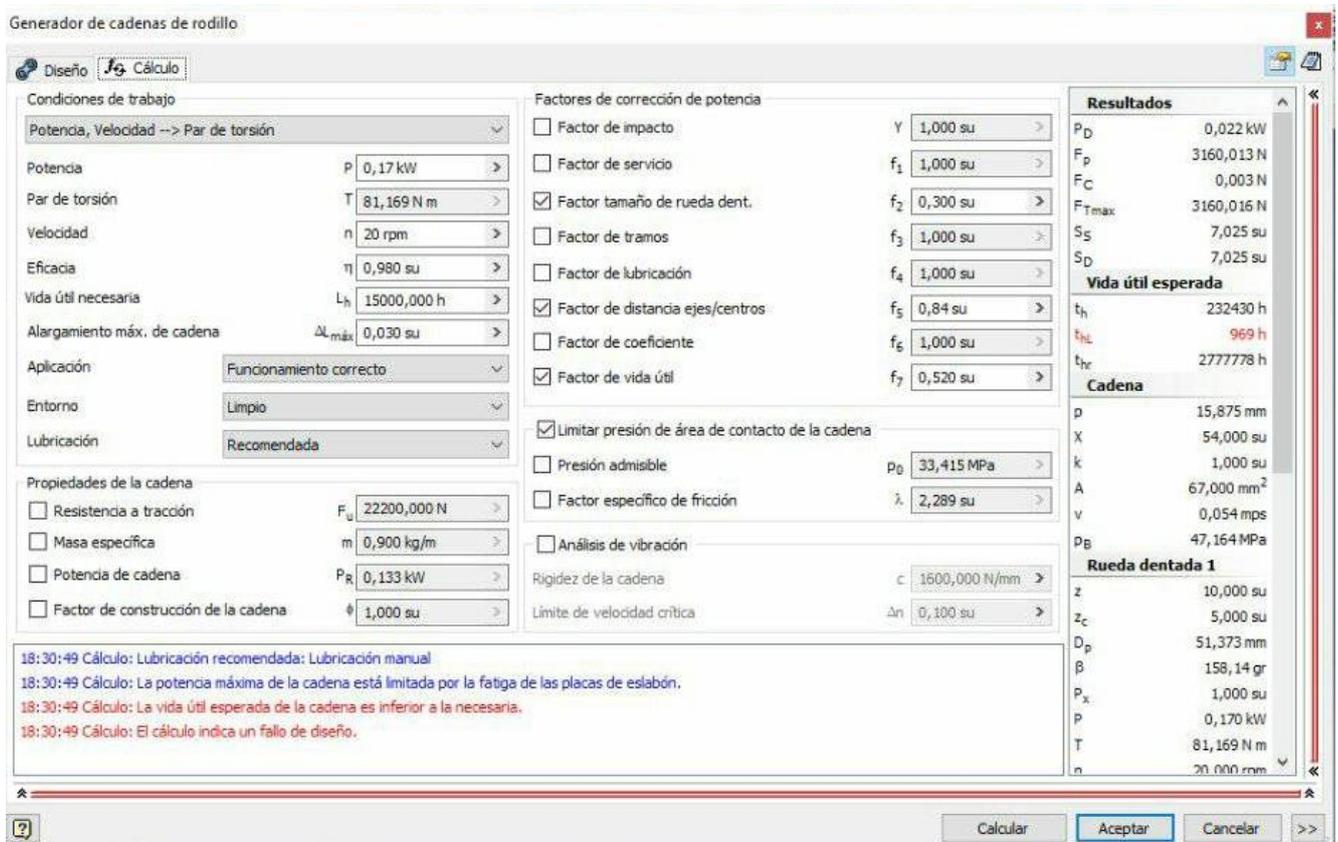
\* Straight side plates.

Standard lengths are 10 ft. and 5 m. To complete designation, add chain length. For example, a 5 m box of 08B-1 is PHC 08B-105MTR. For links, add "CVL" for "connecting" and "CVL" for "offset" to the designation.

## Apéndice 1.9: Simulación de cadena y catarinas en Inventor.

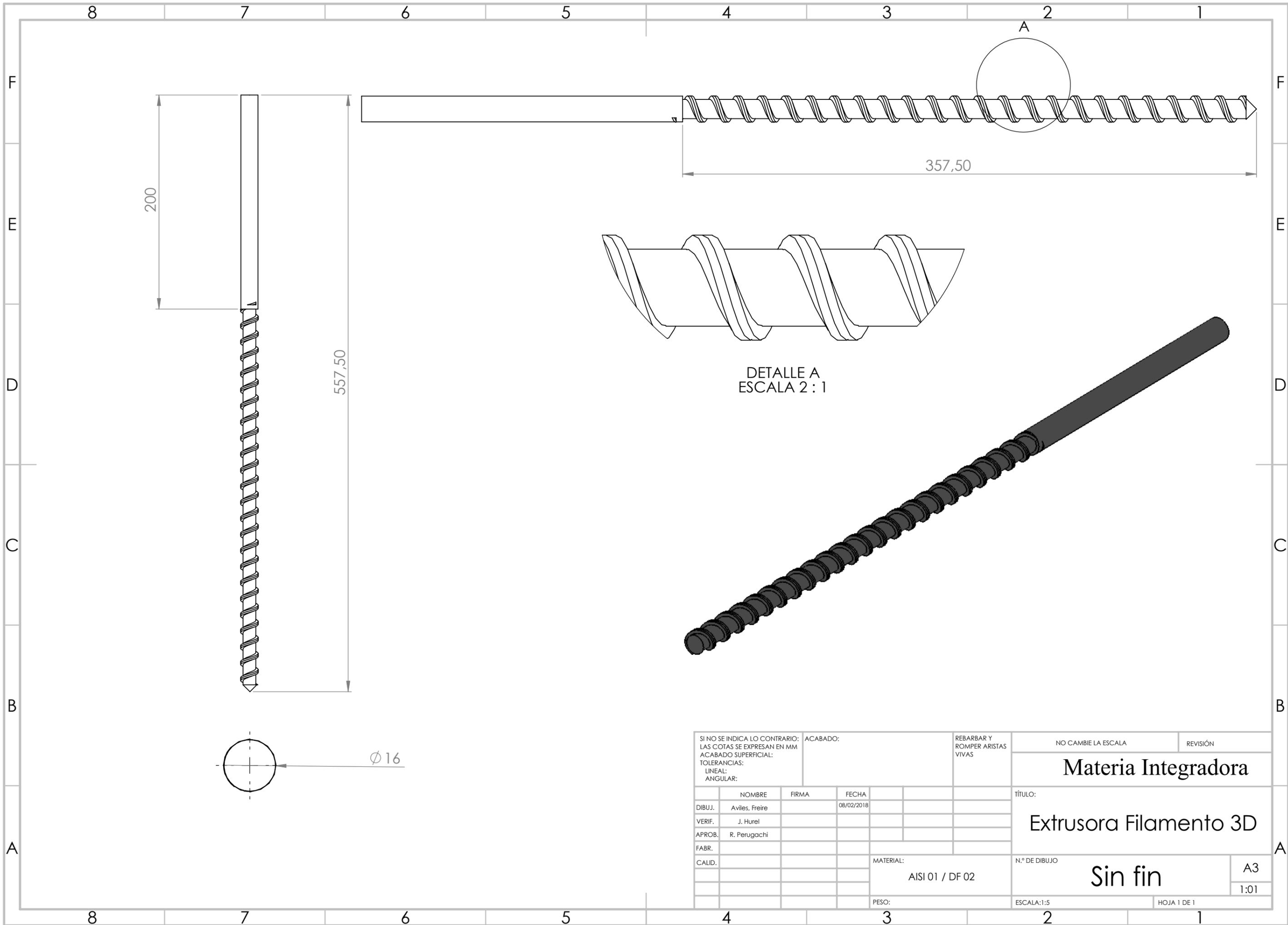


## Apéndice 1.10: Resultados de la simulación.



## **APÉNDICE 2**

# **PLANOS ESQUEMÁTICOS**



200

557,50

357,50

Ø16

DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
								<b>Materia Integradora</b>					
								TÍTULO:					
								<b>Extrusora Filamento 3D</b>					
								N.º DE DIBUJO		<b>Sin fin</b>		A3	
								MATERIAL:		AISI 01 / DF 02		1:01	
								PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Aviles, Freire		08/02/2018
VERIF.	J. Hurel		
APROB.	R. Perugachi		
FABR.			
CALID.			

4 3 2 1

F

F

E

E

D

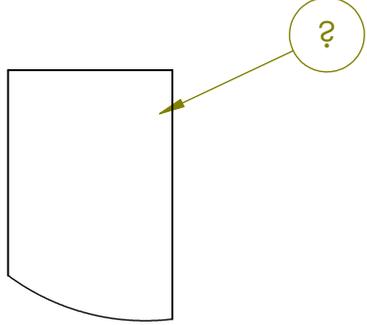
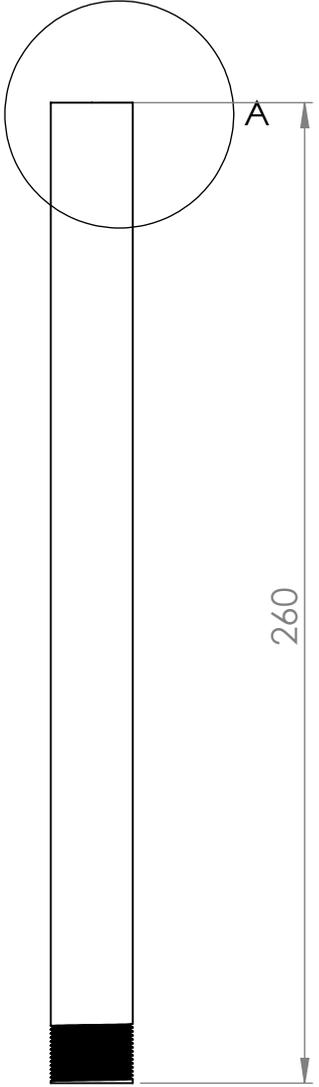
D

C

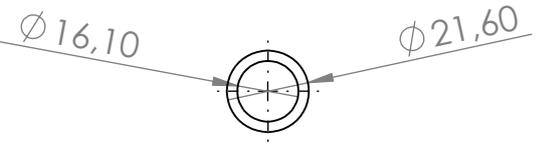
C

B

B



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

# Materia Integradora

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Aviles, Freire		08/02/2018
VERIF.	J. Hurel		
APROB.	R. Perugachi		
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:  
**Estrusora Filamento 3D**

MATERIAL:  
**ASTM 304**

N.º DE DIBUJO  
**Cilindro de extrusión**

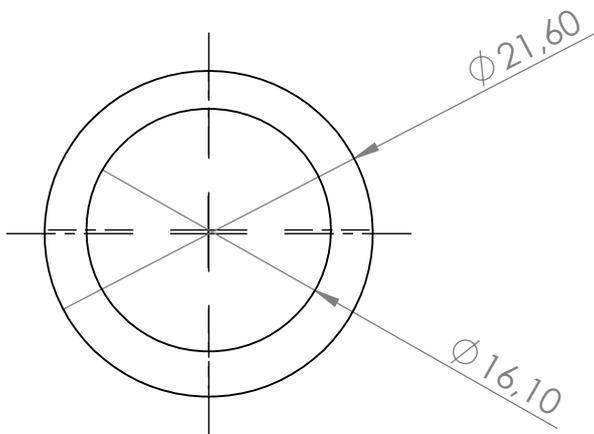
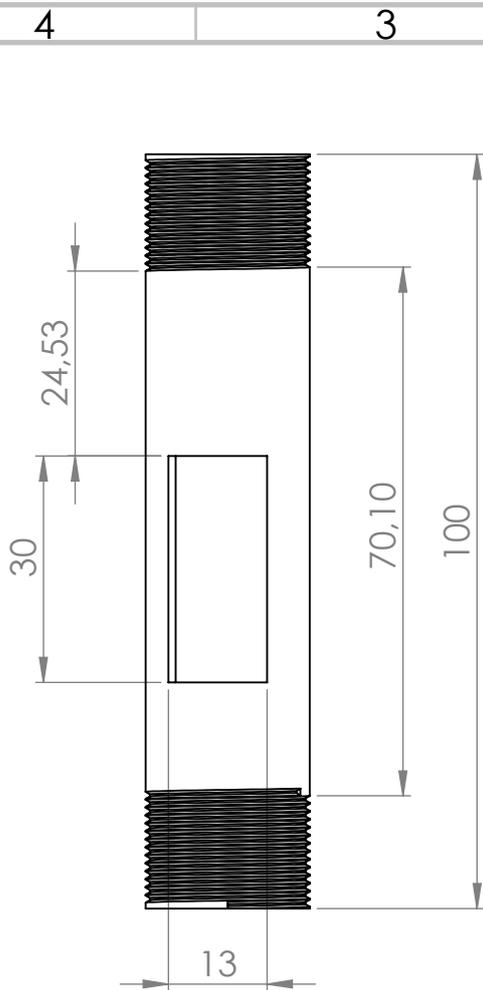
A4  
1:02

PESO: ESCALA:1:2 HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Materia Integradora

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	Aviles, Freire		08/02/2018	
VERIF.	J. Hurel			
APROB.	R. Perugachi			
FABR.				
CALID.				
				MATERIAL: ASTM 304
				PESO:

TÍTULO:

Extrusora Filamento 3D

N.º DE DIBUJO

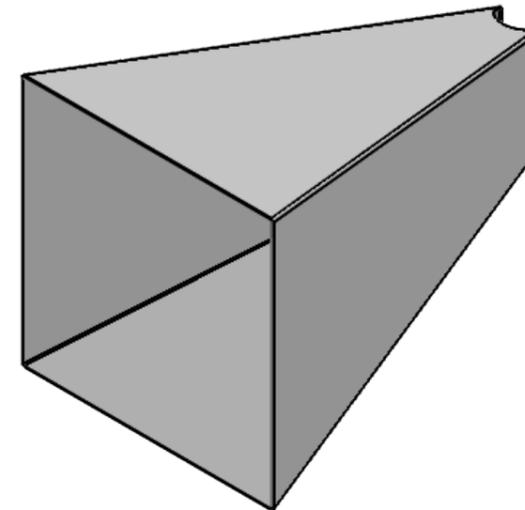
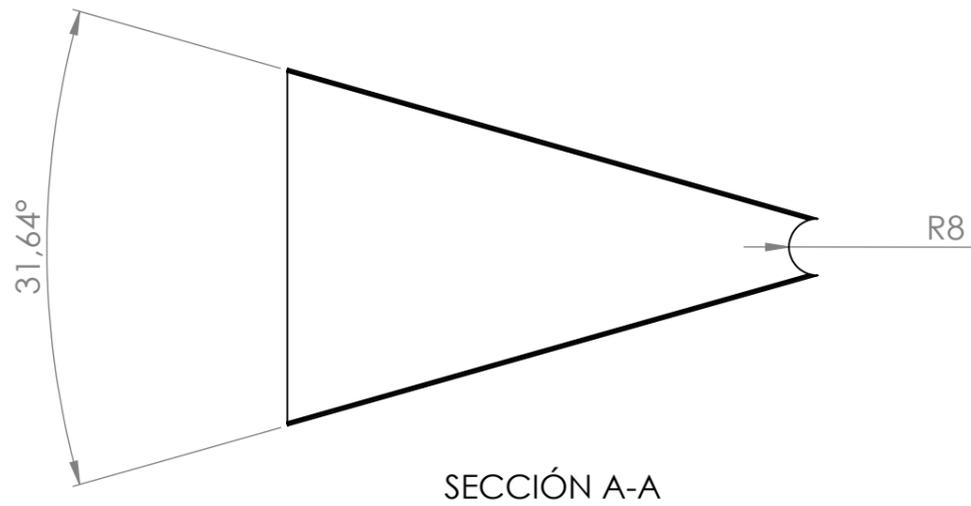
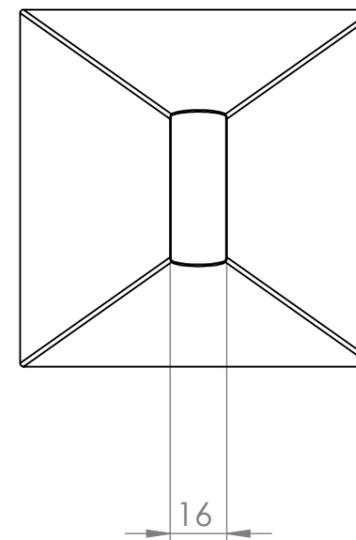
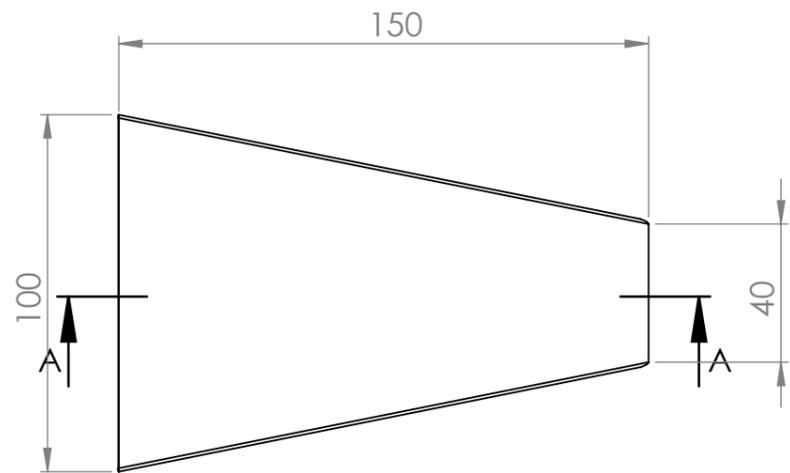
Cilindro Tolva

A4

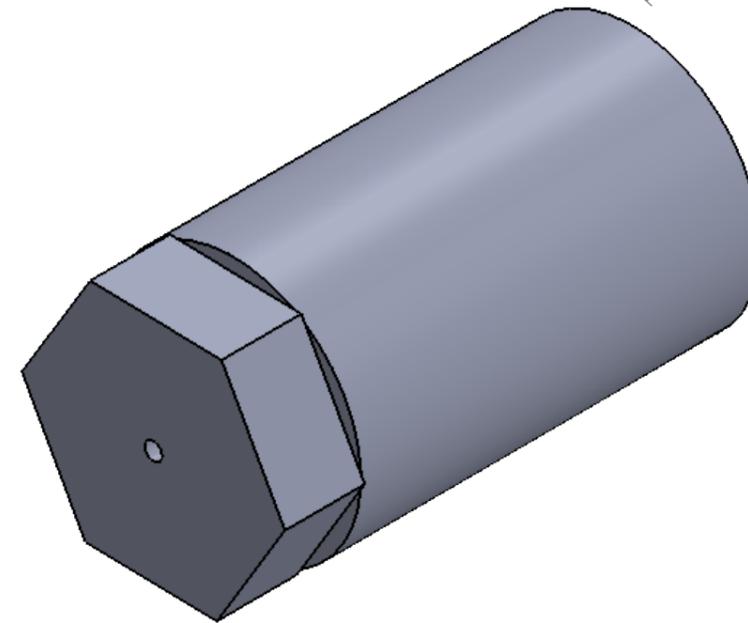
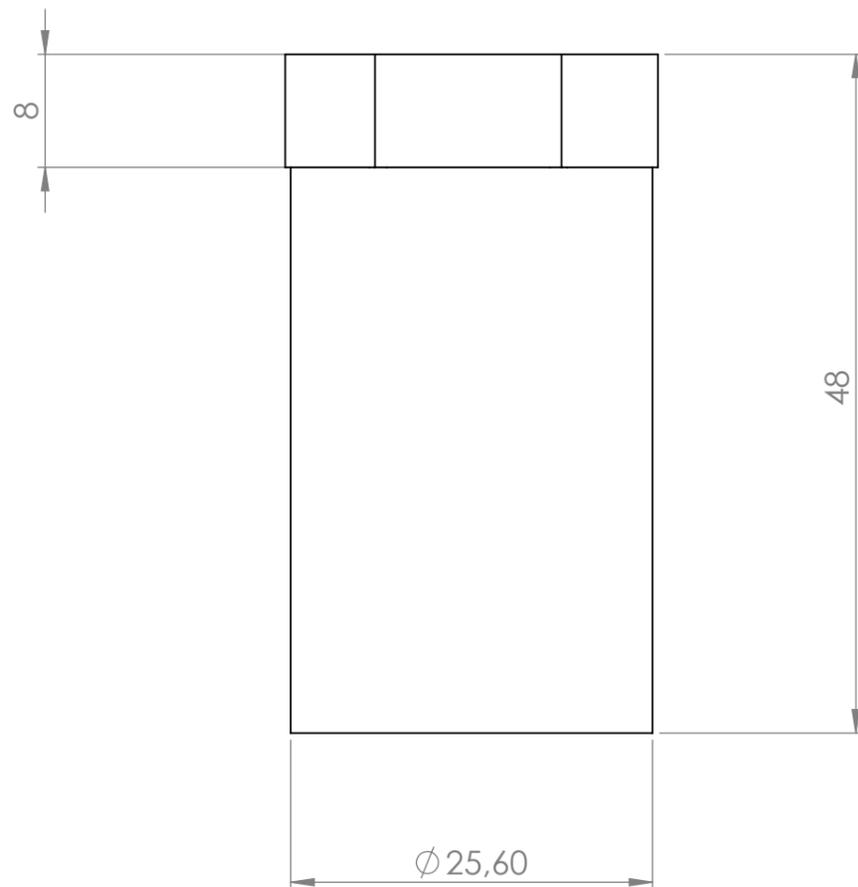
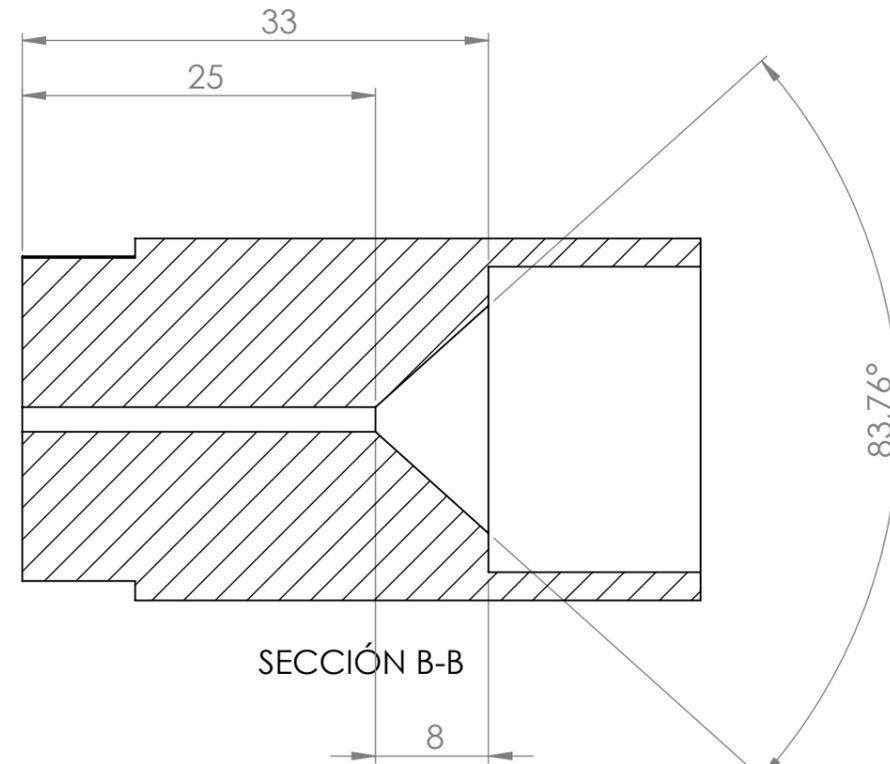
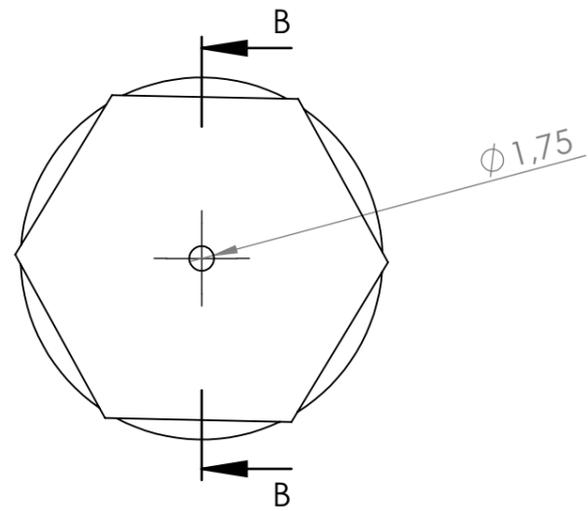
1:03

ESCALA:1:1

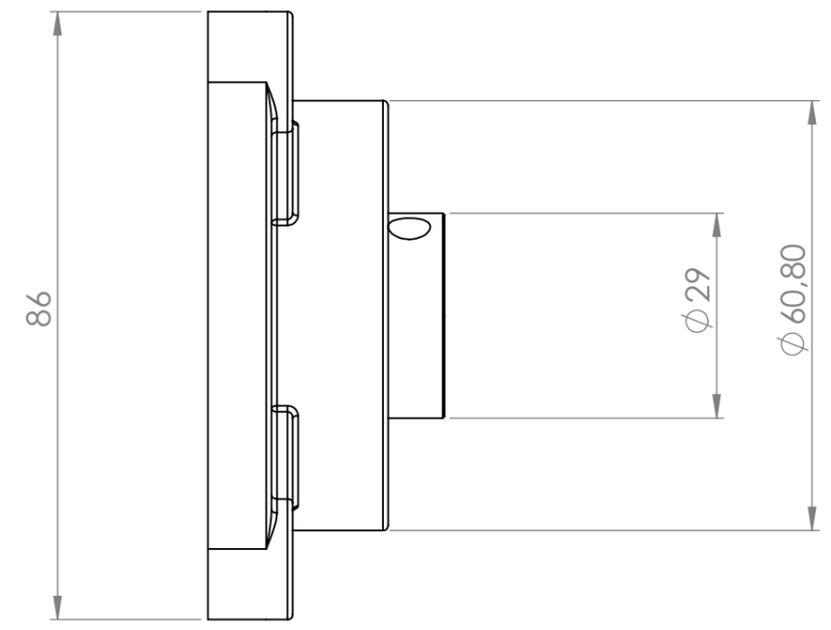
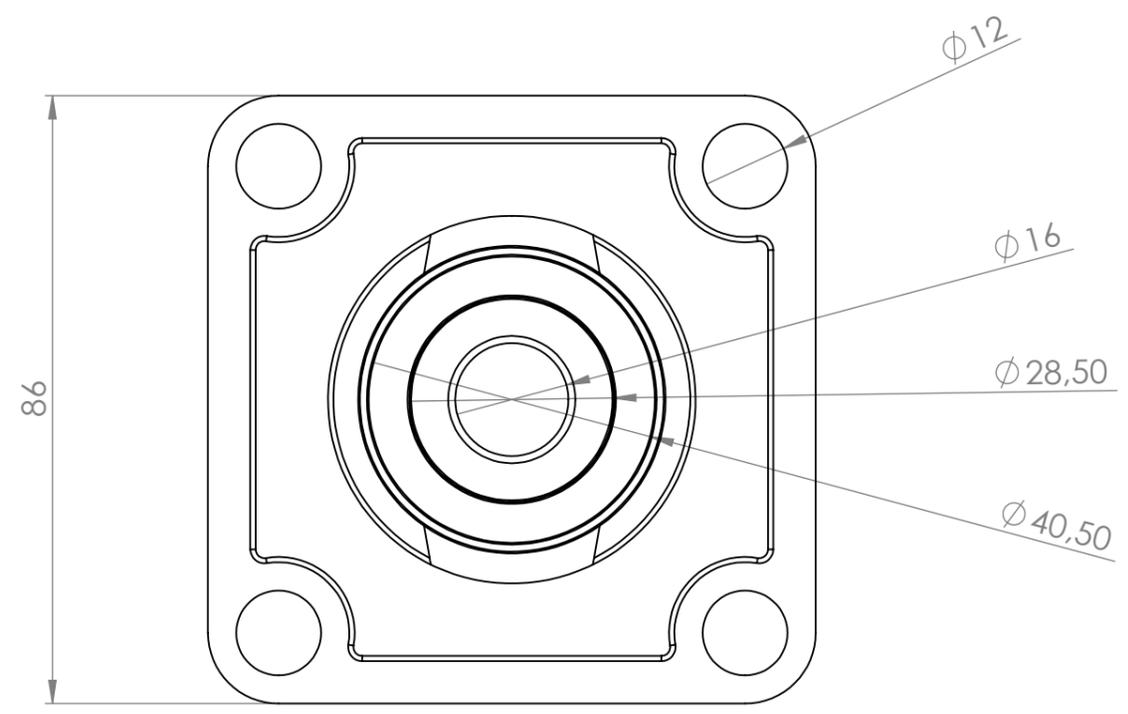
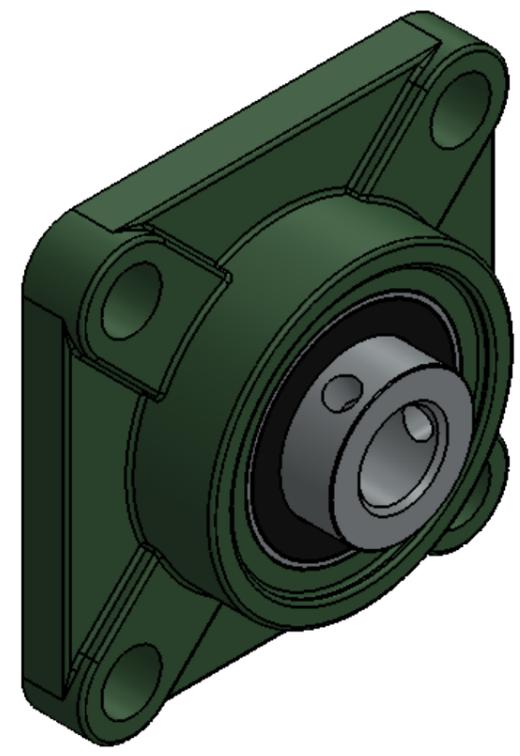
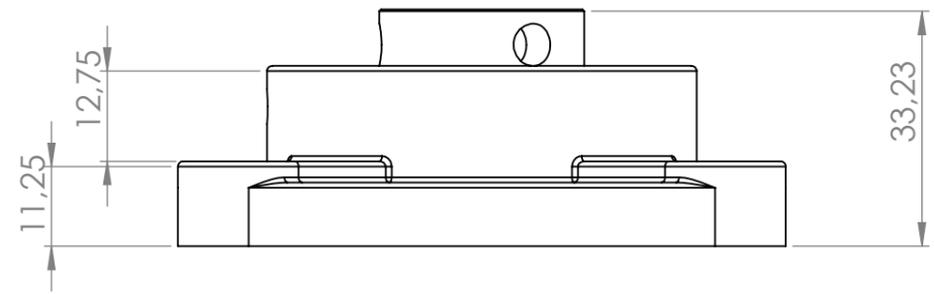
HOJA 1 DE 1



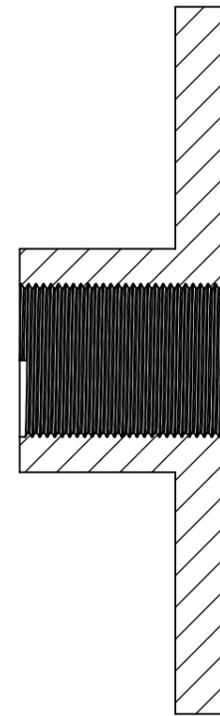
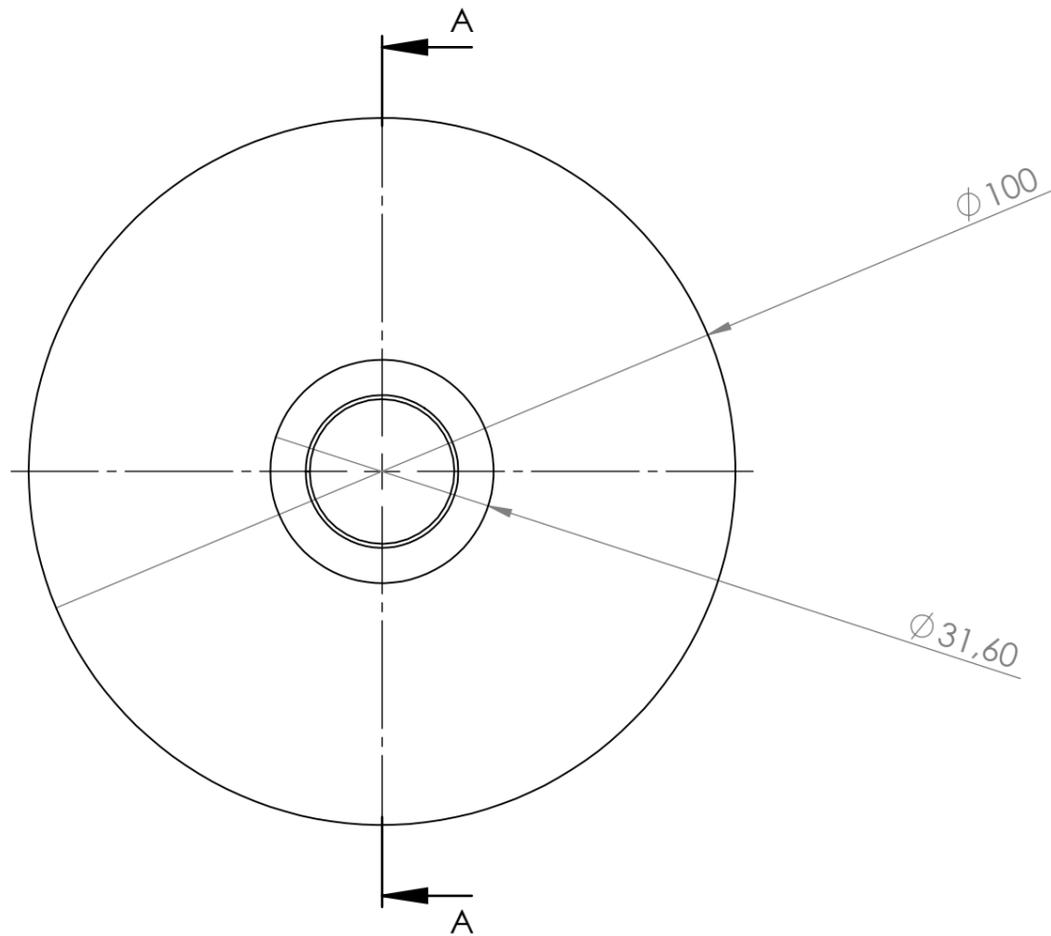
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								<b>Materia Integradora</b>			
								TÍTULO:			
								<b>Extrusora Filamento 3D</b>			
								N.º DE DIBUJO		A3	
								<b>Tolva de alimentacion</b>		1:04	
								ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	
DIBUJ. Aviles, Freire				FIRMA		FECHA 08/02/2018					
VERIF. J. Hurel											
APROB. R. Perugachi											
FABR.											
CALID.											
						MATERIAL:					
						<b>AISI 304</b>					
						PESO:					



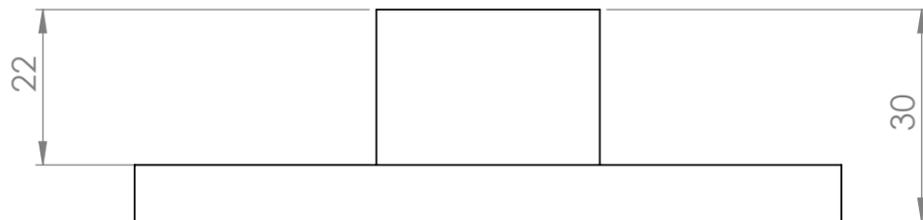
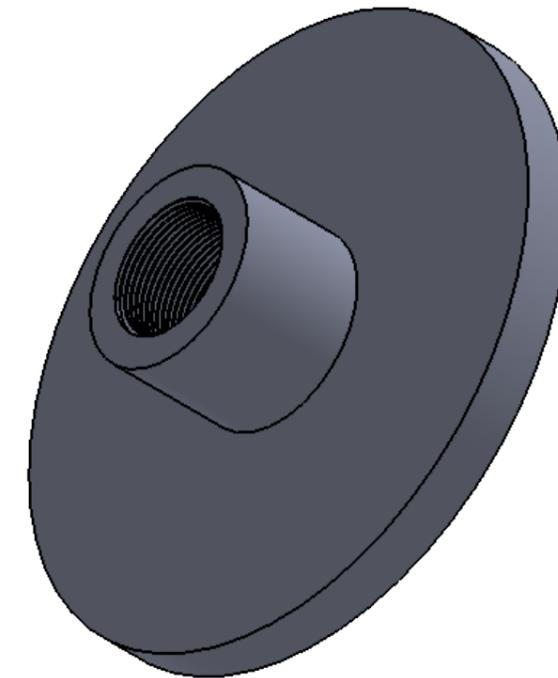
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								<b>Materia Integradora</b>			
								TÍTULO: <b>Extrusora Filamento 3D</b>			
DIBUJ. Aviles, Freire				FIRMA		FECHA 08/02/2018		N.º DE DIBUJO		A3	
VERIF. J. Hurel								<b>Dado de extrusión</b>		1:05	
APROB. R. Perugachi											
FABR.								ESCALA:2:1		HOJA 1 DE 1	
CALID.								PESO:			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
								<b>Materia Integradora</b>				
								TÍTULO: <b>Extrusora Filamento 3D</b>				
								N.º DE DIBUJO		<b>Chumacera</b>		A3
								ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1		1:06
				PESO:								
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA						
VERIF.		J. Hurel				08/02/2018						
APROB.		R. Perugachi										
FABR.												
CALID.												



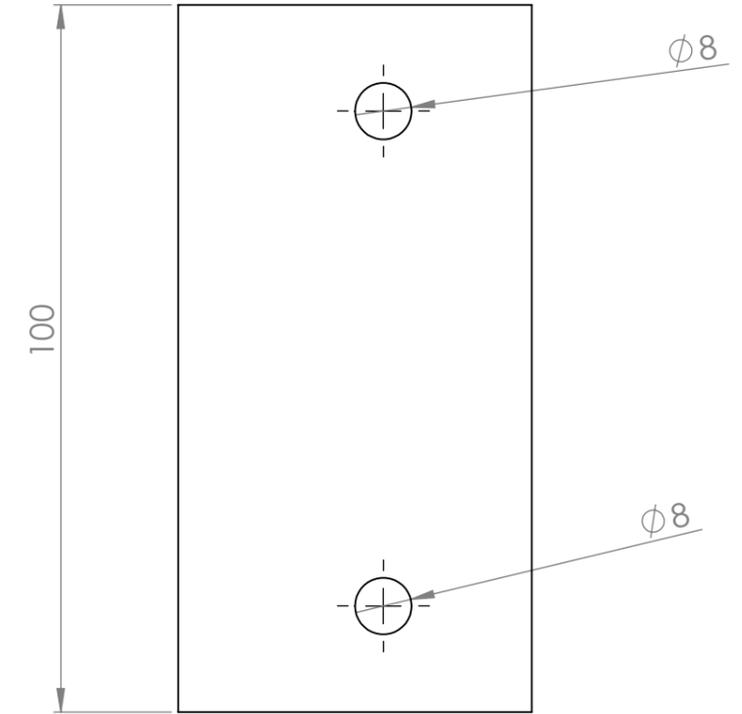
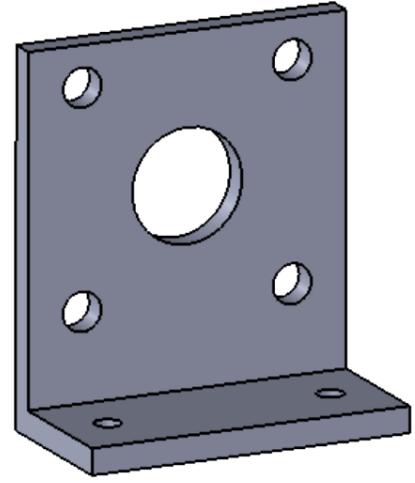
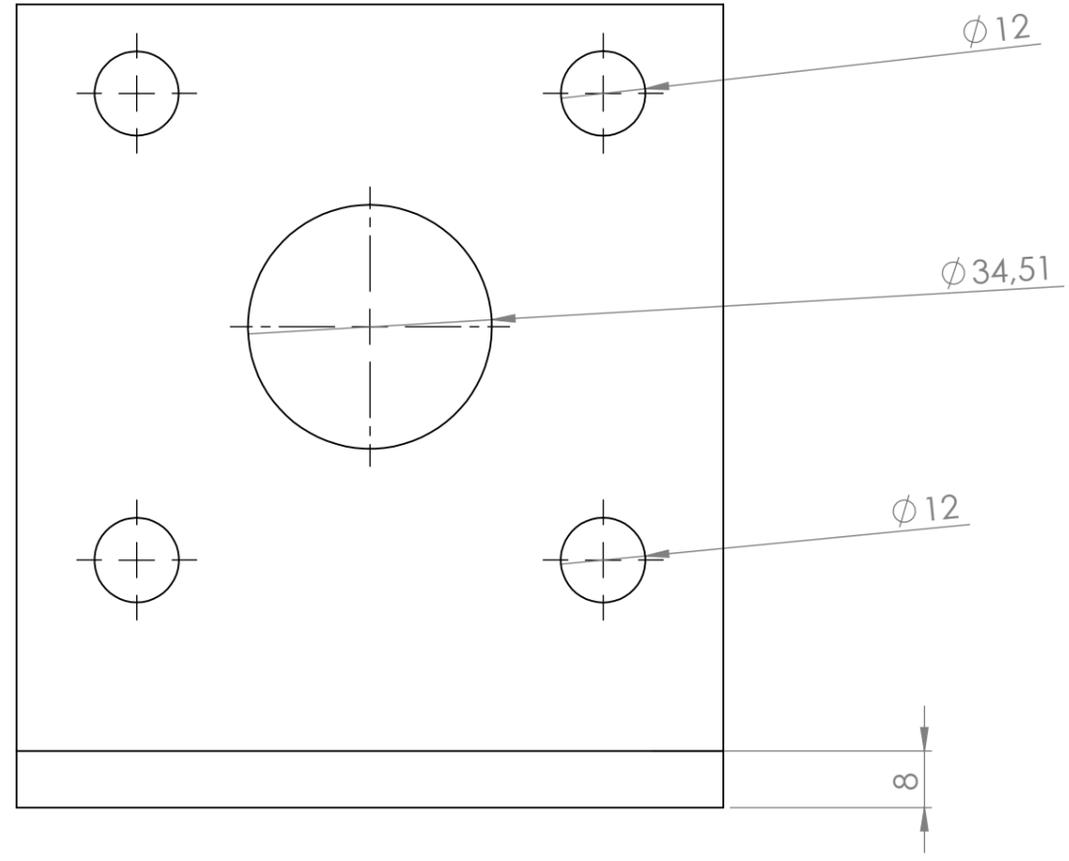
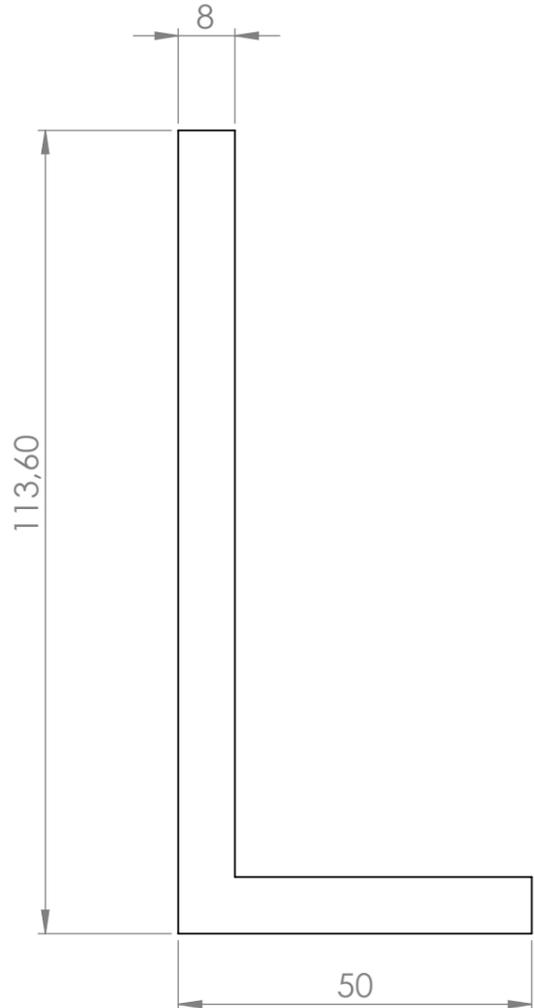
SECCIÓN A-A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>Materia Integradora</b>	
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
VERIF.	Aviles, Freire		08/02/2018	<b>Extrusora Filamento 3D</b>		
APROB.	J. Hurel					
FABR.	R. Perugachi			<b>Brida</b>		
CALID.						
			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A3	
			ASTM A-36	ESCALA:1:1	1:07	
			PESO:	HOJA 1 DE 1		

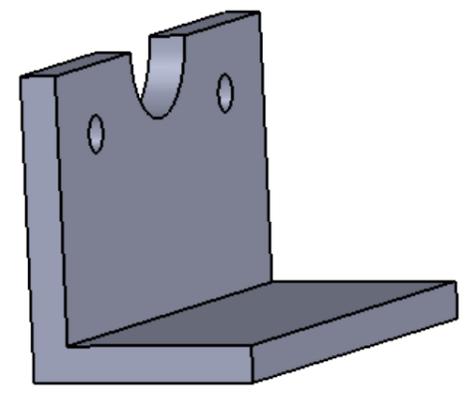
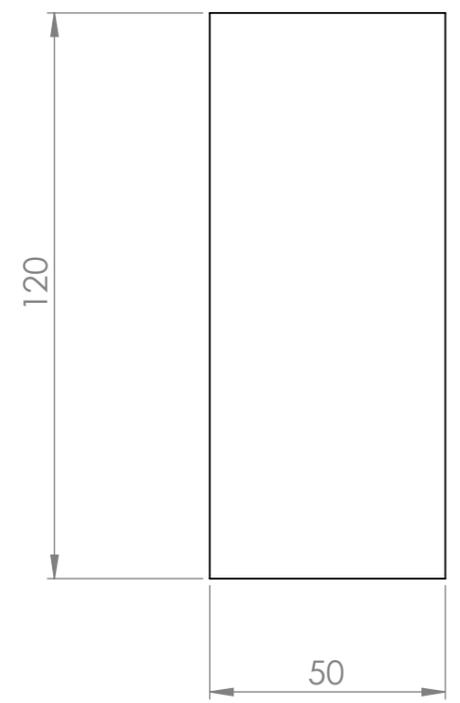
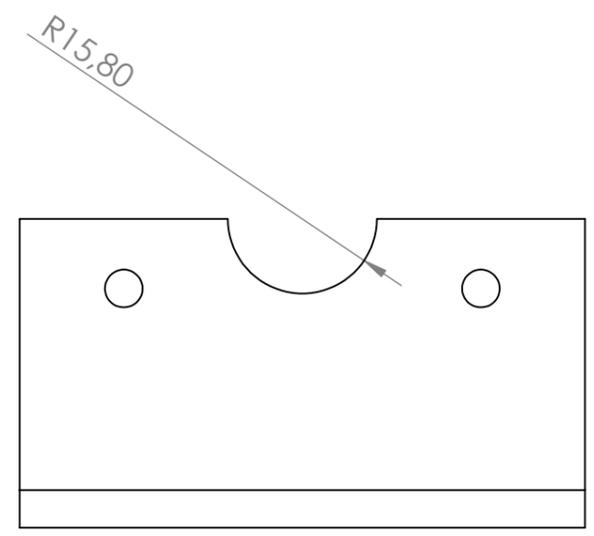
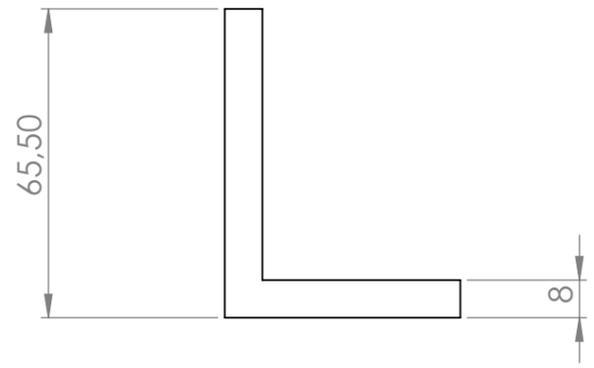
8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

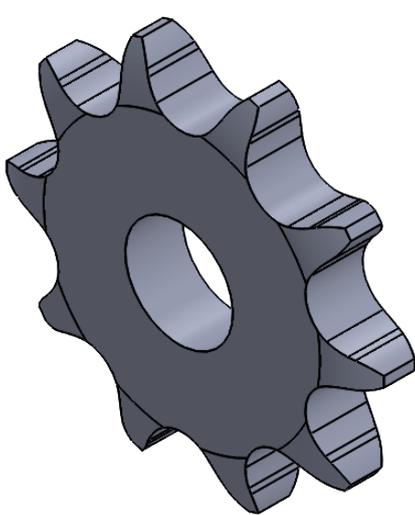
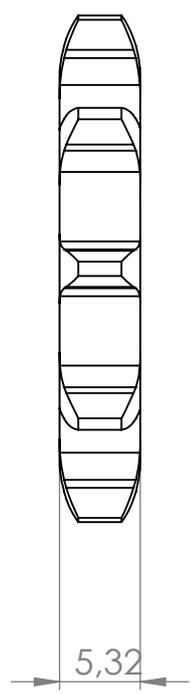
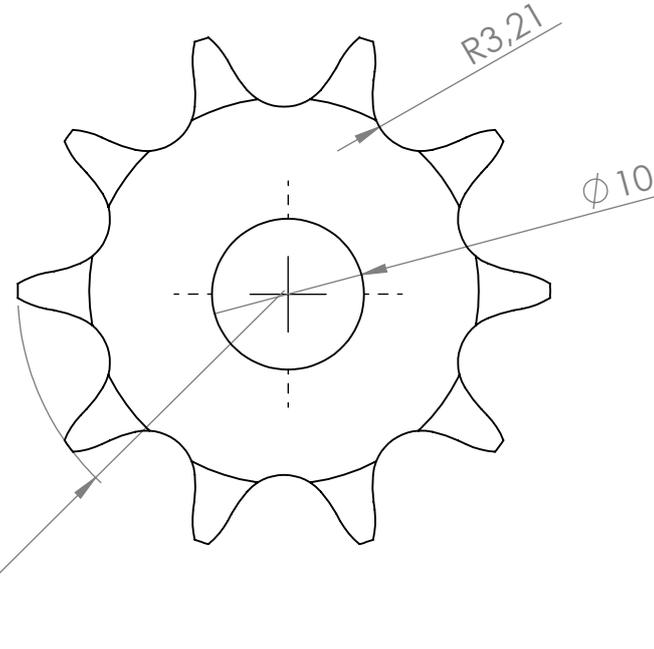


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>Materia Integradora</b>	
					TÍTULO: <b>Extrusora Filamento 3D</b>	
DIBUJ. Aviles C. Freire N.			FIRMA		FECHA 08/02/2018	
VERIF. J. Hurel			APROB. R. Perugachi		FABR.	
CALID.			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
			PESO:		ESCALA:1:2	
					<b>Soporte Chumacera</b>	
					A3 1:08	
					HOJA 1 DE 1	

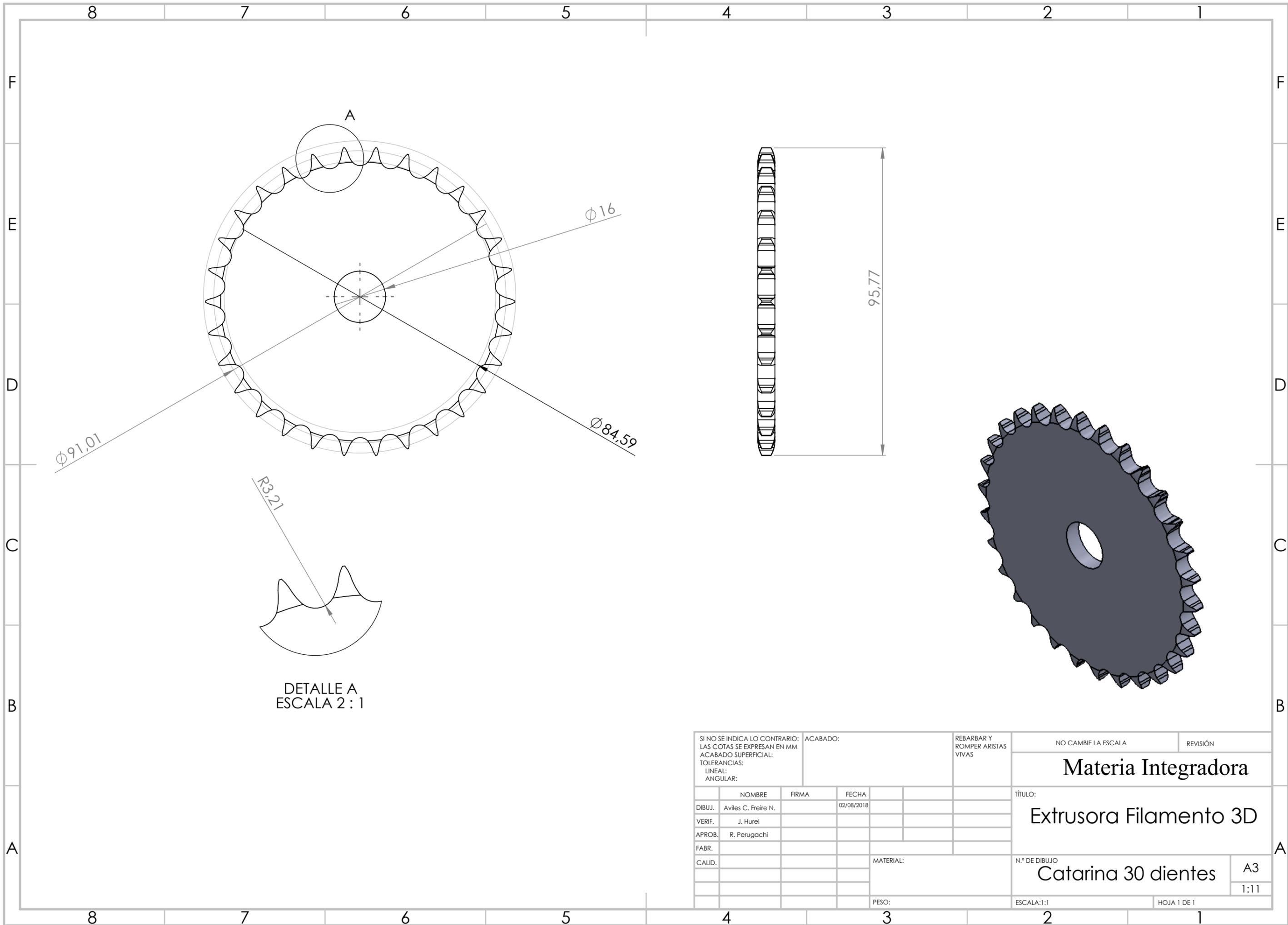
8 7 6 5 4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							<b>Materia Integradora</b>				
							TÍTULO: <b>Extrusora Filamento 3D</b>				
							N.º DE DIBUJO <b>Soporte Extrusora</b>				
							ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1		
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		MATERIAL:		A3	
VERIF.		J. Hurel				08/02/2018				1:09	
APROB.		R. Perugachi									
FABR.											
CALID.											
								PESO:			

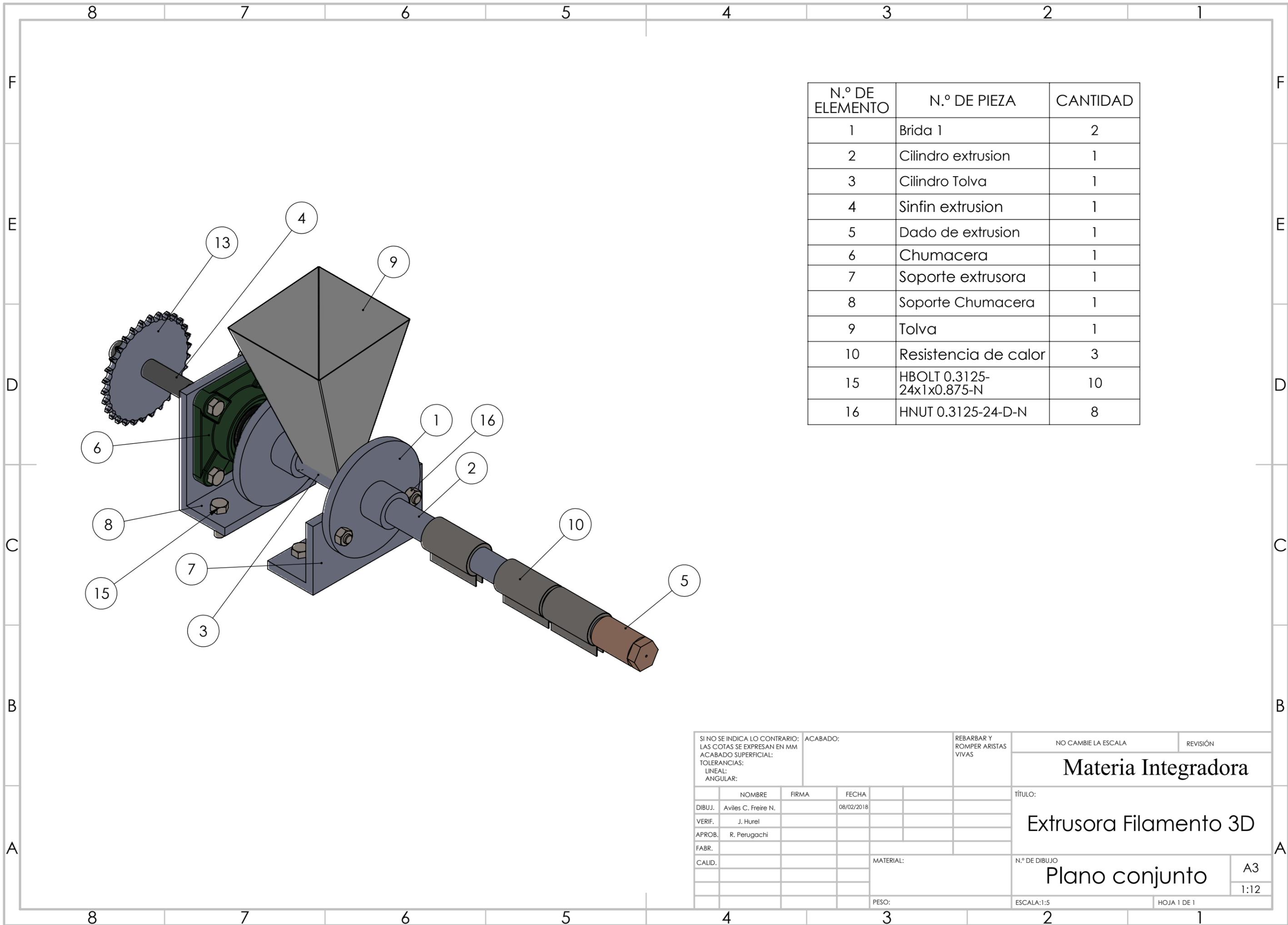


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				<b>Materia Integradora</b>	
DIBUJ. Aviles C. Freire N.		FIRMA	FECHA 08/02/2018	TÍTULO: <b>Extrusora Filamento 3D</b>	
VERIF. J. Hurel				N.º DE DIBUJO <b>Catarina 10 dientes</b>	
APROB. R. Perugachi				A4	
FABR.				1:10	
CALID.		MATERIAL:		ESCALA:2:1	
		PESO:		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>Materia Integradora</b>	
					TÍTULO:	
					<b>Extrusora Filamento 3D</b>	
					N.º DE DIBUJO	
					<b>Catarina 30 dientes</b>	
					A3	
					1:11	
					ESCALA:1:1	
					HOJA 1 DE 1	

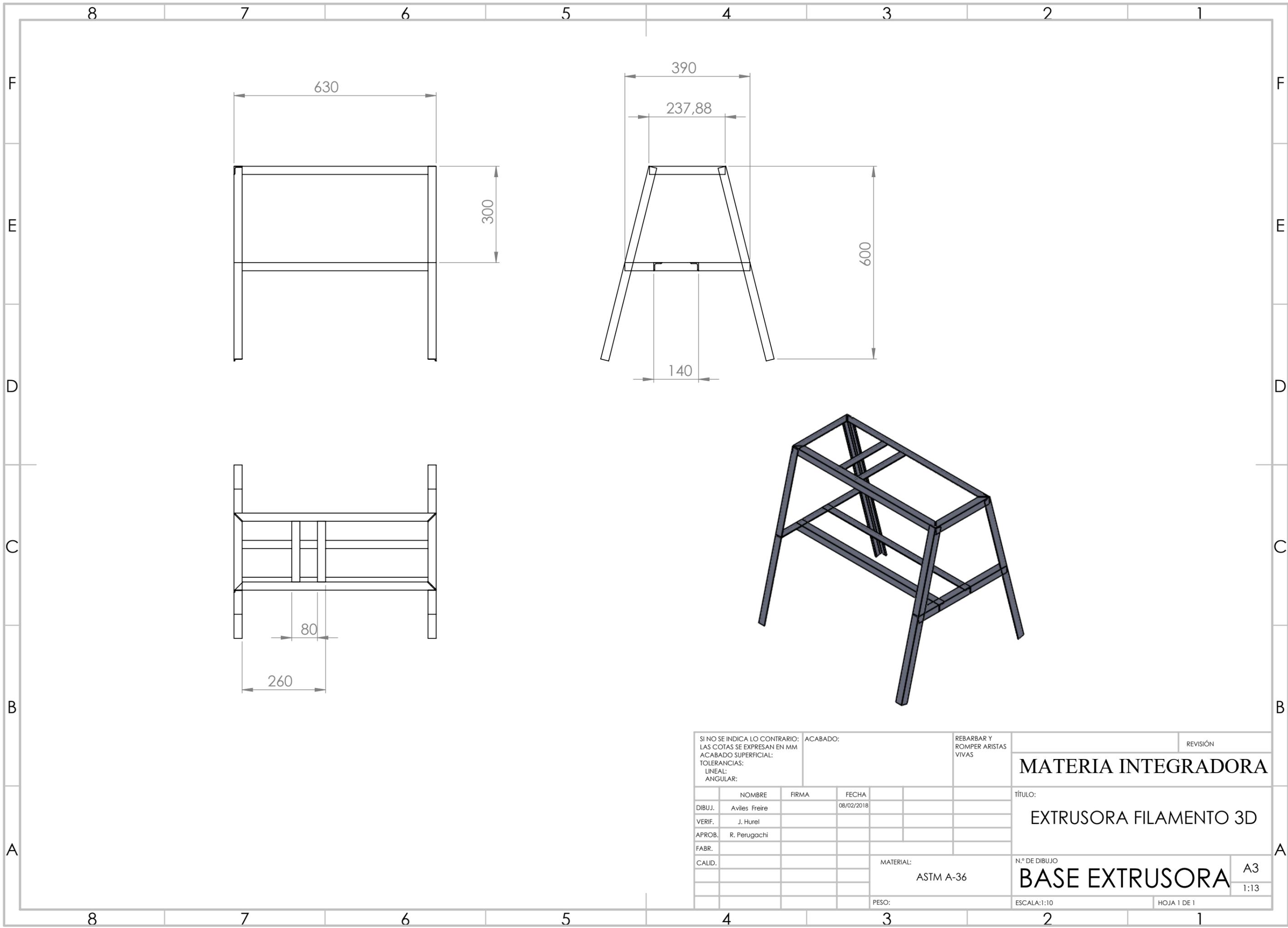
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Aviles C. Freire N.		02/08/2018
VERIF.	J. Hurel		
APROB.	R. Perugachi		
FABR.			
CALID.			
			MATERIAL:
			PESO:



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Brida 1	2
2	Cilindro extrusion	1
3	Cilindro Tolva	1
4	Sinfin extrusion	1
5	Dado de extrusion	1
6	Chumacera	1
7	Soporte extrusora	1
8	Soporte Chumacera	1
9	Tolva	1
10	Resistencia de calor	3
15	HBOLT 0.3125-24x1x0.875-N	10
16	HNUT 0.3125-24-D-N	8

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					<b>Materia Integradora</b>	
					TÍTULO:	
					<b>Extrusora Filamento 3D</b>	
					N.º DE DIBUJO	
					<b>Plano conjunto</b>	
					A3	
					1:12	
					ESCALA:1:5	
					HOJA 1 DE 1	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Aviles C. Freire N.		08/02/2018
VERIF.	J. Hurel		
APROB.	R. Perugachi		
FABR.			
CALID.			

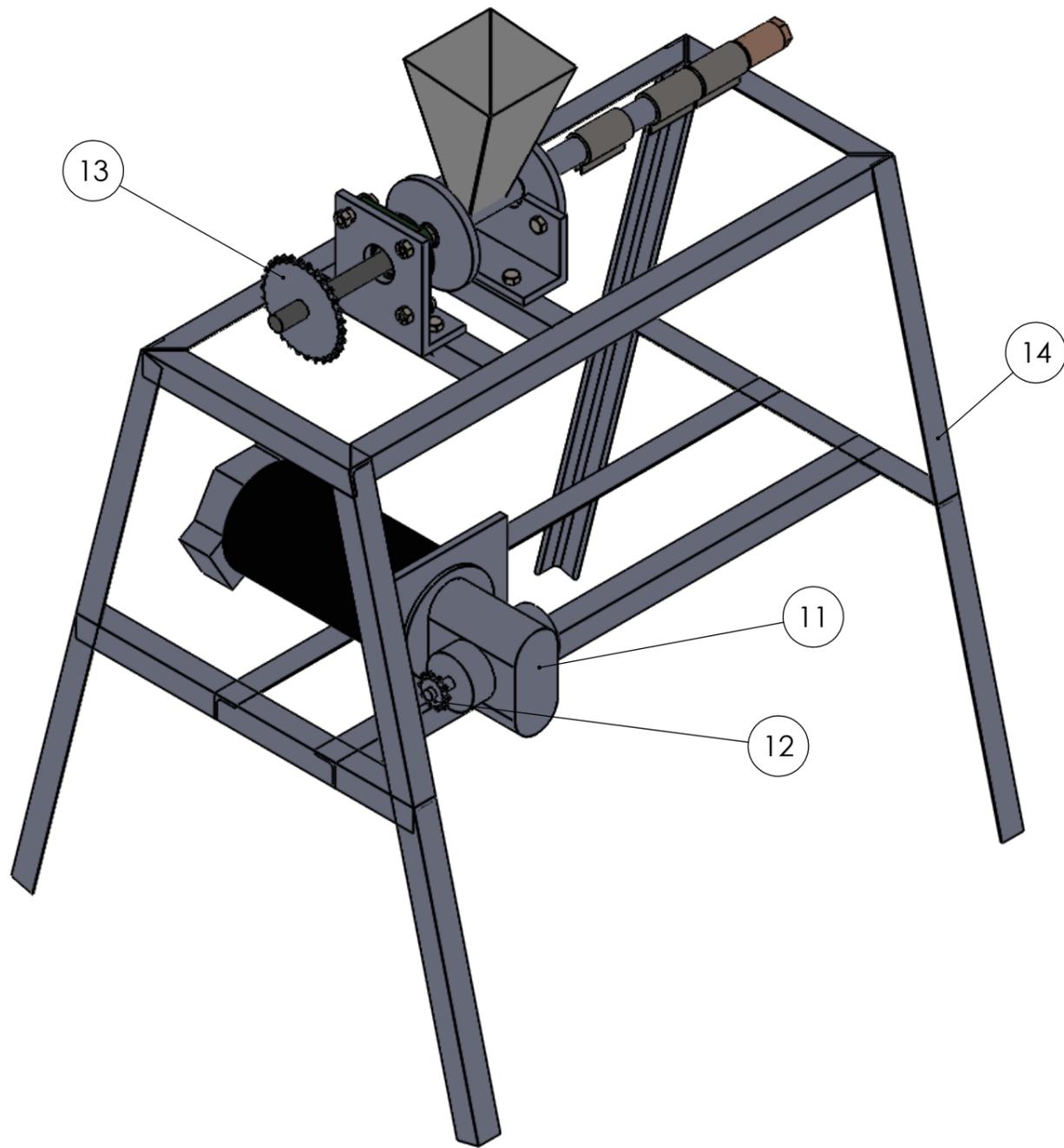


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		REVISIÓN	
								<b>MATERIA INTEGRADORA</b>	
								TÍTULO:	
								<b>EXTRUSORA FILAMENTO 3D</b>	
								N.º DE DIBUJO	
								<b>BASE EXTRUSORA</b>	
								A3	
								1:13	
								ESCALA:1:10	
								HOJA 1 DE 1	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Aviles Freire		08/02/2018
VERIF.	J. Hurel		
APROB.	R. Perugachi		
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:  
ASTM A-36

PESO:



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
11	motoreductor	1
12	piñon 10	1
13	piñon 30	1
14	base soldada	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
							<b>Materia Integradora</b>					
							TÍTULO:					
							Extrusora Filamento 3D					
							N.º DE DIBUJO		A3			
							Ensamble final		1:14			
							PESO:		ESCALA:1:20		HOJA 1 DE 1	
NOMBRE		FIRMA		FECHA								
DIBUJ.		Aviles C. Freire N.		08/02/2018								
VERIF.												
APROB.												
FABR.												
CALID.												

## **APÉNDICE 3**

# **FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES**

► Cód. IBCA: DF2 ≅ AISI 01 ≅ W.Nr. 1.2510 ≅ UDDEHOLM ARNE



**Información General**

Es un acero al manganeso - cromo - tungsteno templable en aceite y muy versátil, para uso general. Es apto para una gran variedad de aplicaciones de trabajo en frío. Entre sus principales características se cuentan:

- Buena mecanibilidad.
- Buena estabilidad dimensional en el temple.
- Una buena combinación de gran dureza superficial y tenacidad tras el temple y revenido.

Estas características reportan un acero apropiado para la fabricación de herramientas de gran longevidad y alta rentabilidad en la producción.

DF2 puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, pre-mecanizado, mecanizado fino y rectificado de precisión. También puede obtenerse en forma de barras huecas y anillos.

Análisis típico %	C	Mn	Cr	W	V
	0,95	1,1	0,45	0,45	0,1
Normas equivalentes	UNE F - 5220, AISI 01 W.Nr. 1.2510				
Estado de suministros	Recocido blando aprox. 190 HB				
Código de color	Amarillo				

**Aplicación**

Herramientas para	Espesor del material	HRC
<b>Corte</b> Cizallado, punzonado, troquelado, desbarbado, tronzado	hasta 3 mm 3 - 6 mm 6 - 10 mm	60 - 62 56 - 60 54 - 56
Cizallas cortas para trabajar en frío		54 - 60
Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja	Caliente Frío	58 - 60 56 - 58
<b>Conformado</b> Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estirado.		56 - 62 56 - 60
Troqueles de acuñar en frío pequeños.		
<b>Punto de torno</b> Manguitos guía, expulsores, brocas y machos de roscar de tamaño pequeño y mediano. Levas, boquillas, pistones y ruedas dentadas pequeñas		58 - 62

**Propiedades**

**Características físicas**

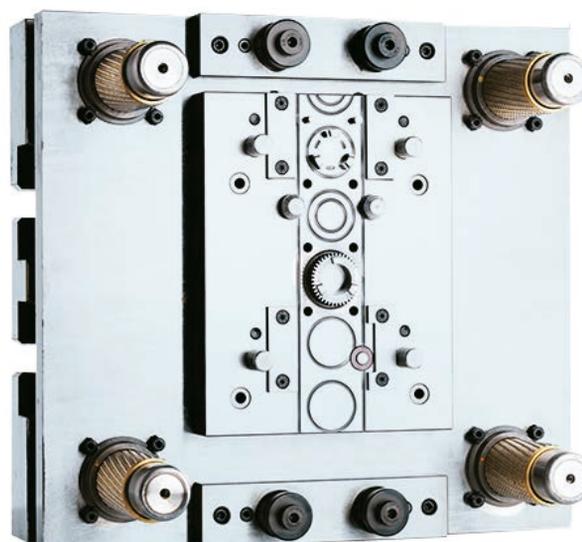
Templado y revenido a 62 HRC.  
Características a la temperatura ambiental y temperaturas elevadas.

Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C
Densidad kg/m <sup>3</sup>	7800	7 750	7 750
Módulo de elasticidad N/mm <sup>2</sup> kp/mm <sup>2</sup>	190 000 19 500	185 000 19 000	170 000 17 500
Coefficiente de dilatación térmica por °C a partir de 20 °C	---	11,7 x 10 <sup>-6</sup>	11,4 x 10 <sup>-6</sup>
Conductibilidad térmica W/m °C	32	33	34
Calor específico J/Kg °C	460	---	---

**Resistencia a la compresión**

Valores aproximados

Dureza HRC	Resistencia a la compresión	
	Rm N/mm <sup>2</sup>	Rc0,2 N/mm <sup>2</sup>
62	3000	2200
60	2700	2150
55	2200	1800
50	1700	1350



► Cód. IBCA: DF2 ≅ AISI 01 ≅ W.Nr. 1.2510 ≅ UDDEHOLM ARNE



**Tratamiento térmico**

**Recocido blando**

Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 780 °C. Luego enfriarlo en el horno 15 °C por hora hasta 650 °C y por último libremente en el aire.

**Eliminación de tensiones - Estabilidad**

Después del desbatado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 652 °C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500 °C y después libremente al aire.

**Temple**

Temperatura de precalentamiento: 600 - 700 °C.  
Temperatura de austenización: 790 - 850 °C.

Temperatura °C	Tiempo de mantenimiento minutos *	Dureza antes del revenido HRC
800	30	Apróx. 65
825	20	Apróx. 65
850	15	Apróx. 63

\* **Tiempo de mantenimiento** = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.

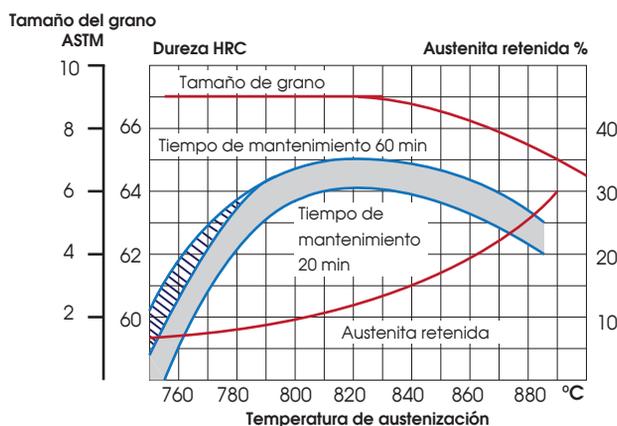
Proteger la herramienta contra decarburación y oxidación durante el proceso de temple.

**Agentes de enfriamiento**

- Aceite
- Temple escalonado martensítico a 180 - 225 °C, después, enfriar al aire.

**Nota:** Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50 - 70 °C.

Dureza, tamaño del grano y austenita retenida, en función de la temperatura de austenización.



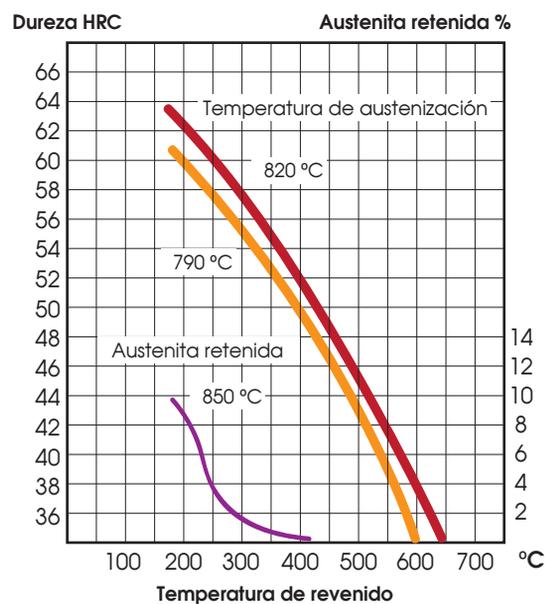
**Revenido**

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido.

Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental.

Miníma temperatura de revenido 180 °C.

Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.



**Temple escalonado martensítico**

Las herramientas se sumergen en el baño de temple a la temperatura de austenización durante el tiempo indicado, enfriándose luego en aire hasta una temperatura no inferior a 100 °C.

Revenir inmediatamente al igual que al templar en aceite.

Temperatura de austenización °C	Temperatura del baño de temple °C	Temperatura del baño de temple min	Dureza superficial antes del revenido *
825	225	Máx. 5	64 ± 2 HRC
825	200	Máx. 10	63 ± 2 HRC
825	180	Máx. 20	62 ± 2 HRC
850	225	Máx. 10	62 ± 2 HRC

\* Obtenida mediante temple escalonado martensítico.

► Cód. IBCA: DF2 ≅ AISI 01 ≅ W.Nr. 1.2510 ≅ UDDEHOLM ARNE

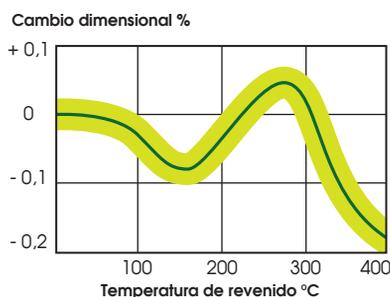


**Tratamiento térmico**

**Cambios dimensionales durante el temple**

Plancha de muestra, 100 x 100 x 25 mm

		Ancho %	Longitud %	Espesor %
Temple en aceite desde 830 °C	mín	+ 0,03	+ 0,04	--
	máx	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,02
Temple escalonado Martensítico desde 830 °C	mín	+ 0,04	+ 0,06	--
	máx	+ 0,12	+ 0,12	+0,02



**Nota:** Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,25%

**Tratamiento sub-cero y envejecimiento**

Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero y/o envejecimiento artificial, para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen.

Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.

**Tratamiento sub-cero**

Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre - 70 y - 80 °C durante un tiempo de 3 a 4 horas, seguido de revenido o envejecimiento.

El tratamiento sub-cero confiere un aumento de dureza de 1 - 3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.

**Envejecimiento**

El revenido después del temple se sustituirá por envejecimiento a 110 - 140 °C durante 25 - 100 horas

**Mecanizado por electroerosión**

Si la electroerosión se efectúa en material templado y revenido, deberá darse a la herramienta un revenido adicional a aprox. 25 °C por debajo de la temperatura de revenido anterior

**Medidas en stock**

**Redondo**

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
12,7	1,0	81	41,3
16	1,6	85	45,5
20	2,5	90	51,0
20,5	2,6	91	52,2
20,8	2,7	101	64,3
22	3,0	102	65,5
25,4	4,1	111	77,6
26	4,3	115	83,3
28	4,9	121	92,2
30	5,7	127	101,6
32	6,5	131	108,1
35	7,7	150	141,8
38	9,1	151,5	144,6
41	10,6	152	145,6
45	12,8	153	147,5
50,8	16,3	160	161,3
51	16,4	170	182,1
60	22,7	180	204,1
61	23,4	182	208,7
63,5	25,4	202	257,1
66	27,4	203	259,6
70	30,9	225	318,9
71	31,8	250	393,8
80	40,3	280	493,9

**Platinas**

Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)
6 x 38	1,8	18 x 210	30,2	41 x 82	26,9
6 x 45	2,2	18 x 38	5,5	50,8 x 102	41,5
6 x 57	2,7	18 x 57	8,2	54 x 82	35,4
8 x 108	6,9	18 x 69	9,9		
8 x 38	2,4	18 x 82	11,8		
8 x 45	2,9	18 x 86	12,4		
8 x 57	3,6	22 x 108	19,0		
10 x 108	8,6	22 x 133	23,4		
10 x 30	2,4	22 x 158	27,8		
10 x 38	3,0	22 x 210	37,0		
10 x 45	3,6	22 x 45	7,9		
10 x 57	4,6	22 x 86	15,1		
10 x 69	5,5	25,4 x 102	20,7		
10 x 86	6,9	25,4 x 127	25,8		
12 x 108	10,4	25,4 x 635	129,0		
12 x 38	3,6	28 x 108	24,2		
12 x 57	5,5	28 x 158	35,4		
15 x 108	13,0	28 x 166	37,2		
15 x 158	19,0	28 x 45	10,1		
15 x 166	19,9	28 x 69	15,5		
15 x 210	25,2	35 x 108	30,2		
15 x 38	4,6	35 x 158	44,2		
15 x 45	5,4	35 x 260	72,8		
15 x 69	8,3	35 x 57	16,0		
15 x 86	10,3	35 x 82	23,0		
18 x 108	15,6	41 x 133	43,6		
18 x 166	23,9	41 x 158	51,8		

**Acero Plata DF2**

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
4	0,1
5	0,2
6	0,2
7	0,3
8	0,4
9	0,5
10	0,6
11	0,8
12	0,9
13	1,1
14	1,2
16	1,6
18	2,0
20	2,5
22	3,0
25	3,9

\* Medidas y pesos son teóricos  
IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

## ► Bronce al aluminio AB2

## Información general

Bronce al aluminio de excelente resistencia mecánica, para cargas y presiones altas, con bajas velocidades y sistemas de lubricación forzados. De excelente resistencia a la corrosión.

Análisis típico %	Cu	Fe	Al	Ni	Mn
Bronce al aluminio AB2	76 - 83 %	4 - 5.5 %	8.5 - 10.5 %	4 - 6 %	3 %

## Aplicaciones

Coronas y piñonería. Piezas de aplicación marina, pieza estructurales, bujes y descansos de equipo pesado. Aplicación en maquinaria herramientas, prensas, cajas reductora, etc.

Puede soportar el trabajo con aceros de alta dureza, pero con lubricación forzada.

**Dureza de suministro:** Mínimo 150 HB.

## Medidas en stock

## Redondo

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
22	3,7	1	4,9
27	5,5	1.3/8	9,2
32	7,7	1.1/2	11,0
37	10,3	2	19,5
42	13,3	3	43,8
47	16,7	4	77,9
52	20,4	5	121,8
67	33,9	5.1/2	147,3
77	44,8	6	175,3
87	57,1	8	311,7
102	78,5		
132	131,5		
142	152,2		
143	154,4		
157	186,1		
203	311,1		

## Barra Perforada

Diámetro (pulg) Exterior x Interior	Peso (kg/m)	Diámetro (mm) Exterior x Interior	Peso (kg/m)
3 x 1.1/2	32,9	52 x 18	18,0
3.1/2 x 1.1/2	48,7	72 x 28	33,2
3.1/2 x 1.1/4	52,1	72 x 48	21,7
3.1/2 x 1	54,8	77 x 28	38,8
4 x 2	58,4	82 x 28	44,8
4 x 3	34,1	82 x 38	39,9
4.1/2 x 2.1/2	68,2	92 x 48	46,5
4.1/2 x 2	79,1	102 x 48	61,1
5 x 2	102,3	102 x 68	43,6
5 x 3	77,9	112 x 58	69,3
6 x 3	131,5	122 x 48	95,0
6 x 4	97,4	122 x 58	87,0
7 x 4	160,7	122 x 73	72,1
		122 x 78	66,4
		132 x 68	96,6
		132 x 78	85,6
		142 x 78	106,3
		142 x 93	86,9
		152 x 98	101,9
		163 x 87	143,4
		173 x 77	181,2
		183 x 117	149,5
		203 x 97	240,1
		253 x 167	272,7

## Platinas

Espesor x ancho (mm)	Peso (kg/m)
22 x 312	61,1
27 x 312	75,0
32 x 312	88,9

\* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

# Planchas

- Laminada en caliente
- Laminada en frío



## Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:  
Negro  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 115, ASTM A 6  
Norma de Calidad:  
ASTM A 570 Gr 36 / ASTM A 36 / ASTM A 283 Gr C /  
ASTM A 588 Gr A / ASTM A 131 Gr A / ASTM A 516  
Gr 70  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

### › Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

## Plancha laminada en frío

Recubrimiento:  
Negro  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 115  
Norma de Calidad:  
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /  
SAE 1010  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,75	17,52	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

### › Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

# CATALOGO DE PRODUCTOS SIDERURGICOS

## PERFILES ESTRUCTURALES DE ACERO, VIGAS, ANGULO

**PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

### Composición Química.

CALIDAD	% C (MAX)	% Mn (MAX)	% P (MAX)	% S (MAX)
1- AE-25	0.2	0.8	0.05	0.05
2- AE-35	0.3	0.9	0.05	0.05
3- ASTM A 36	0.25	----	0.04	0.05
4- ASTM A 572, GRADO 50	0.23	1.35	0.04	0.05
5- ST 37 - 2	0.2	----	0.06	0.05
6- ST 50 - 3	0.2	----	0.05	0.05

### Propiedades Mecánicas

CALIDAD	Pto. de Cedente Fy Kg/cm2. (min)	Esfuerzo max.	Alargamiento
		F min Kg/cm2.	% 50 mm.
1- AE-25	2500	3700	25
2- AE-35	3500	5500	22
3- ASTM A 36	2500	4100/5600	20
4- ASTM A 572. GRADO 50	3500	4500	21
5- ST 37 - 2	2400	3700/4500	25
6- ST 50 - 3	3600	5200/6200	22

# Planchas

- Galvanizada
- Inoxidable



## Plancha galvanizada

Recubrimiento:  
Galvanizado G60 o Galvalum  
Calidad de Acero:  
ASTM A 653 CS  
Norma de Fabricación:  
NTE INEN 115  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Uso
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

### › Aplicaciones

- Ductos para aire acondicionado.
- Puertas metálicas.
- Perfilera de tumbado.
- Cámaras frigoríficas.
- Partes y piezas para línea blanca.



## Plancha inoxidable

Recubrimiento:  
Negro  
Norma de Calidad:  
430 2B/BA - 439 N4 - 304 2B/BA  
Observaciones:  
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Norma
mm	mm	mm	kg.	
1000	2440	0,40	9,35	AISI 430 BA
1000	2440	0,60	14,02	AISI 430 BA
1000	2440	0,70	16,36	AISI 430 BA
1000	2440	1,00	23,37	AISI 430 BA
1220	2440	0,60	14,02	AISI 304 2B
1220	2440	1,20	28,04	AISI 304 2B
1220	2440	1,50	35,05	AISI 304 2B



### › Aplicaciones

- **En el hogar:** fregaderos, sartenes y ollas, hornos y parrillas, equipamiento de jardín y mobiliario, cubertería y menaje.
- **Urbanístico:** cabinas telefónicas, fachadas de edificios, ascensores y escaleras, vagones de metro e infraestructuras de las estaciones, paradas de autobús.
- **En la industria:** depósitos de combustible y productos químicos, depósitos de combustible y productos químicos, equipamiento para la fabricación de productos alimentarios y farmacéuticos, plantas para el tratamiento de aguas potables y residuales, plantas químicas y electroquímicas, componentes automotriz y aeronáuticos.

## **APÉNDICE 4**

➤ **CATÁLOGO MOTOR WEG EPG-133**

➤ **FICHA TÉCNICA DE LAS  
RESISTENCIAS**

**Permanenterregte Gleichstrommotoren  
mit Einfach-Schneckengetriebe**

**D. C. Permanent Magnet Motors  
with Single Reduction Worm Gear Unit**

**EPG  
Typ 13  
13 Nm**

i		5:1	7:1	10:1	12:1	15:1	18:1	24:1	30:1	38:1	56:1
$n_1 = 3000 \text{ min}^{-1}$											
P	[W]	220	220	170	170	170	120	120	120	120	120
$n_2$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	600	429	300	250	200	167	125	100	79	54
$M_2$	[Nm]	2,7	3,7	3,9	4,5	5,4	4,3	5,5	6,4	7,5	7,5
$n_1 = 2000 \text{ min}^{-1}$											
P	[W]	170	170	170	120	120	120	80	80	80	80
$n_2$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	400	286	200	167	133	111	83	67	53	36
$M_2$	[Nm]	3,2	4,3	5,8	4,8	5,7	6,4	5,5	6,4	7,5	7,5

Die Motorleistungen sind empfohlene Werte für Dauerbetrieb, siehe Seite 12.

The motor outputs are recommended values for continuous operation, see page 12.

**Motordrehzahl / Speed 3000 min<sup>-1</sup>**

Typ Type	P (FF 1,1) [W]	I (180 V) [A]	I <sub>max.</sub> (180 V) [A]
EPG 123	120	0,90	6,0
EPG 133	170	1,20	8,0
EPG 213	220	1,70	9,0

Angaben für 24 V siehe Seite 22/23.

**Standardausführung:**

mit Anschlusslitzen 350 mm lang.

**Sonderausführungen:**

mit Klemmkasten, Bremse, Digital-Tachogebler, Analog-Tachogebler.

**Motordrehzahl / Speed 2000 min<sup>-1</sup>**

Typ Type	P (FF 1,1) [W]	I (180 V) [A]	I <sub>max.</sub> (180 V) [A]
EPG 122	80	0,65	4,5
EPG 132	120	0,90	6,0
EPG 212	170	1,40	7,5

For data for 24 V refer to page 22/23.

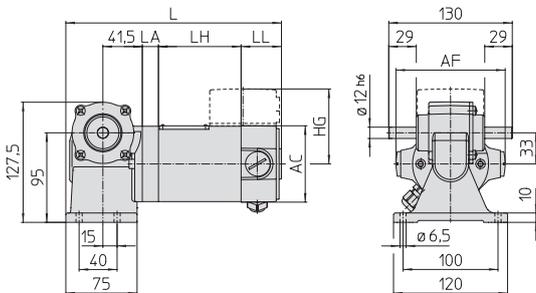
**Standard version:**

with flying leads 350 mm long.

**Options:**

with terminal box, brake, digital-tacho, analogue-tacho.

**Getriebe Typ GS 130 Fußausführung / Gear unit type GS 130 Foot mounting**



▲ GS 130

Baugröße Frame size	AC	AF	HG	L	LA	LH	LL
EPG 12	81	115	79,5	227	17	87	42,5
EPG 13	81	115	79,5	247	17	107	42,5
EPG 21	92	105	86	246,5	19	95	52

**Sonderausführungen:**

Abtriebswelle einseitig links oder rechts

Abtriebswelle mit Passfeder 4 x 4 x 20

**Options:**

Single sided output shaft left or right

Shaft with key 4 x 4 x 20

**Erläuterung:**

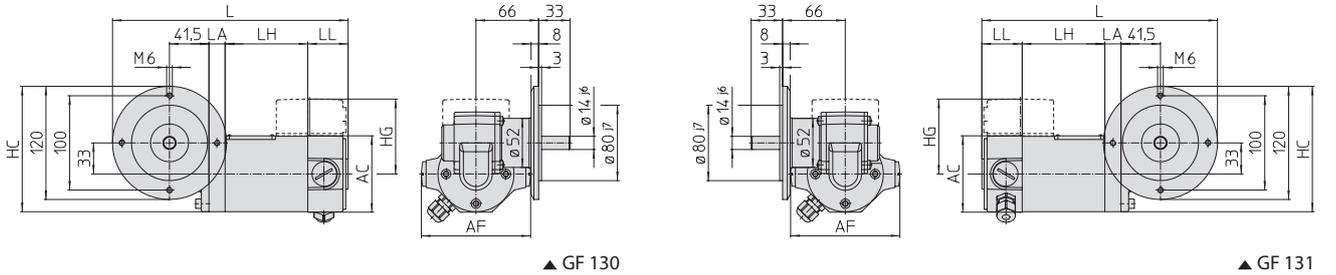
P = Leistung,  $n_1$  = Drehzahl Motor,  $n_2$  = Drehzahl Getriebe,  $M_2$  = Drehmoment Getriebe, i = Übersetzung, I = Ankerstrom, I<sub>max</sub> = max. zul. Ankerstrom, FF = Formfaktor

**Explanation:**

P = Power,  $n_1$  = Speed motor,  $n_2$  = Speed gear,  $M_2$  = Torque gear, i = Ratio, I = Rated Current, I<sub>max</sub> = max. Current, FF = Form Factor

EPG	<b>Permanentterregte Gleichstrommotoren</b>	<b>D. C. Permanent Magnet Motors</b>
Typ 13 13 Nm	<b>mit Einfach-Schneckengetriebe</b>	<b>with Single Reduction Worm Gear Unit</b>

**Getriebe Typ GF 130, GF 131 Flanschsausführung / Gear unit type GF 130, GF 131 Flange mounting**

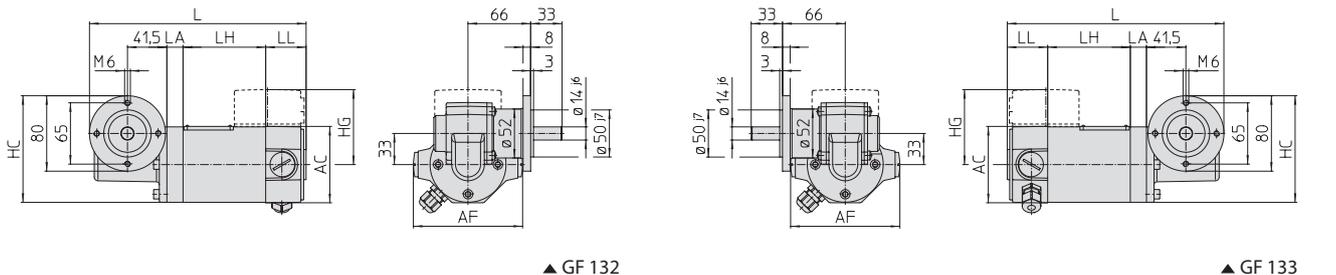


Baugröße Frame size	AC	AF	HC	HG	L	LA	LH	LL
EPG 12	81	115	133	79,5	248	17	87	42,5
EPG 13	81	115	133	79,5	268	17	107	42,5
EPG 21	92	105	138	86	267,5	19	95	52

**Sonderausführung:**  
Abtriebswelle mit Passfeder 5 x 5 x 20

**Option:**  
Shaft with key 5 x 5 x 20

**Getriebe Typ GF 132, GF 133 Flanschsausführung / Gear unit type GF 132, GF 133 Flange mounting**



Baugröße Frame size	AC	AF	HC	HG	L	LA	LH	LL
EPG 12	81	115	113	79,5	228	17	87	42,5
EPG 13	81	115	113	79,5	248	17	107	42,5
EPG 21	92	105	118	86	247,5	19	95	52

**Sonderausführung:**  
Abtriebswelle mit Passfeder 5 x 5 x 20

**Option:**  
Shaft with key 5 x 5 x 20

**Permanenterregte Gleichstrommotoren  
mit Hohlwellen-Schneckengetriebe**

**D. C. Permanent Magnet Motors  
with Hollow Shaft Worm Gear Unit**

**EPG  
Typ 13  
13 Nm**

i	5:1	7:1	10:1	12:1	15:1	18:1	24:1	30:1	38:1	56:1
n <sub>1</sub> = 3000 min <sup>-1</sup>										
P [W]	220	220	170	170	170	120	120	120	120	120
n <sub>2</sub> [min <sup>-1</sup> ]	600	429	300	250	200	167	125	100	79	54
M <sub>2</sub> [Nm]	2,7	3,7	3,9	4,5	5,4	4,3	5,5	6,4	7,5	7,5
n <sub>1</sub> = 2000 min <sup>-1</sup>										
P [W]	170	170	170	120	120	120	80	80	80	80
n <sub>2</sub> [min <sup>-1</sup> ]	400	286	200	167	133	111	83	67	53	36
M <sub>2</sub> [Nm]	3,2	4,3	5,8	4,8	5,7	6,4	5,5	6,4	7,5	7,5

Die Motorleistungen sind empfohlene Werte für Dauerbetrieb, siehe Seite 12.

The motor outputs are recommended values for continuous operation, see page 12.

**Motordrehzahl / Speed 3000 min<sup>-1</sup>**

Typ Type	P (FF 1,1) [W]	I (180 V) [A]	I <sub>max.</sub> (180 V) [A]
EPG 123	120	0,90	6,0
EPG 133	170	1,20	8,0
EPG 213	220	1,70	9,0

Angaben für 24 V siehe Seite 22/23.

**Standardausführung:**

mit Anschlusslitzen 350 mm lang.

**Sonderausführungen:**

mit Klemmkasten, Bremse, Digital-Tachogebber, Analog-Tachogebber.

**Motordrehzahl / Speed 2000 min<sup>-1</sup>**

Typ Type	P (FF 1,1) [W]	I (180 V) [A]	I <sub>max.</sub> (180 V) [A]
EPG 122	80	0,65	4,5
EPG 132	120	0,90	6,0
EPG 212	170	1,40	7,5

For data for 24 V refer to page 22/23.

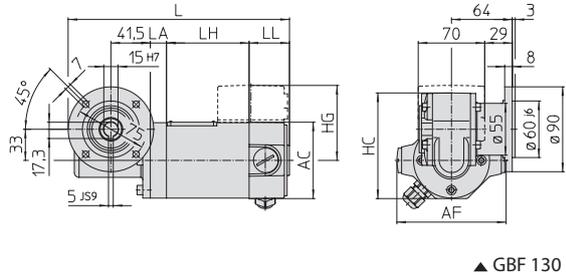
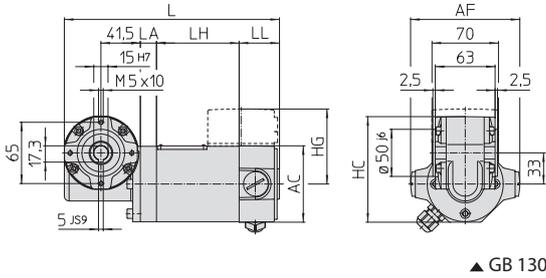
**Standard version:**

with flying leads 350 mm long.

**Options:**

with terminal box, brake, digital-tacho, analogue-tacho.

**Getriebe Typ GB 130, GBF 130 / Gear unit type GB 130, GBF 130**



Baugröße Frame size	GB 130								GBF 130							
	AC	AF	HC	HG	L	LA	LH	LL	AC	AF	HC	HG	L	LA	LH	LL
EPG 12	81	115	112	79,5	226,5	17	87	42,5	81	115	112	79,5	233	17	87	42,5
EPG 13	81	115	112	79,5	246,5	17	107	42,5	81	115	112	79,5	253	17	107	42,5
EPG 21	92	105	117,5	86	246	19	95	52	92	105	117,5	86	252,5	19	95	52

**Sonderausführung:**

Flanschanordnung links (GBF 130)

**Option:**

Flange on other side (GBF 130)

**Erläuterung:**

P = Leistung, n<sub>1</sub> = Drehzahl Motor, n<sub>2</sub> = Drehzahl Getriebe, M<sub>2</sub> = Drehmoment Getriebe, i = Übersetzung, I = Ankerstrom, I<sub>max</sub> = max. zul. Ankerstrom, FF = Formfaktor

**Explanation:**

P = Power, n<sub>1</sub> = Speed motor, n<sub>2</sub> = Speed gear, M<sub>2</sub> = Torque gear, i = Ratio, I = Rated Current, I<sub>max</sub> = max. Current, FF = Form Factor

ELECTRO-COMERCIAL

**KGU**

Guayaquil, 09 de Enero del 2018

Sr.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

## FICHA TÉCNICA

RESISTENCIA	EXTERIOR	INTERIOR	VOLTIOS	WATIOS	TEMPERATURA MAXIMA
BANDA DE MICA (TIPO BOQUILLA)	Lamina de acero inoxidable	Mica con aislante, bobina cromo níquel, conexión cable alt temp, protección con espaguete de alt temp, soporte para conectar termocupa.	110	250	200° C

Freddy Vargas Arcentales

Gerente General

Electro-Comercial KGV

# APÉNDICE 5

## CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN (ARDUINO UNO)

- **CÓDIGO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA RESISTENCIAS EN SERIE**
- **CÓDIGO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA RESISTENCIA ÚNICA**

## CÓDIGO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA RESISTENCIAS EN SERIE

```
#include <PID_v1.h>
#include <max6675.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>

int thermoDO = 11;
int thermoCS = 12;
int thermoCLK = 13;

#define ThermistorPIN 1 // Analog Pin 1
#define NUM_KEYS 5
#define pinData 11 // Pin donde se conectará el pin de datos.

#define SSR 3
#define motor 2
#define ventilador A3

#define led A1
#define tiempoCiclo 1000

//Inicialización de termopar tipo K
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = A4;
int gndPin = A5;
```

```

/*
  Circuito del display LCD:
  * LCD RS pin to digital pin 8
  * LCD Enable pin to digital pin 9
  * LCD D4 pin to digital pin 4
  * LCD D5 pin to digital pin 5
  * LCD D6 pin to digital pin 6
  * LCD D7 pin to digital pin 7
  * LCD BL pin to digital pin 10
  * KEY pin to analog pin 0
  *
  * Esquema del sensor de temperatura:
  * [Ground] -- [10k-pad-resistor] -- | -- [10k thermistor] --[Vcc (5v)]
  *
  *                               |
  *                               Analog Pin 1
  */

```

```

LiquidCrystal lcd(8, 13, 9, 4, 5, 6, 7);

```

```

uint8_t degree[8] = {140,146,146,140,128,128,128,128};

```

```

//const int numeroDeMenus=6;

```

```

const int numeroDeMenus=7;

```

```

char tituloMenu[numeroDeMenus][16] = {
  "Fijar Setpoint: ",
  "Motor On/Off:  ",
  "Ventilador:  ",
  "Kp:          ",
  "Kd:          ",
  "Ki:          ",
  "Intensidad:  " };

```

```

int adc_key_val[5] ={
  50, 200, 400, 600, 800 };

```

```

int adc_key_in;
int key=-1;
int oldkey=-1;
int motor_on=0;
int motor_off=0;
byte centinela = 0;
int ventilador_on=0;
int ventilador_off=0;
byte centinela2 = 0;
boolean luzEncendida=true;
boolean cursorActivo=false;
boolean enMenu=false;
unsigned long time;
//unsigned long tiempoPID;
//byte numeroLecturas=0;
int x=0;
int signo=0;
//char temp[10];
//char motor_lcd[16];
//int lecturas[100];
//byte numeroLectura=0;
//int lectura=0;
int maximo, minimo, diferencia, t1, t2, t3;
double kp=100, ki=0.3, kd=40; // Especifica parametros
iniciales
double Setpoint, Input, Output; // Define Variables
float temperatura=0;

unsigned long respuestaUltimaTemperatura = 0;
unsigned long lastPIDCalculation = 0;
float prevTemperature = -9999.0;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, kp, ki, kd, DIRECT);

```

```

//OneWire ourWire(pinData); // Pin como bus para
la comunicación OneWire
//DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se instancia la librería
DallasTemperature
/*byte consigna=25;
byte kp=1;
byte kd=1;
byte ki=1;
*/
byte tiempo=1;
byte intensidad=10;

void setup()
{
  cargarConfig();
  pinMode(10, OUTPUT);
  analogWrite(10,intensidad*25);
  Serial.begin(9600);
  /*lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("www.ajpdsoft.com");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("C.Ventanas v1.0 ");
  delay(2000);
  // lcd.setCursor(0,0);
  // lcd.print("Muevase con las ");
  // lcd.setCursor(0,1);
  // lcd.print("teclas direccion");
  // delay(4000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Temperatura: ");
  lcd.setCursor(0,1);

```

```

//int lectura=getTemp(1);
// sprintf(temp, "%3d%c%1d%cC", lectura/100, '.', lectura/10%10,223);
lcd.print(temp);
time = millis();
tiempoPID = millis();*/
time = millis();
// use Arduino pins
pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

lcd.begin(16, 2);
lcd.createChar(0, degree);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(" Control de"); //Presentación del proyecto en LCD
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temperatura PID");
Serial.println("Control de temperatura");
// Espera a que módulo ADC se estabilice
delay(1000);
//Setpoint=30; // initialize the variables we're
linked to
//temp_motor=40;
myPID.SetOutputLimits(0, tiempoCiclo);
myPID.SetSampleTime(tiempoCiclo);
myPID.SetMode(AUTOMATIC);

Serial.begin(115200); // Arranca comunicacion serie
pinMode(SSR, OUTPUT);
digitalWrite(SSR, LOW);
pinMode(led, OUTPUT);
digitalWrite(led, LOW);
pinMode(motor, OUTPUT);
digitalWrite(motor, LOW);
}

```

```

void loop()
{
  if (millis() - respuestaUltimaTemperatura >= tiempoCiclo) {

    /*lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TActual SetPoint");
    String c = String(thermocouple.readCelsius());
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C ");
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print(" C");
    temperatura = c.toFloat();
    Input = (double)temperatura;*/

    myPID.Compute();
    lastPIDCalculation = millis();
    Serial.print(temperatura);
    Serial.print(" , ");
    Serial.println(Output/50);
    respuestaUltimaTemperatura = millis();
  }
  control();
  //tiempo=centinela;
  //int lectura = getTemp(ThermistorPIN);
  //lecturas[numeroLectura++] = lectura;
  /*if (millis()-time > 20000) { // Si han pasado mas de 20 segundos apagamos
la luz
    digitalWrite(10, LOW);
    luzEncendida=false;
  }*/

```

```
if (millis()-time > 7000) { // Si han pasado mas de 7 segundos salimos del
menu
```

```
    if (enMenu) guardarConfig();
    enMenu = false;
    x=0;
    time = millis();
    // }
    // if (!enMenu) {
    /*lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Temperatura:  ");
    lcd.setCursor(0,1);
    //sprintf(temp, "%3d%c%1d%cC", lectura/100, '.', lectura/10%10,223);
    lcd.print(temp);*/
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TActual SetPoint");
    String c = String(thermocouple.readCelsius());
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C ");
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print(" C");
    temperatura = c.toFloat();
    Input = (double)temperatura;
    // Serial.print("Temperatura[");
    // Serial.print(numeroLectura);
    // Serial.print("]: ");
    // Serial.println(temp);
    }
```

```
if (millis()-time > 5000) { // Si han pasado mas de 5 segundos apagamos el
cursor
```

```
    lcd.noBlink();
    cursorActivo=false;
```

```

}

adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado

if (key != oldkey) // if keypress is detected
{
    delay(50); // Espera para evitar los rebotes de las pulsaciones
    adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
    key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado
    if (key != oldkey)
    {
        time = millis(); // TODO: falta la comprobacion de si se ha desbordado el
tiempo
        if (!luzEncendida) { // Al pulsar cualquier tecla encendemos la pantalla
            analogWrite(10,intensidad*25);
            luzEncendida=true;
        }
        else { // si la pantalla esta encendida seguimos funcionando normalmente
            oldkey = key;
            char accion = 0;
            if (key >=0){ // Si se ha pulsado cualquier tecla
                lcd.blink(); // Mostramos el cursor parpadeando
                cursorActivo=true;
            }
            if ((key == 0) && (enMenu)){ // Se ha pulsado la tecla derecha
                x++;
                if (x>numeroDeMenus-1) x=numeroDeMenus-1;
            }
            if ((key == 1) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla arriba
                accion++;
            }
            if ((key == 2) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla abajo
                accion = accion-1;
            }
        }
    }
}

```

```

}
if ((key == 3) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla izquierda
    x--;
    if (x<0) x = 0;
}
if (key == 4){ // Se ha pulsado la tecla de seleccion
}
enMenu = true;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tituloMenu[x]);
lcd.setCursor(0,1);
switch (x) {
case 0: // Estamos en fijar temperatura
    Setpoint += accion;
    //consigna += accion;
    //lcd.print(consigna);
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    break;
case 1: // Estamos en fijar motor on/off
    centinela=tiempo;
    tiempo += accion;
    if(tiempo==centinela+1){
        // Power on motor:
        digitalWrite(motor, HIGH);
        motor_on=1;
        motor_off=0;

    }
    if(tiempo==centinela-1){
        // Power off motor:
        digitalWrite(motor, LOW);

```

```

motor_on=0;
motor_off=1;
}
if(motor_on){
lcd.print("Motor ENCENDIDO");
}
if(motor_off){
lcd.print("Motor APAGADO");
}
//lcd.print("0 seg.");
break;
case 2: // // Estamos en fijar ventilador on/off
centinela2=tiempo;
tiempo += accion;
if(tiempo==centinela2+1){
// Power on motor:
digitalWrite(ventilador, HIGH);
ventilador_on=1;
ventilador_off=0;
}
if(tiempo==centinela2-1){
// Power off motor:
digitalWrite(ventilador, LOW);
ventilador_on=0;
ventilador_off=1;
}
if(ventilador_on){
lcd.print("Ventilador ON");
}
if(ventilador_off){
lcd.print("Ventilador OFF");
}
break;
case 3: // Estamos en Kp.

```

```

    kp += accion;
    lcd.print(kp);
    break;
case 4: // Estamos en Kd.
    kd += accion;
    lcd.print(kd);
    break;
case 5: // Estamos en Ki.
    ki += accion;
    lcd.print(ki/10);
    break;
case 6: // Estamos en Ki.
    intensidad += accion;
    if (intensidad > 254) intensidad = 0;
    if (intensidad > 10) intensidad = 10;
    lcd.print(intensidad);
    lcd.print("0%");
    analogWrite(10,intensidad*25);
    break;
}
}
}
}
/*if ((numeroLectura > 99) && (numeroLecturas < 2)) {
    long suma = 0;
    maximo = -10000;
    minimo = 10000;
    for (int i=0; i < 100; i++){
        suma = suma + lecturas[i];
        if (lecturas[i] > maximo) {
            maximo = lecturas[i];
        }
        if (lecturas[i] < minimo) {
            minimo = lecturas[i];

```

```

    }

    // Serial.print("Temperatura[");
    // Serial.print(i);
    // Serial.print("]: ");
    // Serial.println(lecturas[i]);
}
diferencia = maximo - minimo;
suma = suma / 100;
// Si la diferencia es superior a un grado
//es que ha habido un error en la lectura
if (diferencia > 100) {
    Serial.println("Lectura no valida");
    // TODO: Descartar lectura y repetir la medida
}
else {
    numeroLecturas++;
    t3=t2;
    t2=t1;
    t1=suma;
}
Serial.print("Suma: ");
Serial.println(suma);*/
/* Serial.print("Media: ");
Serial.print(suma/100);
Serial.print(",");
Serial.println(suma/10%10);
Serial.print("Maximo: ");
Serial.print(maximo/100);
Serial.print(",");
Serial.print(maximo/10%10);
Serial.print(" - Minimo: ");
Serial.print(minimo/100);
Serial.print(",");

```

```

Serial.print(minimo/10%10);
Serial.print(" - Diferencia: ");
Serial.print(diferencia/100);
Serial.print(",");
Serial.println(diferencia/10%10); */
}
/*if (numeroLectura > 99) {
    // Cuando se termina de tomar las 100
    //lecturas empezamos de nuevo por la primera
    numeroLectura = 0;
}*/
/* PID();
delay(10);
// Si se desborda millis() empieza otra
//vez por cero, ocurre cada 50 dias
if (millis() < time){
    time = millis();
}*/
void control() {

    if ((millis() <= (lastPIDCalculation + Output)) || (Output == tiempoCiclo)) {
        // Power on:
        digitalWrite(SSR, HIGH);
        digitalWrite(led, HIGH);
    } else {
        // Power off:
        digitalWrite(SSR, LOW);
        digitalWrite(led, LOW);
    }
}
}

```

```

/*void PID(){
    // Si se desborda millis() empieza otra
    // vez por cero, ocurre cada 50 dias
    if (millis() < tiempoPID){
        tiempoPID = millis();
    }
    // Si no ha pasado todavía el tiempo de ciclo del PID
    if (millis() < tiempoPID + (tiempo*10*1000)){
        // entonces mantenemos la fuerza y esperamos mas tiempo
        // s = sActualPID;
    }
    else if (numeroLecturas >= 2){
        numeroLecturas--;
        Serial.print("Distancia a la consigna: ");
        //Serial.print(t1-consigna*100);
        Serial.print(t1-Setpoint*100);
        Serial.print(" - Velocidad: ");
        Serial.println(t1-t2);
        tiempoPID = millis();
    }
}*/

```

```

// Convertimos el valor leído en analogico
// en un numero de boton pulsado
int get_key(unsigned int input)
{
    int k;

    for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
    {
        if (input < adc_key_val[k])
        {
            return k;
        }
    }
}

```

```

    }
}

if (k >= NUM_KEYS)k = -1; // Error en la lectura.
return k;
}

/*int temperaturaFicticia = 2450;
int ptf= 0;
int getTemp(byte input)
{
    int celsius = Thermistor(analogRead(input))*100;
    return celsius;
    temperaturaFicticia += (random(7)-3-ptf);
    if (temperaturaFicticia > 2800) ptf = 1;
    if (temperaturaFicticia < 2000) ptf = 0;
    return temperaturaFicticia;
}*/

//float pad = 10000; // balance/pad resistor value, set this to
// the measured resistance of your pad resistor
// float thermr = 10000; // thermistor nominal resistance

/*float Thermistor(int RawADC) {
    long Resistance;
    float Temp; // Dual-Purpose variable to save space.

    Resistance=((1024 * pad / RawADC) - pad);
    // Saving the Log(resistance) so not to calculate it 4 times later
    Temp = log(Resistance);
    Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 * Temp) +
        (0.0000000876741 * Temp * Temp * Temp));
    Temp = Temp - 273.15; // Convert Kelvin to Celsius
}*/

```

```

    return Temp; // Devolver temperatura
}*/

boolean cargarConfig(){
    if ((EEPROM.read(0) == 27) && (EEPROM.read(1) == 28) &&
        (EEPROM.read(2) == 13) && (EEPROM.read(3) == 18)) {
        // Comprobamos que la eeprom tenga una
        // configuracion valida con numeros concretos
        // solo cargamos el valor de la configuracion si los valores coinciden
        //if (EEPROM.read(4) == EEPROM.read(5)) consigna = EEPROM.read(4);
        if (EEPROM.read(4) == EEPROM.read(5)) Setpoint = EEPROM.read(4);
        if (EEPROM.read(6) == EEPROM.read(7)) tiempo = EEPROM.read(6);
        if (EEPROM.read(8) == EEPROM.read(9)) kp = EEPROM.read(8);
        if (EEPROM.read(10) == EEPROM.read(11)) kd = EEPROM.read(10);
        if (EEPROM.read(12) == EEPROM.read(13)) ki = EEPROM.read(12);
        if (EEPROM.read(14) == EEPROM.read(15)) intensidad =
EEPROM.read(14);
        return true;
    }
    return false;
}

void guardarConfig(){
    EEPROM.write(0,27);
    EEPROM.write(1,28);
    EEPROM.write(2,13);
    EEPROM.write(3,18);
    // Ponemos nmeros concretos en el comienzo
    // de la EEPROM para confirmar que tiene valores correctos.
    EEPROM.write(4,Setpoint);
    EEPROM.write(5,Setpoint); // almacenamos los valores 2 veces
    EEPROM.write(6,tiempo);
    EEPROM.write(7,tiempo); // almacenamos los valores 2 veces
    EEPROM.write(8,kp);

```

```
EEPROM.write(9,kp); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(10,kd);
EEPROM.write(11,kd); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(12,ki);
EEPROM.write(13,ki); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(14,intensidad);
EEPROM.write(15,intensidad); // almacenamos los valores 2 veces
}.
```

## CÓDIGO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA RESISTENCIAS UNICA

```
#include <PID_v1.h>
#include <max6675.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>

int thermoDO = 11;
int thermoCS = 12;
int thermoCLK = 13;

#define ThermistorPIN 1 // Analog Pin 1
#define NUM_KEYS 5
#define pinData 11 // Pin donde se conectará el pin de datos.

#define SSR 3
// #define motor 2
#define ventilador 2
#define led A1
#define tiempoCiclo 1000

//Inicialización de termopar tipo K
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = A4;
int gndPin = A5;
```



```

int adc_key_val[5] ={
    50, 200, 400, 600, 800 };
int adc_key_in;
int key=-1;
int oldkey=-1;
//int motor_on=0;
//int motor_off=0;
//byte centinela = 0;
int ventilador_on=0;
int ventilador_off=0;
byte centinela2 = 0;
boolean luzEncendida=true;
boolean cursorActivo=false;
boolean enMenu=false;
unsigned long time;
//unsigned long tiempoPID;
//byte numeroLecturas=0;
int x=0;
int signo=0;
//char temp[10];
//char motor_lcd[16];
//int lecturas[100];
//byte numeroLectura=0;
//int lectura=0;
int maximo, minimo, diferencia, t1, t2, t3;
double kp=100, ki=0.3, kd=40; // Especifica
parametros iniciales
double Setpoint, Input, Output; // Define Variables
float temperatura=0;

unsigned long respuestaUltimaTemperatura = 0;
unsigned long lastPIDCalculation = 0;
float prevTemperature = -9999.0;

```

```

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, kp, ki, kd, DIRECT);
//OneWire ourWire(pinData); // Pin como bus para
la comunicación OneWire
//DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se instancia
la librería DallasTemperature

/*byte consigna=25;

byte kp=1;
byte kd=1;
byte ki=1;
*/
byte tiempo=1;
byte intensidad=10;

void setup()
{
  cargarConfig();
  pinMode(10, OUTPUT);
  analogWrite(10,intensidad*25);
  Serial.begin(9600);
  /*lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("www.ajpdsoft.com");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("C.Ventanas v1.0 ");
  delay(2000);
  // lcd.setCursor(0,0);
  // lcd.print("Muevase con las ");
  // lcd.setCursor(0,1);
  // lcd.print("teclas direccion");
  // delay(4000);
  lcd.clear();

```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Temperatura:  ");
lcd.setCursor(0,1);
//int lectura=getTemp(1);
// sprintf(temp, "%3d%c%1d%cC", lectura/100, '.', lectura/10%10,223);
lcd.print(temp);
time = millis();
tiempoPID = millis();*/
time = millis();
// use Arduino pins
pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

lcd.begin(16, 2);
lcd.createChar(0, degree);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("  Control de"); //Presentación del proyecto en LCD
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temperatura PID");
Serial.println("Control de temperatura");
// Espera a que módulo ADC se estabilice
delay(1000);
//Setpoint=30; // initialize the variables we're
linked to
//temp_motor=40;
myPID.SetOutputLimits(0, tiempoCiclo);
myPID.SetSampleTime(tiempoCiclo);
myPID.SetMode(AUTOMATIC);

Serial.begin(115200); // Arranca comunicacion
serie
pinMode(SSR, OUTPUT);
digitalWrite(SSR, LOW);
pinMode(led, OUTPUT);

```

```

digitalWrite(led, LOW);
//pinMode(motor, OUTPUT);
//digitalWrite(motor, LOW);
pinMode(ventilador, OUTPUT);
digitalWrite(ventilador, LOW);
}
void loop()
{
  if (millis() - respuestaUltimaTemperatura >= tiempoCiclo) {

    /*lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TActual SetPoint");
    String c = String(thermocouple.readCelsius());
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C ");
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print(" C");
    temperatura = c.toFloat();
    Input = (double)temperatura;*/

    myPID.Compute();
    lastPIDCalculation = millis();
    Serial.print(temperatura);
    Serial.print(" , ");
    Serial.println(Output/50);
    respuestaUltimaTemperatura = millis();
  }
  control();
  //tiempo=centinela;
  //int lectura = getTemp(ThermistorPIN);
  //lecturas[numeroLectura++] = lectura;

```

```

    /*if (millis()-time > 20000) { // Si han pasado mas de 20 segundos
apagamos la luz
    digitalWrite(10, LOW);
    luzEncendida=false;
    }*/
    if (millis()-time > 7000) { // Si han pasado mas de 7 segundos salimos del
menu
    if (enMenu) guardarConfig();
    enMenu = false;
    x=0;
    time = millis();
    // }
    // if (!enMenu) {
    /*lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Temperatura:  ");
    lcd.setCursor(0,1);
    //sprintf(temp, "%3d%c%1d%cC", lectura/100, '.', lectura/10%10,223);
    lcd.print(temp);*/
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TActual SetPoint");
    String c = String(thermocouple.readCelsius());
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C ");
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print(" C");
    temperatura = c.toFloat();
    Input = (double)temperatura;
    // Serial.print("Temperatura[");
    // Serial.print(numeroLectura);
    // Serial.print("]: ");
    // Serial.println(temp);

```

```

    }
    if (millis()-time > 5000) { // Si han pasado mas de 5 segundos apagamos
el cursor
        lcd.noBlink();
        cursorActivo=false;
    }

    adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
    key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado

    if (key != oldkey) // if keypress is detected
    {
        delay(50); // Espera para evitar los rebotes de las pulsaciones
        adc_key_in = analogRead(0); // Leemos el valor de la pulsacion
        key = get_key(adc_key_in); // Obtenemos el boton pulsado
        if (key != oldkey)
        {
            time = millis(); // TODO: falta la comprobacion de si se ha desbordado
el tiempo
            if (!luzEncendida) { // Al pulsar cualquier tecla encendemos la pantalla
                analogWrite(10,intensidad*25);
                luzEncendida=true;
            }
            else { // si la pantalla esta encendida seguimos funcionando
normalmente
                oldkey = key;
                char accion = 0;
                if (key >=0){ // Si se ha pulsado cualquier tecla
                    lcd.blink(); // Mostramos el cursor parpadeando
                    cursorActivo=true;
                }
                if ((key == 0) && (enMenu)){ // Se ha pulsado la tecla derecha
                    x++;
                    if (x>numeroDeMenus-1) x=numeroDeMenus-1;

```

```

}
if ((key == 1) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla arriba
    accion++;
}
if ((key == 2) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla abajo
    accion = accion-1;
}
if ((key == 3) && (enMenu)) { // Se ha pulsado la tecla izquierda
    x--;
    if (x<0) x = 0;
}
if (key == 4){ // Se ha pulsado la tecla de seleccion
}
enMenu = true;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(tituloMenu[x]);
lcd.setCursor(0,1);
switch (x) {
case 0: // Estamos en fijar temperatura
    Setpoint += accion;
    //consigna += accion;
    //lcd.print(consigna);
    lcd.print(Setpoint);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    break;
/*case 1: // Estamos en fijar motor on/off
    centinela=tiempo;
    tiempo += accion;
    if(tiempo==centinela+1){
        // Power on motor:
        digitalWrite(motor, HIGH);
        motor_on=1;

```

```

motor_off=0;

}
if(tiempo==centinela-1){
// Power off motor:
digitalWrite(motor, LOW);
motor_on=0;
motor_off=1;
}
if(motor_on){
lcd.print("Motor ENCENDIDO");
}
if(motor_off){
lcd.print("Motor APAGADO");
}
//lcd.print("0 seg.");
break;*/
case 1: // // Estamos en fijar ventilador on/off
centinela2=tiempo;
tiempo += accion;
if(tiempo==centinela2+1){
// Power on motor:
digitalWrite(ventilador, HIGH);
ventilador_on=1;
ventilador_off=0;

}
if(tiempo==centinela2-1){
// Power off motor:
digitalWrite(ventilador, LOW);
ventilador_on=0;
ventilador_off=1;
}
if(ventilador_on){

```

```

    lcd.print("Ventilador ON");
}
if(ventilador_off){
    lcd.print("Ventilador OFF");
}
break;
case 2: // Estamos en Kp.
    kp += accion;
    lcd.print(kp);
    break;
case 3: // Estamos en Kd.
    kd += accion;
    lcd.print(kd);
    break;
case 4: // Estamos en Ki.
    ki += accion;
    lcd.print(ki/10);
    break;
case 5: // Estamos en Intensidad.
    intensidad += accion;
    if (intensidad > 254) intensidad = 0;
    if (intensidad > 10) intensidad = 10;
    lcd.print(intensidad);
    lcd.print("0%");
    analogWrite(10,intensidad*25);
    break;
}
}
}
}
/*if ((numeroLectura > 99) && (numeroLecturas < 2)) {
    long suma = 0;
    maximo = -10000;
    minimo = 10000;

```

```

for (int i=0; i < 100; i++){
    suma = suma + lecturas[i];
    if (lecturas[i] > maximo) {
        maximo = lecturas[i];
    }
    if (lecturas[i] < minimo) {
        minimo = lecturas[i];
    }

    // Serial.print("Temperatura[");
    // Serial.print(i);
    // Serial.print("]: ");
    // Serial.println(lecturas[i]);
}
diferencia = maximo - minimo;
suma = suma / 100;
// Si la diferencia es superior a un grado
//es que ha habido un error en la lectura
if (diferencia > 100) {
    Serial.println("Lectura no valida");
    // TODO: Descartar lectura y repetir la medida
}
else {
    numeroLecturas++;
    t3=t2;
    t2=t1;
    t1=suma;
}
Serial.print("Suma: ");
Serial.println(suma);*/
/* Serial.print("Media: ");
Serial.print(suma/100);
Serial.print(",");
Serial.println(suma/10%10);

```

```

Serial.print("Maximo: ");
Serial.print(maximo/100);
Serial.print(",");
Serial.print(maximo/10%10);
Serial.print(" - Minimo: ");
Serial.print(minimo/100);
Serial.print(",");
Serial.print(minimo/10%10);
Serial.print(" - Diferencia: ");
Serial.print(diferencia/100);
Serial.print(",");
Serial.println(diferencia/10%10); */
}
/*if (numeroLectura > 99) {
    // Cuando se termina de tomar las 100
    //lecturas empezamos de nuevo por la primera
    numeroLectura = 0;
}*/
/* PID();
delay(10);
// Si se desborda millis() empieza otra
//vez por cero, ocurre cada 50 dias
if (millis() < time){
    time = millis();
}*/
void control() {

    if ((millis() <= (lastPIDCalculation + Output)) || (Output == tiempoCiclo)) {
        // Power on:
        digitalWrite(SSR, HIGH);
        digitalWrite(led, HIGH);
    } else {
        // Power off:
        digitalWrite(SSR, LOW);
    }
}

```

```

        digitalWrite(led, LOW);
    }
}
/*void PID(){
    // Si se desborda millis() empieza otra
    // vez por cero, ocurre cada 50 dias
    if (millis() < tiempoPID){
        tiempoPID = millis();
    }
    // Si no ha pasado todavía el tiempo de ciclo del PID
    if (millis() < tiempoPID + (tiempo*10*1000)){
        // entonces mantenemos la fuerza y esperamos mas tiempo
        // s = sActualPID;
    }
    else if (numeroLecturas >= 2){
        numeroLecturas--;
        Serial.print("Distancia a la consigna: ");
        //Serial.print(t1-consigna*100);
        Serial.print(t1-Setpoint*100);
        Serial.print(" - Velocidad: ");
        Serial.println(t1-t2);
        tiempoPID = millis();
    }
}*/

// Convertimos el valor leído en analogico
// en un numero de boton pulsado
int get_key(unsigned int input)
{
    int k;

    for (k = 0; k < NUM_KEYS; k++)
    {

```

```

    if (input < adc_key_val[k])
    {
        return k;
    }
}
if (k >= NUM_KEYS)k = -1; // Error en la lectura.
return k;
}

/*int temperaturaFicticia = 2450;
int ptf= 0;
int getTemp(byte input)
{
    int celsius = Thermistor(analogRead(input))*100;
    return celsius;
    temperaturaFicticia += (random(7)-3-ptf);
    if (temperaturaFicticia > 2800) ptf = 1;
    if (temperaturaFicticia < 2000) ptf = 0;
    return temperaturaFicticia;
}*/

//float pad = 10000; // balance/pad resistor value, set this to
// the measured resistance of your pad resistor
// float thermr = 10000; // thermistor nominal resistance

/*float Thermistor(int RawADC) {
    long Resistance;
    float Temp; // Dual-Purpose variable to save space.

    Resistance=((1024 * pad / RawADC) - pad);
    // Saving the Log(resistance) so not to calculate it 4 times later
    Temp = log(Resistance);
    Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 * Temp) +
    (0.0000000876741 * Temp * Temp * Temp));
}*/

```

```

Temp = Temp - 273.15; // Convert Kelvin to Celsius

return Temp; // Devolver temperatura
}*/

boolean cargarConfig(){
  if ((EEPROM.read(0) == 27) && (EEPROM.read(1) == 28) &&
      (EEPROM.read(2) == 13) && (EEPROM.read(3) == 18)) {
    // Comprobamos que la eeprom tenga una
    // configuracion valida con numeros concretos
    // solo cargamos el valor de la configuracion si los valores coinciden
    //if (EEPROM.read(4) == EEPROM.read(5)) consigna =
EEPROM.read(4);
    if (EEPROM.read(4) == EEPROM.read(5)) Setpoint = EEPROM.read(4);
    if (EEPROM.read(6) == EEPROM.read(7)) tiempo = EEPROM.read(6);
    if (EEPROM.read(8) == EEPROM.read(9)) kp = EEPROM.read(8);
    if (EEPROM.read(10) == EEPROM.read(11)) kd = EEPROM.read(10);
    if (EEPROM.read(12) == EEPROM.read(13)) ki = EEPROM.read(12);
    if (EEPROM.read(14) == EEPROM.read(15)) intensidad =
EEPROM.read(14);
    return true;
  }
  return false;
}

void guardarConfig(){
  EEPROM.write(0,27);
  EEPROM.write(1,28);
  EEPROM.write(2,13);
  EEPROM.write(3,18);
  // Ponemos nmeros concretos en el comienzo
  // de la EEPROM para confirmar que tiene valores correctos.
  EEPROM.write(4,Setpoint);
  EEPROM.write(5,Setpoint); // almacenamos los valores 2 veces
  EEPROM.write(6,tiempo);

```

```
EEPROM.write(7,tiempo); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(8,kp);
EEPROM.write(9,kp); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(10,kd);
EEPROM.write(11,kd); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(12,ki);
EEPROM.write(13,ki); // almacenamos los valores 2 veces
EEPROM.write(14,intensidad);
EEPROM.write(15,intensidad); // almacenamos los valores 2 veces
}
```