

FABRICACIÓN DE FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D EN MÁQUINA EXTRUSORA  
DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

David Mauricio Gutiérrez Plata

Norberto Caceres Sierra



**Universidad  
Pontificia  
Bolivariana**

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Mecánica

2023

FABRICACIÓN DE FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D EN MÁQUINA EXTRUSORA  
DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

David Mauricio Gutiérrez Plata

Norberto Caceres Sierra

Trabajo de Grado para Optar por el título de Ingeniero  
Mecánico

Msc. Sergio Andrés Gómez Suárez

Director de proyecto

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Firma del Director

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

## **AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA**

Agradezco primeramente a Dios quien me ayudó, protegió y guio en cada una de las experiencias vividas en la Universidad Pontificia Bolivariana las cuales formaron el cumplimiento de un nuevo triunfo en mi vida, ser profesional en lo que tanto me apasiona; la ingeniería mecánica.

Dar gracias a toda mi familia Plata Santana por su acompañamiento durante todos estos años de formación universitaria, a mi madre Martha Cecilia y mi hermana Mary Giuliana las cuales son mi motor de vida y motivación para seguir creciendo tanto profesional como humanamente. A mi padre por sus consejos invaluable los cuales formaron en mí una fortaleza en cada momento de mi vida.

A mis amigos y sus familias gracias por la entrega y momentos vividos, por siempre obtendrán un respaldo incondicional a la realización de proyectos, otorgando de mi persona una amistad sincera y duradera.

A todos y cada uno de los mencionados, mi más grande y sincero respeto y lealtad, han sido de gran importancia para mí, por tal motivo, a ustedes les dedico este título de Ingeniero Mecánico. ¡Vamos por más!

David Gutiérrez

## **AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA**

Agradecimiento primero a Dios por darme fuerzas y nunca darme por vencido para terminar mi carrera de Ingeniería Mecánica y por permitirme conocer personas que me ayudaron en mi crecimiento personal, por guiarme siempre por el mejor camino como escoger a la universidad pontificia bolivariana y poder potenciar en mí valores que me ayudan tanto en la vida personal como en la vida profesional.

Gracias a mis padres Norberto Cáceres y Luz Elena Sierra porque sé el esfuerzo que hicieron para permitirme estudiar y todo lo que sacrificaron para ello, por inculcarme esos valores que me han hecho el hombre que soy hoy en día y todos esos familiares que de una u otra forma me ayudaron.

A David Mauricio Gutiérrez Plata por ser un gran compañero de proyecto y gran amigo, también a todos esos amigos y compañeros que conocí a lo largo de mi carrera que aunque no los mencione con nombre y apellido saben que los llevo siempre presente.

Y por último a los profesores que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo y que siempre estaban ahí cuando uno los necesitaba.

A todos ustedes muchas gracias

Norberto Cáceres

## CONTENIDO

1.	RESUMEN .....	1
2.	INTRODUCCIÓN .....	3
3.	ANTECEDENTES .....	4
4.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
5.	JUSTIFICACIÓN.....	6
6.	OBJETIVOS.....	7
	Objetivo General .....	7
	Objetivos Específicos .....	7
7.	ALCANCE .....	9
8.	MARCO TEÓRICO .....	10
	Impresora 3D .....	10
	Filamento PLA.....	10
	Filamento ABS.....	11
	Extrusión.....	11
	Polímero HDPE.....	12
	Polímero Compuesto de PVC CRISTAL.....	13
	Polímero Compuesto PVC BLANCO HUESO.....	14
	Máquina Universal de ensayos.....	15
9.	METODOLOGÍA.....	18
10.	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	19
	10.1. Adecuaciones a la maquina extrusora.....	19
	10.1.1 construcción de base soporte.....	19
	10.1.2 Modificación del sistema de refrigeración:.....	23
	10.1.3 Modificación de la boquilla:.....	28
	10.1.4. Modificación del sistema de embobinado:.....	32
	10.2. Realización de filamentos de impresora 3D con tres polímeros termoestables.....	35
	10.2.1. Extrusión de polímeros HDPE.....	36

10.2.2.	Extrusión de polímeros PVC CRISTAL. ....	38
10.2.3.	Extrusión de polímero PVC BLANCO HUESO .....	41
10.3.	Impresión de probetas para ensayo de tensión. ....	44
10.3.1.	Impresión 3D HDPE: .....	46
10.3.2.	Impresión 3D PVC blanco hueso.....	47
10.3.3.	Impresión 3D PVC cristal.....	48
10.4	Ensayo de tensión.....	49
11.	CONCLUSIONES .....	54
12.	REFERENCIAS .....	55

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Impresora 3D.....	10
Ilustración 2. Filamento PLA.....	11
Ilustración 3. Filamento ABS. ....	11
Ilustración 4. Extrusora UPB.....	12
Ilustración 5. Empresa MFL con primeras máquinas de ensayo.....	16
Ilustración 6. Máquina universal modelo ZME-1009E .....	17
Ilustración 7. Máquina original .....	19
Ilustración 8 Modelo de mesa soporte.....	20
Ilustración 9 Plano base metálica. ....	21
Ilustración 10 Base metálicas soldados.....	21
Ilustración 11 Tornillos, tuercas y arandelas .....	22
Ilustración 12. Resultado de base soporte. ....	22
Ilustración 13 Extrusora con sistema de refrigeración original. ....	23
Ilustración 14 Sistema de refrigeración original.....	23
Ilustración 15 Planos .....	24
Ilustración 16 Piezas de ensamble.....	25
Ilustración 17 Sistema de refrigeración modificado .....	25
Ilustración 18 Nuevo sistema de refrigeración instalada .....	26
Ilustración 19 Sistema de recirculación .....	27
Ilustración 20 Filamento con choque térmico. ....	27
Ilustración 21 Filamento corregido en carrete .....	28
Ilustración 22 Boquilla original .....	29
Ilustración 23 Cilindro aluminio montado en torno.....	29
Ilustración 24 Desgaste inicial con boquilla .....	30
Ilustración 25 Maquinado final .....	30
Ilustración 26 Pieza lista para montaje .....	31
Ilustración 27 Boquilla nueva instalada .....	31
Ilustración 28 Vista lateral.....	32
Ilustración 29 Vista frontal .....	32
Ilustración 30 diseño de acople fijo.....	33
Ilustración 31 Proceso de impresión de la pieza .....	33
Ilustración 32 Pieza impresa.....	34
Ilustración 33 Pieza montada en el eje.....	34
Ilustración 34 Extrusora con adecuaciones terminadas. ....	35
Ilustración 35 Zonas de las resistencias.....	36
Ilustración 36 Temperaturas y velocidades (HDPE).....	37
Ilustración 37 Carrete HDPE. ....	38
Ilustración 38 Temperaturas y velocidad PVC CRISTAL. ....	40
Ilustración 39 Velocidad de tornillo PVC CRISTAL. ....	40
Ilustración 40 Carrete PVC CRISTAL.....	41
Ilustración 41 Temperaturas y velocidad PVC BLANCO HUESO.....	42
Ilustración 42 Velocidad de tornillo PVC BLANCO HUESO .....	43
Ilustración 43 Carrete PVC BLANCO HUESO. ....	43
Ilustración 44 Medidas de probetas según tipo. ....	44
Ilustración 45 Medidas de probetas.....	45
Ilustración 46 impresora Creality Ender 3 v2.....	46

Ilustración 47 Probetas en proceso de impresión.....	47
Ilustración 48 Probetas HDPE.....	47
Ilustración 49 proceso de impresión PVC BLANCO HUESO.....	48
Ilustración 50 Probetas PVC BLANCO HUESO.....	48
Ilustración 51 Proceso de impresión PVC CRISTAL.....	49
Ilustración 52 Probetas PVC CRISTAL.....	49
Ilustración 53 Velocidades según material.....	50
Ilustración 54 Probetas con ensayo de tensión finalizado.....	51
Ilustración 55 Probetas con ensayo de tensión finalizado.....	52

## TABLA DE GRAFICAS

Gráfico 1: ensayos PVC blanco hueso. ....	51
Gráfica 2. Ensayos PVC cristal.....	52
Gráfica 3. Ensayos de tensión PVC blanco hueso y PVC cristal. ....	53

## TABLAS

Tabla 1. Fases de la metodología.....	18
Tabla 2. Temperaturas de resistencias. ....	36
Tabla 3. Velocidades. ....	37
Tabla 4. Temperaturas de resistencias. ....	39
Tabla 5. Velocidades. ....	39
Tabla 6. Temperaturas de resistencias ....	41
Tabla 7. Velocidades .....	42

# 1. RESUMEN



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** FABRICACIÓN DE FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D EN MÁQUINA EXTRUSORA DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

**AUTOR(ES):** David Mauricio Gutiérrez Plata  
Norberto Cáceres Sierra

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Msc. Sergio Andrés Gómez Suárez

### RESUMEN

El siguiente documento tiene como fin registrar actividades y procedimientos realizados para la obtención de filamentos para impresoras 3D con ayuda de la extrusora de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Ante esto, se estipula como meta la adecuación de la extrusora para su correcto funcionamiento teniendo en cuenta la variabilidad de las temperaturas dependiendo del tipo de materiales a extruir y a futuro pueda llevarse a cabo con los parámetros, dependiendo del tipo de material a usar. Se desarrollaron pruebas piloto, que consiste en imprimir probetas de diferentes materiales para finalizar con pruebas de tensión de estos. Obteniendo con éxito las curvas características de los materiales usados.

### PALABRAS CLAVE:

Filamento, impresora 3D, extrusora, probetas

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** MANUFACTURE OF FILAMENTS FOR 3D PRINTER IN EXTRUDER MACHINE OF THE UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

**AUTHOR(S):** David Mauricio Gutiérrez Plata  
Norberto Cáceres Sierra

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Msc. Sergio Andrés Gómez Suárez

### ABSTRACT

The following document aims to record activities and procedures carried out to obtain filaments for 3D printers with the help of the extruder of the Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Before this, it is stipulated as a goal the adequacy of the extruder for its correct operation taking into account the variability of temperatures depending on the type of materials to extrude and in the future it can be carried out with the parameters, depending on the type of material to use. Pilot tests were developed, which consisted of printing samples of different materials to finish with stress tests of these. Successfully obtaining the characteristic curves of the materials used.

### KEYWORDS:

filament, 3D printer, extruder, test tubes

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 2. INTRODUCCIÓN

Un aspecto que ha tenido atención los últimos años ha sido el del calentamiento global y sus alternativas de mitigarlo, así mismo con creaciones como las extrusoras de polímeros en 1973 y la impresora 3D realizadas en 1984 han ayudado a crear diversas alternativas hoy en día para poder crear piezas u objetos a partir de plásticos reciclados. Esta alternativa lleva consigo muchos beneficios y entre estos incluye la capacidad de creación de piezas geométricas complejas, con propiedades más resistentes, dúctiles o flexibles con más rapidez y precisión, según se requiera. De forma más reciente, se han utilizado estas impresoras 3D para la construcción de casas, calzado, piezas mecánicas e incluso naves espaciales.

No obstante, dadas las circunstancias de la constante investigación en este campo, este documento tiene como fin la optimización del funcionamiento de la extrusora de polímeros, reflejando una caracterización correcta de polímeros termoestables partiendo desde la creación de filamentos dejando parametrizado las temperaturas y velocidades implementadas en cada diferente caso. Llevando a cabo la impresión 3D de probetas para tensión utilizando la norma ASTM D638-22 para las dimensiones, y así, finalmente dentro de las actividades y procedimientos de tensión que se realizaron, se encuentran las curvas de esfuerzo deformación de cada material obtenido, demarcando finalmente los parámetros de cada material para su utilización en creación de piezas mecánicas en la impresora 3D.

### 3. ANTECEDENTES

En el año 2015, la estudiante Laura Arteaga Medina en la Universidad De La Laguna de España, realizó la fabricación y caracterización de filamentos para impresora 3D a partir de materiales reciclados, llevando a cabo la obtención de materia prima a través de trituraciones y extrusión de material, aportando consejos y perspectivas de cómo se debía mejorar los aspectos de producción y proponiendo un mejoramiento en todos los puntos y factores que llegaron a afectar la calidad de los productos [2].

En cuanto a otro antecedente internacional, en el año 2017, el estudiante Rodrigo Nicolás Parra de la Universidad técnica Federico Santa María de Santiago de Chile, realiza el diseño de una extrusora de filamento a partir de plásticos reciclados, teniendo en cuenta que pueden ser empleados para las técnicas llevadas a cabo en la impresión 3D, creando objetos mediante diferentes depósitos de capas sucesivas de material [3].

En el año 2019, la estudiante María de los Ángeles Corzo del centro de investigación de estudios avanzados del instituto politécnico nacional de la ciudad de México, realizó el diseño e implementación de una maquina extrusora simple, permitiendo poder trabajar a futuro con materiales termoplásticos reciclados o nuevos para la fabricación de filamentos útiles para una impresora 3D comercial [4].

Por último, una de las investigaciones más recientes, se realizó en el año 2020, dos estudiantes de la Universidad Continental de Perú Olger Jeyson Cutipa y Edgar Arián Rodríguez, realizaron una investigación que tenía como objetivo diseñar una maquina extrusora con la capacidad de procesar filamentos para impresión 3D y también con capacidad de triturar la merma debido a las impresiones 3D, generando filamentos PLA para las impresoras 3D [5].

#### **4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

Hoy en día las impresoras de 3D son una herramienta que favorece la reutilización de residuos altamente contaminantes como el plástico. Las impresoras 3D utilizan filamentos plásticos en su proceso de adición de capas para la creación de otros objetos [1]. Para la producción de dichos objetos, se pueden emplear filamentos nuevos y también reciclados.

En la actualidad, aun se vive en una sociedad plastificada, donde el plástico termina siempre en los mares, siendo vertedores principales de un gran problema medioambiental. Las impresoras 3D no solo utilizan filamentos de origen plásticos, también se aprovechan materiales como la madera o hasta el acero [1].

La realización de este proyecto nace gracias a que en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga posee una extrusora funcional, sin embargo, no se tiene conocimiento alguno de cómo manejar las temperaturas para diferentes tipos de polímeros y tampoco se conoce la velocidad exacta del tornillo que es de suma importancia en el momento de tener el resultado final del filamento.

Al realizar este proyecto se busca contribuir a futuro a las prácticas de los estudiantes que cursen la materia “ciencia de los materiales” del pregrado de ingeniería mecánica de la UPB y conozcan la revolución que le ha dado la impresión 3D siendo un gran aliado para el medio ambiente y para enfrentarse a la evolución de máquinas que tendrán al momento de ejercer sus carreras

## 5. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surge con el propósito de que a futuro los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga puedan trabajar en la materia ciencia de los materiales y/o procesos de fabricación, donde aprenderán y se les facilitara la práctica para la creación de filamentos para impresoras 3D utilizando la impresora de la Universidad, realizando ensayos con piezas que les permita conocer más a fondo sobre la manufactura. Hoy en día las impresoras 3D tienen un gran auge como nueva técnica de conformación y en el incremento del empleo de materiales termoplásticos o con características especiales que crean a su vez la necesidad de encontrar una solución factible y responsable a todos los excedentes que este proceso crea durante su desarrollo [6].

Es un tema de alta relevancia para el futuro ingeniero mecánico porque es importante conocer diferentes procesos de fabricación y composición de los diferentes materiales y es algo que no solo impacta positivamente a la universidad y a los estudiantes sino también al medio ambiente, ya que se incentiva al reciclaje.

## 6. OBJETIVOS

### Objetivo General

Fabricar filamentos para impresora 3D utilizando polímeros termoplásticos para definir los parámetros de operación de la máquina extrusora de la facultad de ingeniería mecánica UPB.

### Objetivos Específicos

- Realizar adecuaciones a la máquina extrusora por medio del mejoramiento del sistema de refrigeración, de la base soporte y del sistema de embobinado de la máquina extrusora para la obtención de filamento continuo.

**Indicador:** Máquina de extrusión con las modificaciones adecuadas.

**Resultado:** Sistema de refrigeración modificado, base de la máquina modificado, sistema de bobinado modificado.

- Realizar filamentos de impresora 3D con tres polímeros termoestables definiendo los parámetros de operación referentes a la temperatura y velocidades del tornillo de la máquina extrusora de la facultad de ingeniería mecánica UPB.

**Indicador:** Parámetros definidos de mínimo tres polímeros, mínimo tres filamentos de 10 metros cada uno.

**Resultado:** Filamentos de la impresora, documento con los parámetros de la operación definidos.

- Implementar el filamento fabricado por medio de la impresión de probetas para ensayo de tensión en la impresora 3D de la Universidad Pontificia Bolivariana.

**Indicador:** Mínimo 5 probetas impresas con mínimo dos de los filamentos fabricados.

**Resultado:** Probetas de tensión impresas.

- Caracterizar las probetas fabricadas en la impresora 3D por medio del ensayo de tensión en máquina universal de la Universidad Pontificia Bolivariana.

**Indicador:** Mínimo 2 curvas de esfuerzo deformación de los materiales fabricados.

**Resultado:** Curvas de esfuerzo deformación

## **7. ALCANCE**

El alcance de este proyecto se basó sobre la modificación y adecuación realizadas en la extrusora para filamentos 3D ubicado en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, llevando a cabo la caracterización y obtención de los filamentos que ayudó a finalizar las pruebas piloto de esta.

## 8. MARCO TEÓRICO

### Impresora 3D

La impresora 3D es un prototipo de tecnología que admite crear un objeto tridimensional a partir de un diseño digital. Por varios siglos se ha usado las impresoras para plasmar imágenes, pero la impresora 3D se delega de la fabricación de moldear cuerpos de tres dimensiones por la suma de algún material fundido, teniendo en cuenta que esta técnica es basada en la extrusión de materiales [7].

Los componentes de una impresora 3D son: el sistema de extrusión, los ejes, varillas, rodamientos, correas y huesillos [8].



*Ilustración 1. Impresora 3D.*

### Filamento PLA.

Según investigaciones, el filamento PLA o Ácido poliláctico, es un polímero termoplástico elaborado a base de recursos renovables como el almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar. A discrepancia de otros materiales de la industria hechos primariamente a base de petróleo. Debido a sus principios más ecológicos, este material se ha entablado a popularizarse dentro de la industria y por tal razón se ha entablado en aplicaciones médicas y en servicios alimentarios, en la manufactura química plástico y hoy en día en las impresiones 3D [4].



*Ilustración 2. Filamento PLA*

### **Filamento ABS.**

El ABS o el acrilonitrilo butadieno según algunos estudios es un polímero termoplástico que es utilizado para la industria de plásticos de diferentes aplicaciones. Este filamento es la consecuencia de una combinación de tres monómeros, otorgando propiedades adecuadas, con una buena resistencia a la fatiga, dureza y rigidez, debido al acrilonitrilo [4].

Este filamento es un plástico duro y muy resistente a diferentes impactos, teniendo una larga vida de utilidad, siendo ideal para diferentes aplicaciones mecánicas.



*Ilustración 3. Filamento ABS.*

### **Extrusión.**

Es un proceso fundamental para dar la forma a los filamentos plásticos. La extrusión es un proceso donde el material termoplástico y elastómeros es fundido en una masa homogénea y gracias a eso se origina artículos que sean reutilizables de materiales reciclables, utilizados principalmente por industrias de plástico que necesiten crear con rapidez y con calidad la producción, el sistema manejado principalmente es de calentamiento en conjunto con el husillo que genera una masa viscosa [2].

El proceso de extrusión tiene una iniciación que es llevado a cabo por una boquilla y el enfriamiento se realiza a la salida de esta, donde se encuentra en contacto con el aire, agua o una superficie fría. El método es perpetuo y proporciona a un perfil macizo o hueco de sección transversales constantes, que es seccionado en largos estandarizados. En cuanto a la maquina extrusora, existen diferentes tipos de extrusoras como la de tornillo simple, tornillos dobles y triples. [9]



*Ilustración 4. Extrusora UPB.*

### **Polímero HDPE.**

Por otro lado, la polimerización aniónica, por radicales libres, por coordinación de iones y la polimerización catiónica son técnicas mecánicas de resistencia química para la producción de los pellets que, según el proceso utilizado, se pueden obtener el Polietileno de baja densidad denominado LDPE y el Polietileno de alta densidad denominado HDPE, el cual es el que se manejó en la práctica.

Este último (HDPE) cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en aspectos de catalizadores Ziegler Natta, se obtiene el polietileno de alta densidad. Una de las principales diferencias entre estos dos polímeros es que el LDPE es más flexible digno a que la cadena polimérica tiene numerosas ramificaciones con dos o cuatro átomos de carbono, mientras que en el HDPE las cadenas que los constituye casi no tienen cadenas laterales lo que les aprueba estar más empaçadas y por lo tanto el polímero es más compacto.

Las tuberías fabricadas con este material son flexibles, fuertes y resistentes a la corrosión, por lo que se utilizan ante todo para transporta productos corrosivos y abrasivos [9].

• **Uso:**

Envases para: detergentes, envases de cloro, aceites automotores, shampoo, lácteos, bolsas para supermercados, cajones para pescados, gaseosas, cervezas, envases para pinturas, helados, tuberías para gas, telefonía, agua potable, usos sanitarios, piezas mecánicas, estas y entre muchas otras utilidades.

Por otra parte, el polietileno es químicamente el polímero más simple. Se trata de un plástico económico que puede ajustarse a casi cualquier forma, extruirse para hacer fibras o soplarse para constituir películas delgadas. Para su extrusión se pueden encontrar con facilidad cables, hilos, tuberías. Sin embargo, también es utilizado en:

- Moldeos por inyección: partes en tercera extensión con formas complicadas.
- Inyección y soplado: Botellas de diferentes tamaños.
- Extrusión y soplado: Bolsas o tubos de calibre delgado.
- Roto moldeo: Depósitos y formas de grandes dimensiones.

Su resistencia al impacto es mucho más alta y se mantiene a temperaturas bajas. Baja densidad con respecto a metales u otros materiales. Impermeable; Inerte y de baja reactividad. [9]

**Polímero Compuesto de PVC CRISTAL.**

Al principio de la mitad del siglo XIX se describió por primera vez la producción de PVC a partir de cloruro de vinilo (VC). En 1928 en los Estados Unidos y en 1930 en Alemania, comenzó la producción a gran escala del PVC. Después de la Segunda Guerra Mundial ya era el plástico más producido. Con un contenido de cloro del 56,7 % de la masa molar, el PVC es un coproducto apreciado en la producción de cloro. Debido a la baja proporción de componentes basados en hidrocarburos, los materiales de PVC presentan, en comparación con otros, huellas de carbono y balances energéticos favorables.

A través de la incorporación de plastificantes y demás aditivos se consiguen perfiles de propiedades específicos para cada una de las aplicaciones. Desde el punto de vista mecánico, los plastificantes actúan como “distanciadores” o “bisagras” de las macromoléculas vecinas. Permiten una mayor movilidad de los segmentos de cadenas

de PVC. Cuanto más grande son las moléculas plastificantes elegidas, menor será la ausencia en caso de exigencias extremas.

Los compuestos de PVC CRISTAL, también conocido como cristal plástico, es un polímero termoplástico muy manipulado en construcción. Este tiene grandes beneficios, entre ellas como acristalamientos y decoración. El aspecto natural del cristal plástico es incoloro, pero al igual que el vidrio se puede teñir para obtener más colores. Este es resistente a los efectos químicos, a los fenómenos meteorológicos y a los golpes. Asimismo, no solicita un gran mantenimiento y es autoextensible en cuestión de fuego. También ofrece buenas situaciones de luminosidad y transparencia, de ahí que sea utilizado en toldos y cubiertas.

• **Uso:**

Los amplios límites térmicos de entre -50 hasta 70 °C de temperatura permanente permiten muy variadas aplicaciones como en mangueras, tapones y elementos amortiguadores en la construcción de aparatos. Debido a sus buenas propiedades eléctricas aislantes el PVC flexible es el aislante preferido para alambres y cables para tensiones de hasta 10 kV. En el sector de la construcción, el PVC flexible tiene una gran cantidad de aplicaciones: aislamiento de construcciones, juntas y ventanas, perfiles elogiados, deslizables y protectores, revestimientos de suelos, mesas y paredes, y muchas más. En la tecnología médica se producen sistemas sofisticados para conservas de sangre y soluciones médicas intravenosas exclusivamente de este material. Desde hace años existen muchos otros campos de aplicación en la industria automovilística, de embalajes y de la confección que siguen desarrollándose continuamente.

En todas estas aplicaciones, el cristal plástico es muy sensible al rayado, por lo que, en cuanto a su limpieza, es significativo no limpiarlos con estropajos ni efectos agresivos con el material. De igual modo, en vez de limpiarlo en seco, con el riesgo de arrastrar la suciedad y producir rayados, conviene limpiarlos con esponja, jabón neutro y agua, y secarlos con un paño suave.

**Polímero Compuesto PVC BLANCO HUESO.**

PVC es un Policloruro de vinilo altamente resistente a la corrosión con alto cociente de la fuerza a peso, costo eficiencia y facilidad de la elaboración. Este material es ideal para aplicaciones donde es necesaria la máxima resistencia química. Se ajusta a las normas ASTM D-1784-95 clase 12454-B la cual especifica las normas de calidad, válido para utilizarse en construcción. Se define por ser dúctil y tenaz; muestra estabilidad dimensional y resistencia ambiental. Además, es reciclable por varios métodos. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Es un polímero por adición y además una resina que

resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloro eteno. Asume una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

En caso de incendio o en la eliminación térmica de residuos o el reciclaje pueden liberarse sustancias que contienen ácido clorhídrico o incluso dioxina. Debido a las consecuencias para el medio ambiente, la industria del PVC se centró mayoritariamente en productos duraderos a través de programas como "Vinylplus". Se puso rápidamente en práctica la rigurosa sustitución de aditivos que contuvieran metales pesados y la industria se transformó en pionera en el reciclaje de materiales. ONG como "The Natural Step" acompañan y supervisan esta autorregulación y le confieren credibilidad. El mercado de PVC sigue creciendo un 5-6 % anual (CAGR).

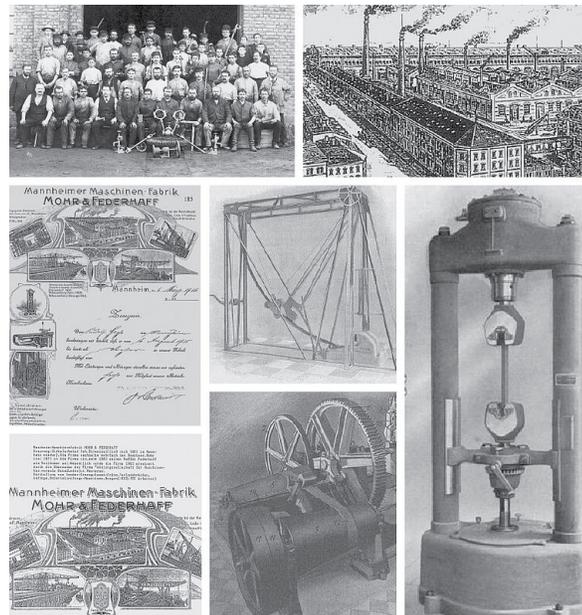
- **Uso:**

Debido a sus buenas propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas y una excelente resistencia química, el PVC rígido puede ser empleado con buenos resultados en muchos campos. En la construcción de aparatos y máquinas se producen con PVC rígido, por ejemplo, tuberías de presión, conectores de tuberías, racores, ventiladores, conductos de ventilación, griferías, bombas, recipientes para la industria química y revestimientos. Para aplicaciones en el ramo de la construcción cabe mencionar tuberías de aguas residuales, canalones, tubos de bajada pluvial, tuberías de gas, tuberías de drenaje, perfiles de ventanas, elementos de fachadas, conductos de ventilación y vallas antideslumbrantes. En la ingeniería electrónica se producen con PVC rígido tubos aislantes, cubiertas transparentes para cajas de distribución, carcasas, conductos de guía de cables y los venerables discos de vinilo. En la industria de embalajes, este material es utilizado para botellas (impermeables a los gases) de aceite y de líquidos.

### **Máquina Universal de ensayos.**

Una máquina universal de ensayos es un dispositivo que permite realizar más de 2 ensayos; de tracción y compresión, mediante estas pruebas se puede obtener las propiedades de los materiales a ensayarse.

En la industria, el desarrollo de los procesos exigía la revisión y validación de las distintas propiedades mecánicas, esto considerando que existen materiales primos y materiales compuestos. Por esto, se considera que la implementación de estas máquinas a la industria fue un acierto, sin embargo, sus modelos no eran muy comunes o comerciales, ya que tenían un diseño complejo y grande, en la siguiente ilustración se puede observar una de las primeras fábricas Mannheimer Maschinenfabrik (MFL) que desarrolló las máquinas de ensayos.



*Ilustración 5. Empresa MFL con primeras máquinas de ensayo.*

Actualmente se pueden encontrar diversas máquinas sofisticadas, electrónicas, con más capacidad y menos complicadas para el operario, a su vez se han visto creaciones de elementos que suman a la ejecución de los diferentes ensayos, esto con el fin de obtener unos resultados de características mecánicas de los materiales más acertados para las investigaciones actuales.

Al ser una máquina enfocada hacia la investigación de materiales, la mayoría de universidades a nivel mundial la han implementado en sus laboratorios, esto encaminado a que los estudiantes tengan la posibilidad de hacer diferentes ensayos de diversos materiales específicos. Otro de los beneficios de tener esta máquina es la nueva obtención de materiales que presenten mejoras en sus propiedades físicas, esto sin la necesidad de presentar grandes cantidades en material, por tal motivo es un ahorro monetario y proporciona las características tanto mecánicas como físicas que sean necesarias. En la siguiente ilustración se puede observar la el modelo de máquina universal actual que se tiene en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.



*Ilustración 6. Máquina universal modelo ZME-1009E*

## 9. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos de este proyecto se realizaron una serie de tareas divididas en fases de orden cronológico, las cuales se presentan en la siguiente tabla:

---

Metodología	
Fase 1	Investigación funcionamiento de la extrusora para filamento
Fase 2	Investigación de características de los tres polímeros termoestables
Fase 3	Se realizó adecuaciones a la maquina extrusora para filamentos 3D ubicada en la universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga en la parte de refrigeración y base de la máquina.
Fase 4	Se caracterizó tres polímeros termoestables definiendo parámetros como temperatura y velocidad del tornillo.
Fase 5	Habiendo caracterizado estos tres polímeros termoestables se hicieron pruebas piloto con ayuda de la impresora 3D y se obtuvieron las probetas de tensión.
Fase 6	Por último, se sometieron las probetas a las respectivas pruebas de tensión, obteniendo información de cada material.

---

Tabla 1. Fases de la metodología.

## 10. DESARROLLO DEL PROYECTO

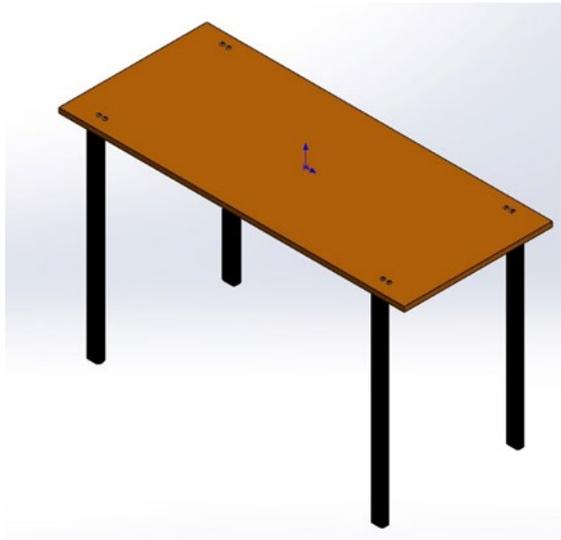
### 10.1. Adecuaciones a la maquina extrusora.

#### 10.1.1 construcción de base soporte



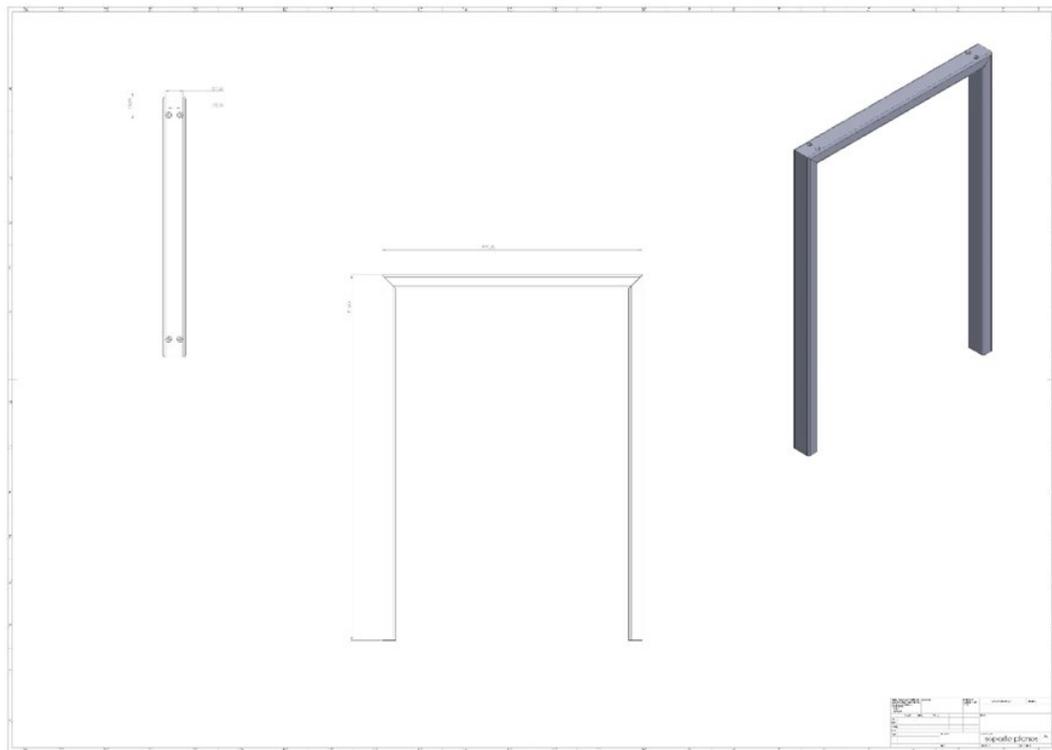
*Ilustración 7. Maquina original*

Se realizó la construcción de base soporte porque la máquina no tenía un fácil acceso a la hora de ponerla en marcha, esta se apoyaba sobre el piso y el operario le tocaba agacharse durante el proceso de extrusión, ocasionando así un aumento de peligro con las personas alrededor. Visto esto, se procedió a construir una mesa de patas metálicas con tubo cuadrado de calibre 18 y una base de madera con dimensiones de 60x140 cm, está en su totalidad brinda una altura de 80cm más la altura de la máquina. Su construcción se inició haciendo un modelado de la mesa en el software SolidWorks para tener claras las medidas de construcción, las cuales se ven a continuación:



*Ilustración 8 Modelo de mesa soporte.*

Seguido a esto, se tomaron los planos de la base a construir, las cuales se pueden evidenciar en la siguiente imagen:



*Ilustración 9 Plano base metálica.*

Se cortaron los tubos con las dimensiones especificadas, seguido a esto se realizó la unión por medio de soldadura para conseguir la forma deseada.



*Ilustración 10 Base metálicas soldados.*

Terminado este proceso, se abrieron 4 huecos, 2 en cada esquina, y se introdujeron tornillos de 5/16 pulgadas, con su respectiva tuerca y arandela con el fin de darle unión a la base de madera donde irá descansada la máquina extrusora.



*Ilustración 11 Tornillos, tuercas y arandelas*

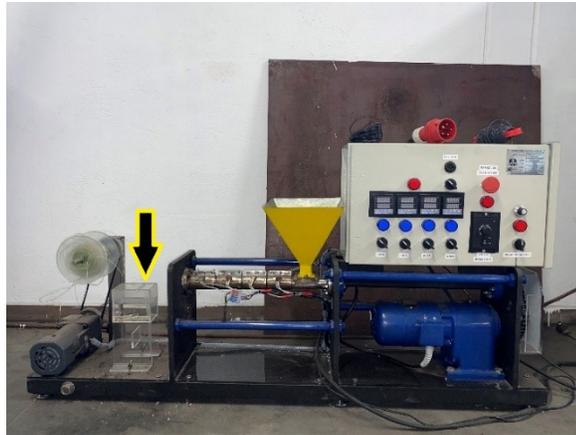
Finalmente, se ensambló la mesa y las bases metálicas fueron pintadas de color negro mate. Esto dio como resultado una mejor estabilidad y ergonomía al operario a la hora de tener la máquina en funcionamiento, mitigando así los riesgos tanto para él, como para el entorno de trabajo.



*Ilustración 12. Resultado de base soporte.*

### 10.1.2 Modificación del sistema de refrigeración:

Se llevó a cabo la modificación del sistema de refrigeración tomando como referencia el sistema original, detectando un error en su construcción, ya que este era muy pequeño, quedando lejos de la boquilla por donde sale el material extruido. En las siguientes ilustraciones se puede observar la máquina extrusora con el sistema de refrigeración original y el sistema de refrigeración a detalle.



*Ilustración 13 Extrusora con sistema de refrigeración original.*



*Ilustración 14 Sistema de refrigeración original*

Teniendo presente lo anterior, se optó por realizar un recipiente del mismo material del original, más largo para que así quede cerca a la boquilla de salida, de esa forma se busca dar mejor carrera de enfriamiento.



Posteriormente, se adquirió una lámina de acrílico de 50 x 50 cm con un espesor de 5 mm, las partes de los planos se cortaron con la cortadora láser de la universidad como se puede observar en la siguiente ilustración:



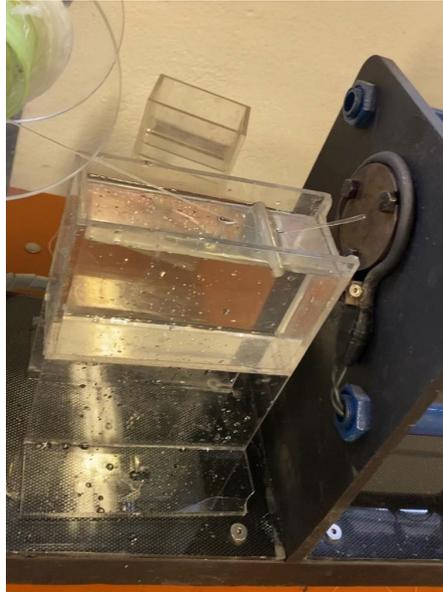
*Ilustración 16 Piezas de ensamble.*

La unión de estas partes se hizo con gota mágica, obteniendo el resultado final como se observa en la ilustración 14



*Ilustración 17 Sistema de refrigeración modificado*

Instalando el nuevo sistema de refrigeración como se observa en la ilustración 11 y poniendo en marcha la máquina para realizar pruebas piloto, se observó que era necesario un desgaste en el recipiente, esto con el fin de que el filamento tenga una mejor caída en la zona de refrigeración.



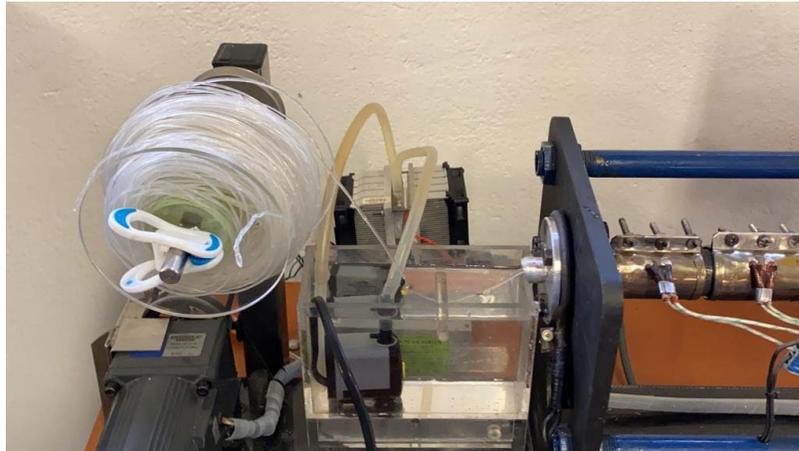
*Ilustración 18 Nuevo sistema de refrigeración instalada*

Realizando las pruebas piloto del nuevo sistema de refrigeración, se observaron fallos en este, ya que el filamento tendía a romperse por motivo de que el agua se calentaba cada que transcurría el tiempo por las altas temperaturas a la que el filamento salía de la boquilla, llevando así por optar rediseñar este sistema de refrigeración añadiendo un sistema de recirculación de agua, que ayudaría a mantener el líquido a una temperatura ambiente, esto ayudaría a que el filamento tenga un recorrido óptimo hasta llegar al carrete. Este nuevo sistema constó de:

- Una peltier.
- Dos disipadores de calor.
- Intercambiador de calor.
- Fuente de alimentación.
- Bomba sumergible.
- Mangueras siliconadas.

El funcionamiento de este nuevo sistema consiste en que el agua caliente pasa por el sistema de enfriamiento gracias a una bomba sumergible, pasando por la parte fría de la peltier que ayuda a bajar la temperatura llegando a mantenerla a una temperatura ambiente. No obstante, en la parte de la cara de la peltier que se calienta, se instaló un

disipador de calor para bajar su temperatura y todo esto es alimentado con una planta que trabaja a corriente 110 y nos entrega 12 voltios a 3.2 amperios, suficiente para alimentar la peltier y el ventilador. En la siguiente ilustración se puede observar el sistema de recirculación que se instaló con sus respectivas pruebas piloto.



*Ilustración 19 Sistema de recirculación*

No obstante, con las pruebas piloto, se observó que este sistema de recirculación tampoco era óptimo para el filamento, ya que este al encenderse no solo mantenía el agua a una temperatura ambiente, sino que también la enfriaba, el filamento al salir a una temperatura muy elevada generó un impacto térmico muy abrasivo, ocasionando que este se le generaran burbujas por dentro y no saliera limpio para su utilización en la impresora 3D. En la siguiente ilustración se observa el filamento con el respectivo choque térmico.



*Ilustración 20 Filamento con choque térmico*

Nuevamente se replanteó el sistema de refrigeración para la máquina extrusora, llegando como fin por optar implementar una nueva solución. Se le bajaron las revoluciones al tornillo para que el filamento tuviese una carrera más lenta y durante este se enfriara con ayuda de un ventilador de bajas revoluciones. En la ilustración 21 se logra observar la instalación del ventilador con su respectiva prueba piloto, la cual fue un éxito observándose así un correcto enfriamiento obteniendo un filamento limpio y listo para utilizar.



*Ilustración 21 Filamento corregido en carrete*

### **10.1.3 Modificación de la boquilla:**

Durante la realización de las pruebas piloto de la máquina, se observó que la boquilla, mostrada en la ilustración 22, por donde sale el filamento no es totalmente óptima para su funcionamiento, por esto se decide acondicionarle un mejor diseño a esta.



*Ilustración 22 Boquilla original*

Se tomaron medidas de la placa original y medidas al paso que tiene la resistencia en esta boquilla para replicarla. Seguido a esto se compra un cilindro de aluminio de 3 pulgadas para realizarle el maquinado con el torno de la universidad. En las siguientes ilustraciones se podrá observar el maquinado que se le realizó a la pieza de aluminio.



*Ilustración 23 Cilindro aluminio montado en torno*



*Ilustración 24 Desgaste inicial con boquilla*



*Ilustración 25 Maquinado final*



*Ilustración 26 Pieza lista para montaje*

Teniendo la pieza lista, se realizó un duplicado de los huecos que tiene la boquilla original y se hizo un desgaste a esta de 45° para dar mayor fluidez al filamento a la hora de la caída. Obteniendo así el siguiente resultado final.

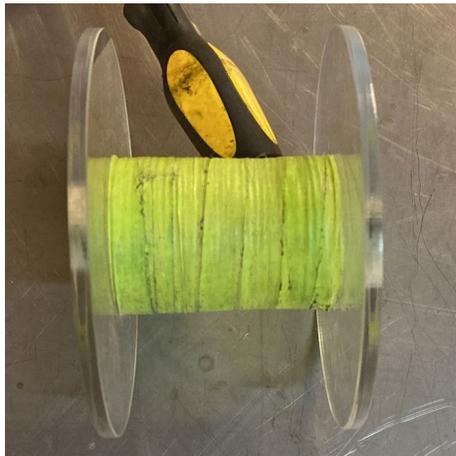


*Ilustración 27 Boquilla nueva instalada*

#### 10.1.4. Modificación del sistema de embobinado:

En la modificación del sistema de embobinado del filamento se quiso familiarizar un poco más la máquina extrusora con la impresora 3D, esto se llevó a cabo observando y midiendo el carrete que viene de fábrica con la impresora para que así se pudiera acomodar en el eje de la extrusora y el filamento se enrolle allí mismo.

En las siguientes imágenes se podrá observar el sistema de embobinado original que vino con la máquina extrusora.

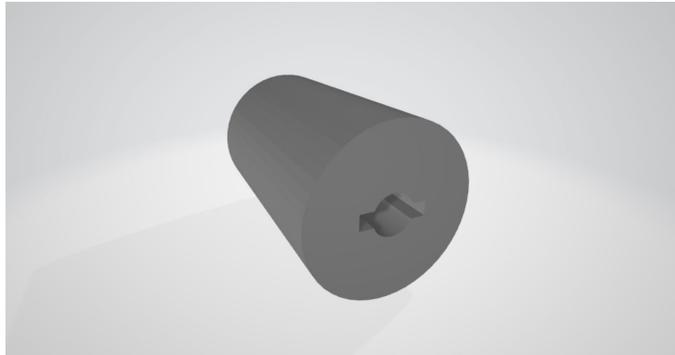


*Ilustración 28 Vista lateral*



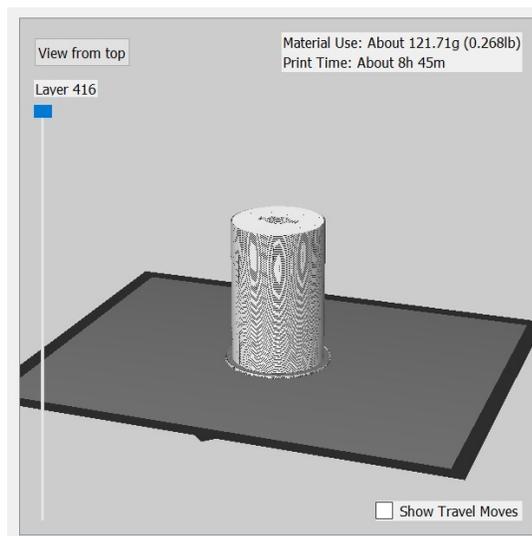
*Ilustración 29 Vista frontal*

Dicho lo anterior, se desmonta el sistema de embobinado original y se diseña en SolidWorks un acople fijo para el eje de la extrusora en el que pueda ser montado y desmontado con facilidad el carrete de la impresora.



*Ilustración 30 diseño de acople fijo*

El diseño se llevó a cabo en la impresora 3D de universidad y luego se procede a imprimir la pieza.



*Ilustración 31 Proceso de impresión de la pieza*



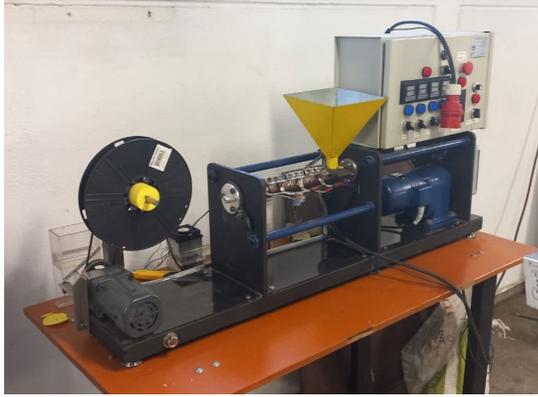
*Ilustración 32 Pieza impresa*

Finalizando con el proceso, se procede a montar el en el eje y así mismo el carrete de la impresión 3D.



*Ilustración 33 Pieza montada en el eje.*

Dando por finalizado las adecuaciones realizadas a la máquina extrusora de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, en la siguiente ilustración se puede observar los montajes realizados asegurando así un correcto funcionamiento.



*Ilustración 34 Extrusora con adecuaciones terminadas.*

## **10.2. Realización de filamentos de impresora 3D con tres polímeros termoestables.**

Llevando a cabo el cronograma de actividades para realización del proyecto de grado, se realizó el estudio de 3 polímeros termoestables diferentes para la obtención de filamentos para utilizarlo en impresoras 3D, se tuvieron en cuenta diferentes aspectos para la obtención de este, como lo son el costo de los polímeros, la fácil obtención para la ciudad de Bucaramanga, las temperaturas a la que el polímero se puede trabajar tanto para la extrusora como para las impresoras no industriales y por último, su fácil manejo para la obtención del filamento.

Teniendo en cuenta los aspectos ya mencionados, se llegó a la conclusión de trabajar con los polímeros:

- HDPE.
- PVC CRISTAL.
- PVC BLANCO HUESO.
- 

Durante la extrusión de estos polímeros, el método a utilizar para determinar la temperatura fue el de ensayo y error, encontrando así la temperatura exacta de este material para la extrusora de la Universidad Pontificia Bolivariana. Para el desarrollo, se

tuvo en cuenta un parámetro denominado “temperatura de joroba” que ayudó a optimizar las condiciones de funcionamiento de la extrusora. Este consiste en dividir en denominar cada resistencia del cilindro en zonas, como se puede observar en la ilustración 35, siendo así, la primera zona del cilindro del barril se establece en la configuración normal de la zona 1, la zona 2 se establece entre 75°F y 100°F más, y luego las zonas restantes disminuyen en temperatura uniforme hasta el punto donde la última zona del barril se establece aproximadamente 10°F por debajo de la temperatura de fusión deseada.

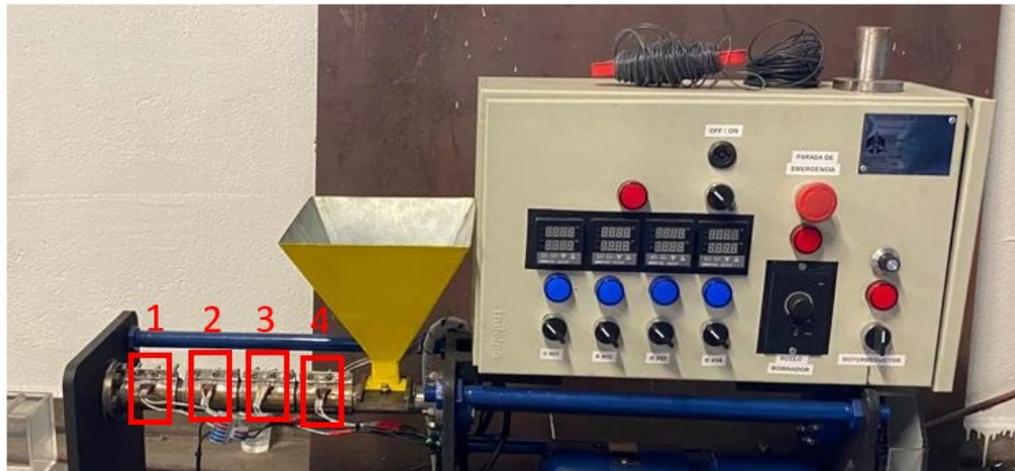


Ilustración 35 Zonas de las resistencias

### 10.2.1. Extrusión de polímeros HDPE.

Durante la realización de las pruebas piloto de la extrusión de este polímero, se llega a la temperatura óptima para la extrusión de un filamento limpio y con un diámetro de 1.75mm. En la siguiente tabla se observan las temperaturas implementadas para este filamento.

Temperaturas de resistencias	
R	°C
1	210
2	200
3	195
4	165

Tabla 2. Temperaturas de resistencias

A continuación, se ilustran las velocidades del carrete y del tornillo. Las velocidades del tonillo para esta máquina extrusora están denominadas de unas velocidades desde 1 a 9, según la perilla acoplada de fábrica, estos valores se reflejarán en la siguiente tabla.

Velocidad de carrete	
RPM	
170	
Velocidad de tornillo	
1	5
2	6
3	7
4	8
9	

Tabla 3. Velocidades

Ante esto se adjunta foto donde se observan las temperaturas y las velocidades en la máquina y del carrete con el filamento obtenido.



Ilustración 36 Temperaturas y velocidades (HDPE).



*Ilustración 37 Carrete HDPE.*

### **10.2.2. Extrusión de polímeros PVC CRISTAL.**

De igual manera, las pruebas piloto de la extrusión de este polímero, se llega a la temperatura óptima para la extrusión de un filamento limpio y con un diámetro de 1.75mm. En las siguientes tablas se observan las temperaturas implementadas para este filamento y las velocidades de tornillo como del carrete.

Temperaturas de resistencias	
R	°C
1	170
2	150
3	145
4	140

Tabla 4. Temperaturas de resistencias.

Velocidad de carrete	
RPM	
652	
Velocidad de tornillo	
1	5
2	6
3	7
4	8
9	

Tabla 5. Velocidades.

Se adjuntan las fotos donde se evidencian estas temperaturas y las velocidades utilizadas en la máquina. Evidenciándose también la medida del filamento en este carrete al final de las ilustraciones.



*Ilustración 38 Temperaturas y velocidad PVC CRISTAL.*



*Ilustración 39 Velocidad de tornillo PVC CRISTAL.*



Ilustración 40 Carrete PVC CRISTAL.

### 10.2.3. Extrusión de polímero PVC BLANCO HUESO

Por positivos resultados, se sigue recurriendo a la técnica de pruebas piloto de la extrusión de este polímero, se llega a la temperatura óptima para la extrusión de un filamento limpio y con un diámetro de 1.75mm. En las siguientes tablas se observan las temperaturas implementadas para este filamento y las velocidades de tornillo como del carrete.

Temperaturas de resistencias	
R	°C
1	160
2	150
3	140
4	140

Tabla 6. Temperaturas de resistencias.

Velocidad de carrete	
RPM	
324	
Velocidad de tornillo	
1	5
2	6
3	7
4	8
9	

Tabla 7. Velocidades

Se adjuntan las fotos donde se evidencian estas temperaturas y las velocidades utilizadas en la máquina. Evidenciándose también la medida del filamento en este carrete al final de las ilustraciones.



Ilustración 41 Temperaturas y velocidad PVC BLANCO HUESO.



*Ilustración 42 Velocidad de tornillo PVC BLANCO HUESO*



*Ilustración 43 Carrete PVC BLANCO HUESO.*

### 10.3. Impresión de probetas para ensayo de tensión.

Para la elaboración de las probetas y lo ensayos de tensión, se tomó como referencia la norma ASTM Compass suministrada por la biblioteca de la universidad pontificia bolivariana.

La norma ASTM D638-22, denominada “Método de prueba estándar para las propiedades de tracción en los plásticos”. Indicando que este diseñado para producir datos de propiedades de tracción para el control y especificación de materiales plásticos. Las dimensiones de la probeta están denominadas por materiales rígidos y semirrígidos o materiales no rígidos, según esto, se denominan por diferentes tipos como se puede observar en la siguiente imagen.

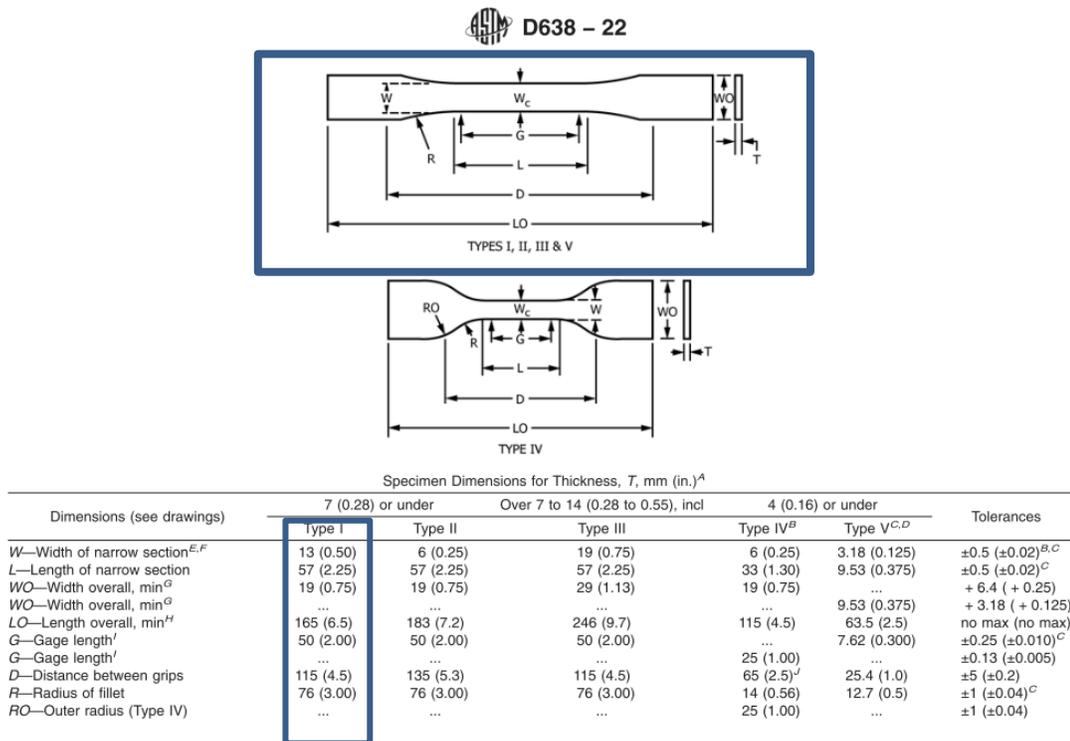
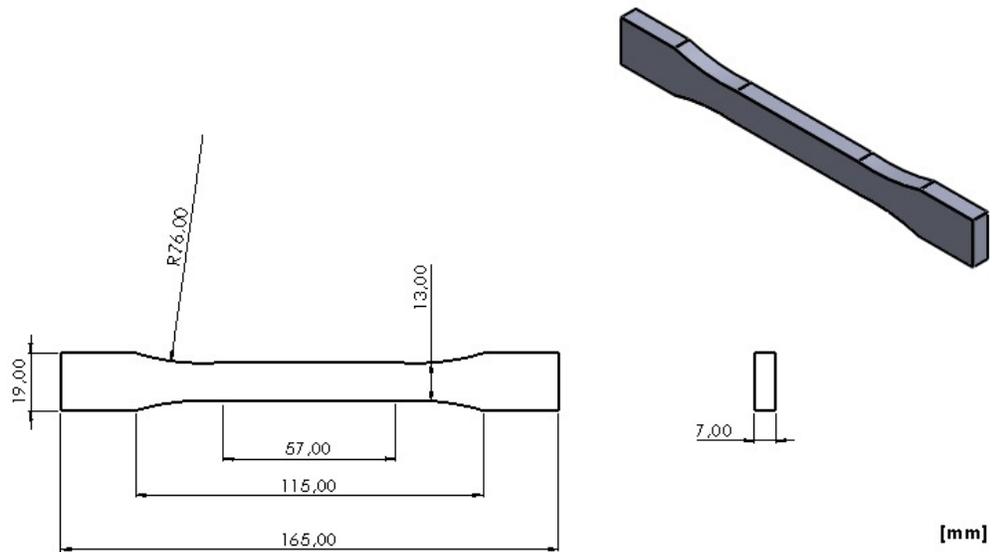


Ilustración 44 Medidas de probetas según tipo.

En este caso, para las pruebas se escogió el apartado de materiales Rígidos y semirrígidos, según la norma, para estos materiales, es recomendable escoger las medidas del tipo 1, siendo así, se realizaron las probetas con las siguientes medidas.



*Ilustración 45 Medidas de probetas*

Las propiedades de tracción varían con la preparación de la muestra y con la velocidad y el entorno de la prueba. En consecuencia, cuando se deseen resultados comparativos precisos, estos deben controlarse cuidadosamente.

Teniendo clara las medidas de las probetas de tensión, se procedió a la siguiente fase, la cual implica imprimir dichas probetas en la impresora 3D de la universidad con los 3 diferentes filamentos obtenidos. Tras varios intentos fallidos de impresión, e investigación a fondo de la impresora 3D (Makerbot Replicator) se descartó el diámetro de los filamentos ya que estos estaban en correcto estado (1.75 mm), y se llega a la conclusión, que no se podrá imprimir estas probetas en la universidad, ya que esta impresora, solo permite la impresión de filamentos PLA por su tipo de boquilla extrusora. Los filamentos PLA son rígidos y de características menos resistentes que las de los materiales HDPE, PVC CRISTAL y PVC BLANCO HUESO, adicional a esto, los materiales de compuestos del PVC son flexibles, característica que tampoco permite dicha impresora puesto que, a la hora de ingresar el filamento a la boquilla, esta lo muele y no lo extruye. Se tuvieron en cuenta opciones como el reemplazo de la boquilla del extrusor de la impresora, así también como acoples para poder generar el paso del filamento por la boquilla, variantes que no tuvieron éxito por cuestión monetaria e inexistencia de adecuaciones.

Por tal motivo, el proceso de impresión se realizó con una impresora Creality Ender 3 V2 adquirida por los estudiantes. Esta impresora dio la facilidad de poder imprimir materiales flexibles y tener un desfase de 0.5 mm en el diámetro de los filamentos.

Teniendo en cuenta que las propiedades de tracción varían con la preparación de la muestra y con la velocidad y el entorno de la prueba. En consecuencia, cuando se deseen resultados comparativos precisos, estos factores deben controlarse cuidadosamente. El proceso de impresión se realizó con una impresora Creality Ender 3 V2 adquirida por los estudiantes. Esta impresora dio la facilidad de poder imprimir materiales flexibles y tener un desfase de 0.5 mm en el diámetro de los filamentos.



*Ilustración 46 impresora Creality Ender 3 v2.*

### **10.3.1. Impresión 3D HDPE:**

Este material fue complejo para realización de la impresión de las probetas, ya que el trabajo se realizaba a altas temperaturas y por su composición se enfría rápido, por ende, cuando la impresora se encontraba en proceso de impresión, el material se enfría y tiende a recogerse dejando sin opción para aplicar en las siguientes capas de material. Por consiguiente, se descartó este material para realizar las pruebas de tensión, sin embargo, se realizaron impresiones de pruebas con probetas pequeñas para comprobar el principio de este.

En la siguiente imagen se puede observar las probetas mencionadas anteriormente.



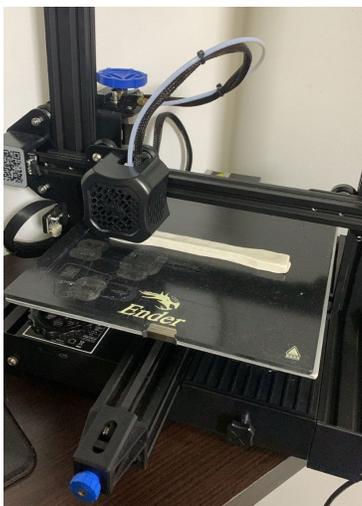
*Ilustración 47 Probetas en proceso de impresión*



*Ilustración 48 Probetas HDPE.*

### **10.3.2. Impresión 3D PVC blanco hueso.**

El resultado que se obtuvo con este material fue exitoso a la hora de imprimir. La impresión se realizó con una temperatura en el extrusor de 160°C y con una temperatura en la cama de 50°C, la velocidad que se utilizó en la impresora fue de 3 décimas (0.3mm). Ante esto, el material quedó con un 30% de su totalidad de masa. La composición de dicho material es flexible, por lo tanto, a la hora de imprimir se tomó los parámetros de los materiales flexibles como lo es el TPU y en este caso el PVC BLANCO HUESO. A continuación, se puede observar el proceso de la impresión.



*Ilustración 49 proceso de impresión PVC BLANCO HUESO.*



*Ilustración 50 Probetas PVC BLANCO HUESO.*

### **10.3.3. Impresión 3D PVC cristal.**

Con este material, se obtuvo éxito a la hora de imprimir. Sin embargo, este al ser un material más abrasivo, se tuvieron algunas precauciones con las temperaturas del extrusor y la cama de la impresora. La impresión se llevó a cabo con una temperatura de 170°C en el extrusor y entre 50-60°C en la cama de la impresora. La composición de este material igualmente es flexible y la velocidad a la que se hizo esta impresión fue la misma de 3 décimas (0.3mm), esto con el fin de que todas las probetas tuvieran la misma composición del 30% en masa. En las siguientes imágenes se puede observar el proceso de impresión.



*Ilustración 51 Proceso de impresión PVC CRISTAL.*



*Ilustración 52 Probetas PVC CRISTAL.*

#### **10.4 Ensayo de tensión.**

Para el ensayo de tensión se utilizó la máquina universal ubicada en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Así mismo, se tomaron como referencia la norma ASTM D638-22, la cual ayudó a parametrizar las medidas de las probetas y la velocidad accionada para las mordazas de la máquina universal. En la siguiente tabla se observan los parámetros de velocidades utilizadas para la prueba de tensión.

Classification <sup>B</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain <sup>C</sup> Rate at Start of Test, mm/mm·min (in./in.·min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
	500 (20) ± 10 %	10	
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
	50 (2) ± 10 %	1.5	
Nonrigid	V	500 (20) ± 10 %	15
		1 (0.05) ± 25 %	0.1
	10 (0.5) ± 25 %	1	
	III	100 (5) ± 25 %	10
	50 (2) ± 10 %	1	
IV	500 (20) ± 10 %	10	
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

*Ilustración 53 Velocidades según material.*

Para las probetas realizadas con las medidas del tipo 1 de materiales PVC BLANCO HUESO y PVC CRISTAL, se deben hacer las pruebas con una velocidad de 5 mm/min, sin embargo, teniendo en cuenta que el material al que se le estaba haciendo la prueba era experimental, se realizaron las pruebas en un rango de velocidades entre 5mm/min y 15mm/min. Teniendo en cuenta los datos, se procede a realizar las pruebas de tensión en 3 probetas de los 2 materiales anteriormente mencionados.

Los ensayos de tracción de las probetas obtenidas a partir del material PVC color blanco hueso y PVC cristal se realizaron en la maquina universal ubicada en la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga. Analizando los resultados de las primeras probetas PVC blanco hueso se observó una resistencia a la tensión (carga) de 250N a 260N aproximadamente y una extensión de 130 a 140 mm aproximadamente.

La velocidad de la primera probeta es de 5mm/s con tiempo de rotura de 30 minutos, la probeta 2 y 3 tienen una velocidad de 10mm/s con tiempo de rotura de 14 minutos y 13 minutos respectivamente. En la siguiente gráfica se evidencian los datos ilustrados, continuo a esto se muestran las 3 probetas ya finalizadas las pruebas de tensión.

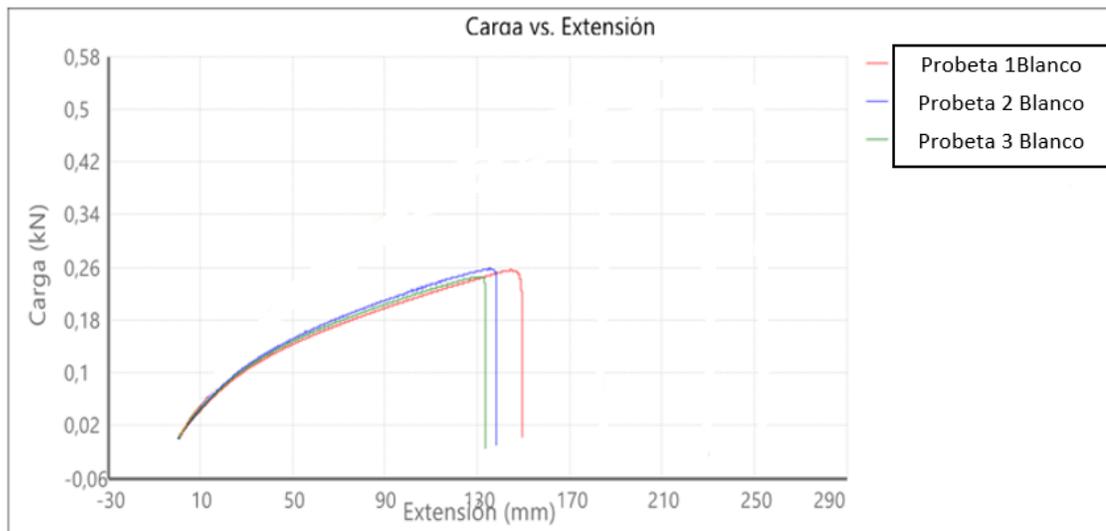


Gráfico 1: ensayos PVC blanco hueso.



Ilustración 54 Probetas con ensayo de tensión finalizado.

De igual manera, se analizó los resultados de las probetas PVC cristal y se observó una resistencia a la tensión (carga) de 500N a 550N aproximadamente y una extensión de 180 mm a 250mm aproximadamente. La velocidad de la primera probeta es de 10mm/s con tiempo de rotura de 25 minutos, la probeta 2 y 3 tienen una velocidad de 15mm/s con tiempo de rotura de 15 minutos y 12 minutos respectivamente como se ilustra en la siguiente gráfica, se evidencia también en la ilustración las probetas con el ensayo de tensión finalizado.

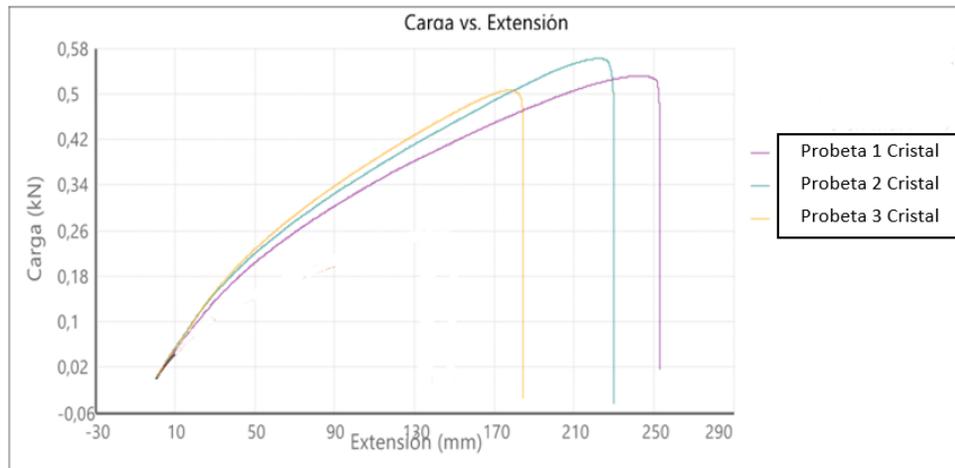
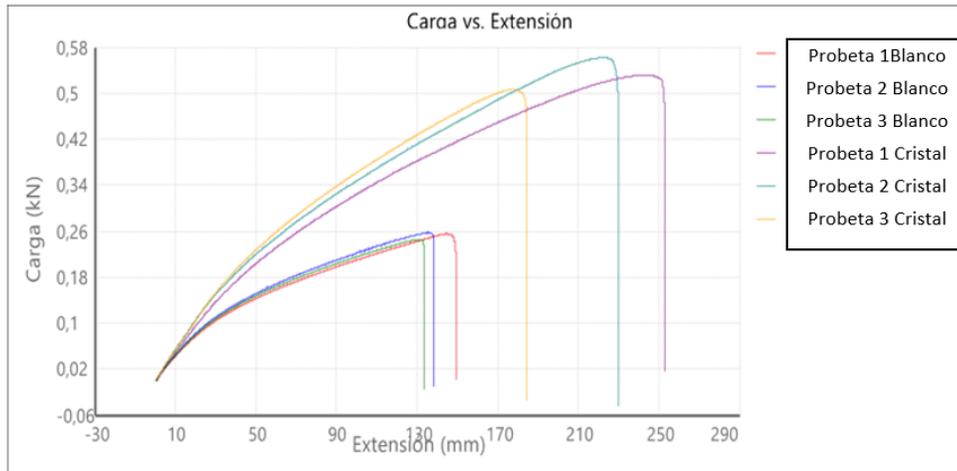


Gráfico 2: Ensayo PVC cristal



Ilustración 55 Probetas con ensayo de tensión finalizado.

Si se compara los dos materiales en una sola gráfica, se obtiene la información ilustrada en la siguiente gráfica.



Gráfica 3. Ensayos de tensión PVC blanco hueso y PVC cristal.

Con los anteriores resultados se concluye que las probetas de PVC cristal resisten aproximadamente el doble de carga a comparación de las probetas de PVC blanco hueso, así mismo, las probetas de PVC cristal presentan una deformación de aproximadamente 250mm antes de la rotura y en las probetas de PVC blanco hueso es de 130 mm aproximadamente, esto vendría siendo casi la mitad del soporte. En la comparativa del tiempo, observamos que la rotura de las diferentes probetas se llega a concluir que el material PVC cristal tiene una velocidad de 10mm/s esto en 25min es casi el doble a el material PVC blanco hueso que es de 14 min.

## 11. CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como duración aproximadamente 6 meses, llegando así al final con éxito en cada uno de los procedimientos hechos. Principalmente se realizaron adecuaciones a la máquina extrusora por medio del mejoramiento del sistema de refrigeración, de la base soporte, del sistema de embobinado y de la boquilla de la extrusora, dando como resultado una obtención de un filamento continuo, limpio y con la medida exacta requerida, también se observa una mejor estabilidad y ergonomía al operario a la hora de tener la máquina en funcionamiento, mitigando así los riesgos tanto para él, como para el entorno de trabajo, no obstante, a la hora de mejorar el embobinado se disminuye el tiempo de trabajo empleado para la utilización del filamento. Continuo a esto, se realizaron filamentos para impresora 3D con tres polímeros termoestables; HDPE, PVC CRISTAL y PVC BLANCO HUESO, obteniendo como resultado los parámetros a utilizar por el operario para los diferentes tipos de polímeros, siendo el HDPE un material rígido y los compuestos del PVC flexibles.

A partir de los filamentos obtenidos, se realizaron impresiones 3D con estos materiales, sin embargo, las impresiones no se pudieron realizar en la universidad, dado que la impresora (Makerbot Replicator) no permite imprimir con filamentos diferentes al PLA, esto porque la boquilla extrusora de esta impresora 3D era muy abrasiva y tendía a moler los demás filamentos impidiendo la impresión de estos, dado que el PLA es un material menos resistente con respecto al HDPE y a los compuestos del PVC, no obstante, se recurrió a la obtención de una impresora Creality Ender 3 V2 para la realización de la impresión de las probetas de tensión, teniendo como resultado la obtención de 5 probetas de cada material. Dado lo observado durante la impresión de probetas de cada filamento, se decide descartar las probetas del material HDPE por sus propiedades mecánicas, ya que, a la hora de la impresión, este tendía a enfriarse muy rápido durante la aplicación de las diferentes capas de impresión, concluyendo que este material no es óptimo para su impresión 3D sino para un proceso de inyección.

Finalmente, las 5 probetas obtenidas de cada material; PVC CRISTAL y PVC BLANCO HUESO, fueron sometidas a las pruebas de tensión donde se realizó la caracterización y se obtuvo que el material PVC CRISTAL soporta el doble de carga comparada con el material PVC BLANCO HUESO y la deformación presentada en los dos materiales, se pudo concluir que las probetas de PVC CRISTAL presentan una deformación mayor a la deformación de las probetas de PVC BLANCO HUESO, lo cual es casi la mitad, por lo tanto, es recomendable el compuesto de PVC CRISTAL para una resistencia mayor con respecto al PVC BLANCO HUESO.

## 12. REFERENCIAS

- [1] Dynapro, «Dynapro 3D,» 16 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://dynapro3d.com/la-impresion-3d-reciclaje-del-plastico-vez-mas-cerca/>. [Ultimo acceso: 2022].
- [2] L. Artégana Medina, «Riull,» 07 2015. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/user/Downloads/Fabricacion%20de%20filamentos%20para%20impresora%203D%20a%20partir%20de%20materiales%20recicladospdf..>
- [3] R. N. Parra Brito , Diseño de extrusora de filamento para impresion 3D a partir de plasticos reciclados, Santiago -Chile , 2017.
- [4] M. d. I. A. Corzo Cuesta , Diseño e implementación de una máquina extrusora para investigación en laboratorio, Mexico , 2019.
- [5] O. J. Cutipa Mamani y E. A. Rodriguez Flores , Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa., Arequipa, 2020.
- [6] IMPRESORAS3D.COM, «Impresoras3D.com,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>. .
- [7] GCFGlobal , «GCFGlobal,» [En línea]. Available: <https://edu.gcfglobal.org/es/cultura-tecnologica/que-son-las-aplicaciones-o-programas/1/>.
- [8] Tintas y Toner Compatibles, «Tintas y Toner Compatibles,» [En línea]. Available: <https://www.tintasytonercompatibles.es/>.
- [9] Clase Construcción y estructura Náutica , Clase Construcción y estructura Náutica , 2015. [En línea]. Available: [https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase\\_3\\_construcci%C3%B3n\\_1\\_n%C3%A1utica\\_2015\\_HDPE.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d4/Clase_3_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_HDPE.pdf).
- [10] PET PROCESSING - EXTRUSION, «Plastic Technology,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/whyand-howto-baseline-your-extruder>.
- [11] G. H. Acuña Fonseca y M. E. Salamanca Vanega , «DOCPLAYER.ES,» 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/202335855-Diseno-y-construccion-de-una-maquina-extrusora-para-la-%20fabricacion-de-filamentos-termoplasticos-para-impresora-3d.html>.
- [12] R. N. Parra Brito , Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plasticos reciclables., Santiago- Chile , 2017.