



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS**  
**APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**  
**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TEMA:**  
**“SISTEMA DE TRANSPORTE CONTINUO EN LA FABRICACIÓN**  
**DE PROTOTIPOS CON UNA IMPRESORA 3D”**

**Línea de investigación:** Manufactura

**Autor:** Carlos Andres Benavides Cardenas

**Director:** PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

Ibarra-Ecuador  
2023



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1725550600		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benavides Cárdenas Carlos Andrés		
DIRECCIÓN:	Bartolomé García y Francisco Bonilla, Ibarra.		
EMAIL:	carlos.and.car@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0978980646

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE TRANSPORTE CONTINUO EN LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS CON UNA IMPRESORA 3D
AUTOR (ES):	Carlos Andrés Benavides Cárdenas
FECHA: DD/MM/AAAA	02/08/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 2 días del mes de Agosto de 2023

EL AUTOR:

(Firma)

Nombre: Carlos Benavides

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTERGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 07 de Julio de 2023

**GAMEZ APARICIO BRIZEIDA NOHEMI**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f)   
.....  
**GAMEZ APARICIO BRIZEIDA NOHEMI**  
C.C.: 1750387303

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi mamá ROSA GUADALUPE CARDENAS a mis hermanas Katy, Majo y al miembro más pequeño de la casa Luk que han sabido estar a su manera para mí en todo momento.

En cada paso que doy ustedes son mi suelo las amo.

Y de manera muy inusual quiero dedicar este trabajo al niño que alguna vez fui; aquel niño que anhelaba el conocimiento y la invención.

Que mis decisiones me lleven por más lugares que anhelé y que el paso del tiempo no me haga perder de vista la felicidad del corazón.

*Carlos Andres Benavides*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que estuvieron desde el inicio de este ciclo, y con quienes he compartido mucho de mi vida, para ustedes que con cada acto han contribuido para que llegue a este momento. Es así como agradezco a mi grupo de amigos dentro y fuera de la Universidad.

A mi padre Carlos Benavides que gracias a su esfuerzo hoy por hoy me encuentro preparado para avanzar hacia una nueva etapa en mi vida

Agradezco de todo corazón a mi Prima Mayra Benítez quien en mis peores momentos me ha reconfortado como una madre más y quien no ha dejado de apoyarme en cada uno de sus momentos.

Un agradecimiento especial al grupo de Cheerleader LEONES que me acogieron como uno más de sus deportistas. mi estancia fue corta, pero el aprendizaje y el apoyo de ciertas personas me han ayudado en el culmino de este proceso.

## **RESUMEN**

Actualmente, las impresoras 3D son utilizadas en el desarrollo de una gran variedad de elementos. Una de las limitaciones de los modelos básicos se basa en la longitud de los elementos que pueden imprimir 200 mm. Con base a esta necesidad, se presenta la implementación de un sistema para la fabricación continua de piezas empleando una impresora 3D. Para el desarrollo de la solución se realizaron visitas técnicas a la empresa SafeMarket. En este ámbito se identificaron los problemas que ocurren en una impresora convencional y la empresa solicitó las especificaciones que debía cumplir la solución. Partiendo de esas condiciones y utilizando conocimientos de diseño de manufactura, en sinergia con cálculos estructurales, se diseñó un sistema de impresión acoplado a un modelo de impresora 3D comercial. Este sistema no altera considerablemente las dimensiones de la impresora, permitiendo la fabricación de piezas de manera continua sin la intervención de un operario logrando una fabricación en serie. En términos de tiempo, se obtuvo una reducción, para la empresa, de hasta 4 minutos en comparación con la impresión de piezas en la impresora convencional. Adicionalmente, el costo del sistema implementado es 60% inferior respecto al modelo comercial que cumple la misma función. Finalmente, uno de los mayores beneficios que ofrece el sistema adaptado a la impresora es la capacidad de poder desarrollar piezas de gran longitud aproximadamente hasta los 700 mm.

Palabras clave: impresora 3D, manufactura, longitud, fabricación.

## **ABSTRACT**

Currently, 3D printers are used in the development of a wide variety of elements. One of the limitations of the basic models is based on the length of the elements that can print 200 mm. Based on this need, the implementation of a system for the continuous manufacturing of parts using a 3D printer is presented. For the development of the solution, technical visits were made to SafeMarket. In this area, the problems that occur in a conventional printer were identified and the company requested the specifications to be met by the solution. Based on these conditions and using manufacturing design knowledge, in synergy with structural calculations, a printing system coupled to a commercial 3D printer model was designed. This system does not considerably alter the dimensions of the printer, allowing the manufacture of parts continuously without the intervention of an operator, achieving a serial production. In terms of time, a reduction of up to 4 minutes was obtained for the company compared to printing parts on a conventional printer. In addition, the cost of the implemented system is 60% lower than the commercial model that performs the same function. Finally, one of the major benefits offered by the system adapted to the printer is the ability to develop long parts up to 700 mm.

Keywords: 3D printer, manufacturing, length, fabrication, fabrication.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN .....	13
1.1	Descripción del Problema .....	13
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo general .....	14
1.2.2	Objetivos específicos .....	14
1.3	Justificación .....	14
1.4	Alcance .....	15
2	CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL.....	16
2.1	Antecedentes .....	16
2.1.1	Diseño y construcción de una impresora 3D.....	16
2.1.2	Impresión con varios extrusores .....	17
2.1.3	Impresión 3D con grado de inclinación.....	17
2.1.4	Impresión continua dentro de la industria automotriz.....	18
2.2	Bases Teóricas .....	18
2.2.1	Impresión 3D .....	18
2.2.2	Impresora 3D .....	22
2.2.3	Componentes de una impresora 3D.....	24
3	CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO .....	35
3.1	Modelo de la investigación .....	35
3.2	Diseño de la Investigación.....	35
3.2.1	Identificar todos los aspectos referentes a la impresora 3D modelo Artillery Hornet.....	36
3.2.2	Diseñar el mecanismo para impresión continua adaptado al modelo Artillery Hornet.....	37
3.2.3	Construir el mecanismo adaptable a la impresora Artillery Hornet .....	37
3.2.4	Evaluar el funcionamiento del mecanismo mediante simulación .....	38
4	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1	Especificaciones del Sistema a Diseñar .....	39
4.2	Planteamiento de Alternativas de Solución .....	40
4.3	Especificaciones del Sistema Diseñado .....	44
4.4	Diseño del Sistema a implementar.....	45
4.4.1	Soportes .....	46
4.4.2	Cama caliente .....	56

4.4.3	Extrusor .....	61
4.4.4	Bases.....	64
4.4.5	Banda transportadora.....	67
4.4.6	Chasis .....	77
4.4.7	Cambio de firmware .....	78
4.5	Construcción y Ensamblaje. ....	80
4.5.1	Parámetros de configuración en el laminador .....	80
4.6	Análisis de Costos.....	88
4.7	Pruebas de Funcionamiento .....	90
5	CONCLUSIONES .....	96
6	RECOMENDACIONES .....	98
7	REFERENCIAS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1: Propiedades físicas del PLA+ .....	46
Tabla 4. 2: Peso de los componentes ejes “X-Z” .....	49
Tabla 4. 3: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad	56
Tabla 4. 4: Peso de componentes de la estructura de la cama caliente.....	57
Tabla 4. 5: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad	61
Tabla 4. 6 Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad .	64
Tabla 4. 7: Detalle de peso del modelo final .....	65
Tabla 4. 8: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad	67
Tabla 4. 9: Especificaciones generales del motor.....	70
Tabla 4. 10: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos .....	71
Tabla 4. 11: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos .....	74
Tabla 4. 12: Propiedades físicas AISI 1018 .....	75
Tabla 4. 13: Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos .....	76
Tabla 4. 14: Detalles de las configuraciones de los motores de los ejes finales .....	79
Tabla 4. 15: Tabla de comparación de parámetros de calidades de impresión .....	81
Tabla 4. 16: Comparación tiempo material .....	81
Tabla 4. 17: Perfil personalizado para la impresión .....	82
Tabla 4. 18: Comparación tiempo y material ocupado por los perfiles de calidad .....	82
Tabla 4. 19: Costo por hora de impresión para cada modelo de impresión .....	88
Tabla 4. 20 Precio por metro de material utilizado .....	89
Tabla 4. 21: Precio de la hora de trabajo .....	89
Tabla 4. 22: Detalle de precio de fabricación por pieza .....	89
Tabla 4. 23: Sumatoria final del costo del sistema .....	90
Tabla 4. 24: Tabla comparativa .....	95
Tabla 4. 26: Resultados finales.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: proceso de deposición de material fundido [11] .....	20
Figura 2. 2: Esquema general del proceso de impresión 3D por FDM [15].....	21
figura 2. 3: tecnología FDM [16] .....	21
figura 2. 4: impresora 3D cartesiana.....	23
figura 2. 5: impresora 3D delta [11] .....	23
figura 2. 6: impresora 3D polar[11].....	24
figura 2. 7: partes de una impresora 3D[18].....	25
figura 2. 8: estructura de MDF para una impresora 3D[18] .....	26
figura 2. 9: estructura hecha de paneles de metacrilato para una impresora 3D[18].....	26
figura 2. 10: impresora 3D con estructura de perfiles de aluminio[18].....	27
figura 2. 11: Sistema de movimiento conformado por barras lisas .....	28
figura 2. 12: ruedas excéntricas y perfil de aluminio .....	29
figura 2. 13: extrusor de una impresora 3D.....	30
figura 2. 14: Cama caliente o sustrato[18] .....	32
figura 2. 15: motor paso a paso .....	32
¿figura 2. 16: sistema directo y Bowden .....	33
figura 2. 17: placa base .....	33
figura 2. 18: HMI.....	34
figura 2. 19: banda transportadora.....	34
Figura 4. 1: Despiece y enumeración del sistema .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 4. 2: modelo 3D soporte en ángulo .....	47
Figura 4. 3: Acople del soporte en ángulo.....	47
Figura 4. 4: Modelo 3D pilar soporte .....	48
Figura 4. 5: Acople del pilar soporte .....	48
Figura 4. 6: Ensamble de soportes.....	49
Figura 4. 7: Diagrama de fuerzas de soportes .....	50
Figura 4. 8: Calculo de longitud de L.....	51
Figura 4. 9: Descomposición de la fuerza F .....	52
Figura 4. 10: Reacciones en los apoyos.....	53
Figura 4. 11: descomposición de $R_{Ay}$ .....	53
Figura 4. 12: Análisis estático de soporte en ángulo .....	54
Figura 4. 13: Descomponían fuerza $B_y$ .....	55
Figura 4. 14: Análisis estático del pilar soporte .....	55
Figura 4. 15: Estructura de la cama caliente.....	57
Figura 4. 16: Condiciones de contorno; puntos de fijación y fuerzas .....	57
Figura 4. 17: Aplicación de la carga a lo largo de la cama calefactora.....	58
Figura 4. 18: Representación de las fuerzras .....	58
Figura 4. 19: Análisis estático del pilar soporte .....	60
Figura 4. 20: Soporte del Kit de Extrusor.....	61
Figura 4. 21: Soporte del Kit de Extrusor.....	62
Figura 4. 22: Cargas y puntos de apoyo sobre la abrazadera .....	62
Figura 4. 23: representación de las cargas .....	63

Figura 4. 24: Análisis estático de abrazadera .....	63
Figura 4. 25: Ensamble de bases .....	64
Figura 4. 26: Representación de las cargas.....	65
Figura 4. 27: Distribución de fuerzas .....	66
Figura 4. 28 Análisis estatico bases .....	67
Figura 4. 29: Componentes del sistema de Banda trasportadora parte delantera .....	68
Figura 4. 30: Estructura banda trasportadora parte trasera .....	69
Figura 4. 31: Tambor acoplado al motor y eje de transmisión .....	69
Figura 4. 32 Análisis tambor .....	70
Figura 4. 33: Ejes de banda; a) eje de banda trasero b) eje de banda delantero .....	71
Figura 4. 34: Eje de banda delantero .....	72
Figura 4. 35: Representación del torque en el eje de banda .....	72
Figura 4. 36: Aplicación de fuerzas y definición de apoyos sobre eje de banda.....	73
Figura 4. 37: Análisis eje banda .....	74
Figura 4. 38: Eje de transmisión y demás componentes.....	75
Figura 4. 39: Puntos de apoyo y fuerzas sobre eje de transmisión .....	76
Figura 4. 40: Análisis eje de transmisión .....	76
Figura 4. 41: Soporte de eje de banda ensamblado .....	77
Figura 4. 42: Posición de ángulo para la sujeción de las piezas .....	78
Figura 4. 43: Placa Madre Ruby 32 Bits .....	79
Figura 4. 44: detalles de cambios en el firmware .....	80
Figura 4. 45: laminado del soporte en ángulo .....	81
Figura 4. 46: laminado de piezas para construcción.....	83
Figura 4. 47: laminado de piezas grandes.....	84
Figura 4. 48: Impresora 3D desarmada .....	84
Figura 4. 49 : Ensamble de las bases .....	85
Figura 4. 50: Ensamble de la cama térmica .....	85
Figura 4. 51: Ensamble de los soportes .....	86
Figura 4. 52: Ensamble parte delantera de la banda .....	87
Figura 4. 53: Ensamble parte trasera de la banda .....	87
Figura 4. 54: ensamble partes finales .....	88
Figura 4. 55: Tensión de la banda trasportadora .....	91
Figura 4. 56: Sujetadores de Banda .....	92
Figura 4. 57: Kit de Extrusor sin ventilador .....	92
Figura 4. 58: interferencia del cable de datos y el motor del eje Z .....	93
Figura 4. 59: modelo de pieza a imprimir. ....	94
Figura 4. 60: Comparación de tiempo de fabricación .....	95

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción del Problema

En la industria manufacturera son muy comunes las modificaciones y perfeccionamientos de equipos o máquinas para mejorar procesos, ya que se trata de un área en continua expansión e innovación de mejora de procesos y controles de calidad [1].

Actualmente, uno de los equipos empleados en la industria de la manufactura son las impresoras 3D. La técnica de impresión 3D o prototipado rápido que ha existido desde hace 30 años, se basa en el proceso de juntar varias capas de impresión en 2D en un solo modelo. En Ecuador las impresoras 3D se han ido incorporando de una manera lenta en los procesos de fabricación, pero cada vez van ganando su lugar en los laboratorios de investigación de universidades, así como en el campo industrial[2].

Una de las limitaciones que tienen las impresoras 3D convencionales, usadas en laboratorios o centros académicos, es la restringida área de impresión que estas poseen; siendo el área de impresión más común la de 200mm x 200mm x 200mm. Esto trae como consecuencia la imposibilidad de imprimir piezas de mayor magnitud a las que posee la base. Cuando se requiere imprimir una pieza cuyas dimensiones superen el tamaño de la bandeja de impresión, se opta por dividir la pieza en varias partes; posteriormente, se unen con pegamento y se utilizan varias técnicas para eliminar las marcas de la unión. Lo anterior genera un proceso lento y en consecuencia muy costoso. Otra de las limitaciones es que con la configuración actual solo es posible fabricar una pieza o conjunto de piezas de manera pausada y no continua como se requiere muchas veces[3].

Las impresoras 3D más económicas del mercado tienen un costo aproximado de 350 USD. Existen impresoras que tienen la capacidad de producir cientos de piezas de tamaño  $10\text{ cm}^3$ , pero su precio es de 1.100,00 USD [4]. En este caso si se adicionan los gastos de

importación se alcanzan costos que oscilan alrededor de los 2.500 USD; lo cual resulta casi imposible adquirir para muchos clientes.

La empresa SafeMarket ubicada en la ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura, se dedica a la innovación de sistemas adaptables a las impresoras de prototipado rápido. Para estos equipos se ha detectado la necesidad de incorporar un sistema que agilice el proceso de fabricación de piezas de manera continua, o a su vez imprimir piezas de gran longitud. Dado lo anterior, el Centro de Investigación en Sistemas Inteligentes de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica propone el desarrollo de una investigación aplicada basada en el diseño, construcción y pruebas de un dispositivo adaptable al modelo de impresora 3D modelo Artillery Hornet en la empresa SafeMarket.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Implementar un sistema para la impresión continua para la fabricación de piezas de manera continua.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar todos los aspectos referentes a la impresora 3D.
- Diseñar el mecanismo para impresión continua adaptado a la impresora 3D.
- Construir el mecanismo adaptable a la impresora 3D.
- Evaluar el funcionamiento del sistema.

## **1.3 Justificación**

La implementación de un sistema de transporte continuo en la fabricación de prototipos con una impresora 3D traería beneficios en el ámbito económico; ya que se dispondría de un producto de fabricación nacional a bajo costo que podría estar al alcance de muchas personas. Adicionalmente, se evitarían los problemas que se presentan con el mantenimiento de los equipos importados, que al momento de sufrir averías o daños los

componentes no disponen inmediatamente de repuestos y además tienen un costo de importación agregado.

En cuanto a producción, con la implementación de un sistema de impresión continua con la banda transportadora, se podría aumentar la velocidad de fabricación de piezas de ciertas dimensiones. Dado lo anterior, se eliminaría el tedioso trabajo del operario de tener que retirar, en cada ciclo de impresión, las piezas de la cama caliente para volver a empezar con el proceso. De esta manera, se aumentaría la productividad sin necesidad de realizar grandes inversiones.

Finalmente, con los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera se lograría el desarrollo de soluciones que satisfagan las necesidades de los clientes, cuyos resultados podrán servir de base para trabajos futuros dentro y fuera del Centro de Investigación en Sistemas Inteligentes de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

#### **1.4 Alcance**

Se diseñará un sistema que permita a la impresora, modelo Artillery Hornet, transportar las piezas terminadas, hacia un lugar fuera del área de impresión para dar lugar a una nueva impresión; sin intervención e interrupción del proceso por parte del usuario. Posteriormente, se construirán las piezas requeridas, se ensamblarán de acuerdo con los planos correspondientes y finalmente, se llevarán a cabo las pruebas de funcionamiento.

## 2      **CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL**

### **2.1    Antecedentes**

#### **2.1.1    Diseño y construcción de una impresora 3D**

El diseño de un prototipo de impresora 3D que aplica la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida. Partiendo de la identificación de las diversas ramas del conocimiento de las diferentes técnicas de prototipado rápido que existen y que se usan, comparando una con la otra, para posteriormente seleccionar la alternativa más apropiada de acuerdo con los recursos técnicos y financieros con los que se cuentan. Haciendo uso también del conocimiento teórico de diseño de maquinaria para un diseño funcional, tomando como referencia modelos ya existentes y similares al resultado requerido. Como resultado final se obtiene después de comparar varias técnicas de prototipado rápido y verificar cual era la más adecuada para la aplicación que se requiere que el método de F.D.M (modelado por deposición fundida) es el más indicado. También se juntó una estructura de la impresora capaz de soportar los movimientos en los tres ejes requeridos para la impresión. La tarjeta Arduino Mega R3 es la que trabajará como cerebro del sistema[5].

Por otra parte, se conoce de la implementación de una impresora 3D de Control Numérico Computarizado (CNC) para la producción de prototipos de plástico que tecnificará un laboratorio de robótica, integrando conocimiento de varias áreas técnicas para la integración de los componentes que componen una impresora 3D. Dichos componentes fueron obtenidos en tiendas comerciales del exterior, para el caso de la estructura de la impresora 3D fue obtenida por partes para su ensamble posterior siendo así que los componentes eléctricos y de control, luego de un análisis de eficiencia y comparación de características , fueron adquiridos y programados en el caso de control

para el manejo de la impresora 3D haciendo uso de la rama de programación y control. Como resultado final se obtuvo una impresora 3D CNC que utiliza FDM para la impresión de piezas con el control de una tarjeta GT2560 y con la ayuda del software Cura para la preparación de los modelos para la impresión. Como observación se tiene que los inconvenientes encontrados alrededor del eje Z se deben a la calibración y el movimiento que genera los motores paso a paso en el mecanismo de transmisión de movimiento tornillo tuerca [6].

### **2.1.2 Impresión con varios extrusores**

El diseño de una Impresora 3D capaz de crear varios objetos simultáneamente, mediante el uso de múltiples extrusores modificados llamados extrusores remotos siendo una modificación del extrusor “Bowden “a su vez reduciendo el número de piezas que deben estar en constante movimiento. Adicionalmente, se sumó el uso de enconder en cada entrada de filamento. Para llevar a cabo el proceso, se modificó el movimiento de la cama térmica y el extrusor, inhabilitado el movimiento del extrusor para desprejar la masa de este mismo, y solo dejando libre el movimiento de la cama térmica. Finalmente, se obtuvo una impresora con cuatro (04) extrusores los cuales imprimían en una cama térmica remontadas, con el uso de dos motores diferentes para el movimiento de la coordenada Z. La misma es capaz de imprimir 4 piezas de forma simultáneamente con gran precisión y excelentes acabados de calidad [7].

### **2.1.3 Impresión 3D con grado de inclinación**

La impresión 3D continua para fabricación aditiva. Comparando la impresión 3D convencional y la impresión 3D continúa dando un nuevo enfoque al momento de recubrir el material particulado e imprimirlo en una superficie inclinada, para esto se llevó a cabo las consideraciones teóricas para las fuentes de distorsiones, las mismas que define el diseño y a su vez hace posible la producción sin ningún tiempo de inactividad. Como

resultado se obtuvo que la precisión de las piezas se ve afectada adicionalmente por el grosor del material en partículas no ligado bajo el área de construcción. La cantidad de material particulado no ligado es de naturaleza constructiva. Con el sistema de material actual, la impresión se realiza lo más cerca posible de la cinta transportadora. Adicionalmente, las piezas producidas por este nuevo método tienen suficiente precisión para el uso que se espera; pero varias consideraciones y configuraciones mostraron que las desviaciones angulares fueron causadas por impresiones en el sistema de alimentación [8].

#### **2.1.4 Impresión continua dentro de la industria automotriz**

El diseño de un sistema para impresora 3D de banda continua para la fabricación de piezas y prototipos de manera rápida dentro de la industria automotriz. Esta impresora fue diseñada a partir de un modelo de impresora de la marca Creality. Tomando en cuenta que dicha impresora iba ser de imprimir piezas de 2200x60x1000mm. Empleando la teoría de diseño mecánico y software de simulación para ingeniería se logró modificar un modelo de impresora ya existe que se adecue a los requerimientos para el trabajo. Como resultado obtuvo la disminución del tiempo de fabricación de piezas requeridos por la empresa de la industria automotriz a la quinta parte de lo que se tarda actualmente[4].

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Impresión 3D**

La impresión 3D es una técnica que se basa en modelos ya diseñados en software especial que define la forma de los objetos, para luego posteriormente mediante una impresora 3D fabricarlos, los materiales que actualmente se puede emplear para imprimir son muy diversos ya que existen polímeros espaciales, metales y demás aleaciones. Esta nueva tecnología trae como ventaja la creación de objetos tridimensionales empleado un

proceso aditivo cambiando el paradigma de los procesos que se conocían como procesos sustractivos[9] [10].

Una de las ventajas que tiene el proceso de impresión 3D es el de reciclaje, ya que los residuos de plásticos domésticos se pueden procesar para crear material de trabajo para la impresión 3D. también cabe mencionar que la impresión 3D ha avanzado en varios campos tales como la industria médica para la replicación de órganos mediante tejidos celulares. En canto al desarrollo humano ha permitido que una gran facilidad para la creación de pequeños talleres y los desarrolladores puedan materializar sus invenciones [10].

Los procesos más utilizados para la impresión 3D son la adición, la compactación, la estilográfica y la sintonización laser.

A pesar de existir varios procesos de impresión 3D, el principio bajo el cual trabajan es el mismo. Crear una pieza añadiendo una capa encima de la anterior hasta lograr la geometría deseada. Sin embargo, se podría dividir también dependiendo de la cual va a ser el uso que se desea dar al producto final, es así como existen también materiales los cuales dependiendo el método son adecuados o no.

Para el caso de utilizar un filamento de plástico fundido por un calentador y extruido por una boquilla es el principio de funcionamiento para el proceso de adición de material y se lo conoce como FFF (fabricación por filamento fundido) /FDM (modelado por deposición fundida).

Al utilizar una resina líquida que se solidificará por la acción de un rayo de luz (laser UV), es un proceso que normalmente se le denomina SLA (estereolitografía).

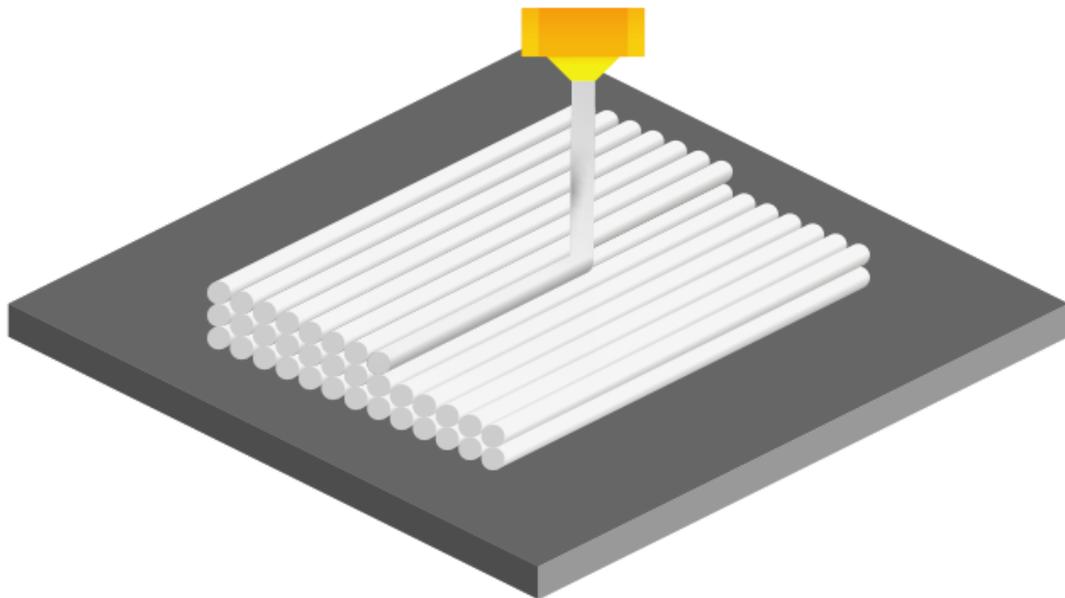
Cuando se utiliza polvo fino este mismo es sinterizado, es decir compactado dando así la forma requerida, se refiere a un proceso SLS (Sinterizado selectivo por láser)[11].

### **2.2.1.1 Impresión 3D por F.D.M**

El proceso de impresión 3D FDM mostrado en la figura 2.1, es el más común y popular debido a las grandes prestaciones económicas que trae consigo cabe mencionar que también que el manejo de las máquinas ocupadas en este proceso es fáciles de manejar y de obtener. Sin embargo, la característica que más destaca es la eficiencia de volumen de las máquinas con respecto al volumen de construcción dando como resultado una favorabilidad en cuanto a costo, simplicidad y versatilidad [12],[13].

**Figura 2.1**

*Proceso de deposición de material fundido [11]*



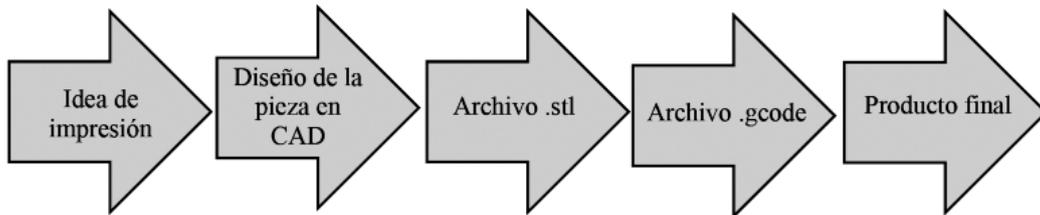
Crear un objeto, pieza o prototipo en 3D por FDM requiere principalmente de un fichero STL (formato estereolitografía) que expresándolo en términos matemáticos rebana y da orientación del modelo para que la máquina encargada de imprimir puede acatar el proceso de construcción Figura 2.2.

Para ello se utiliza un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) el cual genera como resultado el fichero STL. Lo que se usa es un programa de corte o laminación que procesa el archivo convirtiendo el diseño en instrucciones específicas para la máquina. En este punto de la fabricación es donde se da los parámetros de necesarios para

poder imprimir la pieza como la velocidad de impresión, tamaño del hilo, temperatura necesaria, altura de la capa etc. El laminador da como resultado un archivo en formato de código G el cual puede ser entendido por la máquina y se puede empezar con el proceso de construcción.[14][15].

**Figura 2.1**

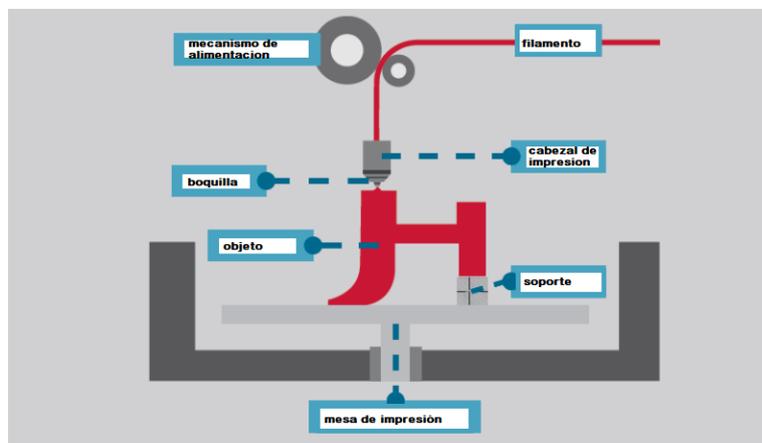
*Esquema general del proceso de impresión 3D por FDM [15].*



El proceso de construcción por FDM mostrada en la Figura 2.2 involucra un filamento de plástico que es alimentado hacia la boquilla donde el material es fundido y posteriormente pasa a la mesa de trabajo donde se deposita y empieza a crear el objeto. Tan pronto como toca la mesa de impresión el material se enfría y endurece este proceso se repite muchas veces y a mediada que acaba una capa la boquilla aumenta de altura para poder comenzar la siguiente capa. [16].

**Figura 2.2**

*Tecnología FDM [16]*



### **2.2.2 Impresora 3D**

Una impresora 3D es una máquina que fabrica piezas previamente modeladas en software CAD y que sirven para realizar replicas idénticas de otras piezas que ya existen o piezas totalmente nuevas para cada tecnología o proceso de impresión 3D existe también su tipo de impresora FDM, SLA, SLS. Una cosa que se debe recalcar que las impresoras 3D a diferencia de otras máquinas como un torno CNC tiene una curva de aprendizaje muy grande y la cual no depende de una formación profesional para el manejo de esta.

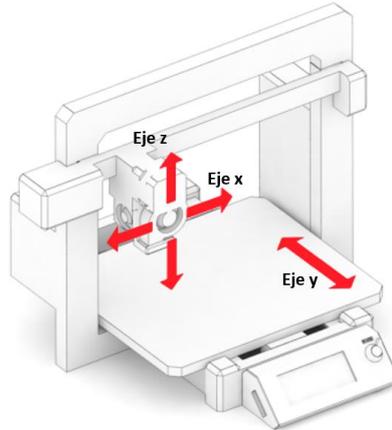
Dentro del FDM se cuenta con varios tipos de impresoras dadas los sistemas de referencia y como realizan el movimiento de los ejes en el espacio para poder realizar la pieza en 3D[17].

#### ***2.2.2.1 Impresoras 3D cartesianas***

En la figura 2.4 se muestra que las impresoras están constituidas por un sistema de barras laterales y una cama sobre la cual se crea el objeto, pero principalmente su nombre viene por el sistema de coordenadas XYZ. En donde el extrusor se mueve en dos ejes X Y Z, siendo Z la altura a la cual se sitúa el extrusor. Mientras que la base se mueve a lo largo del eje Y, estos movimientos combinados simultáneamente son los que dan como resultado la pieza con varias geometrías ya sea regulares o irregulares[11].

**Figura 2. 3**

*Impresora 3D cartesiana*



### 2.2.2.2 Impresora 3D delta

Son aquellas impresoras en las que el movimiento del aboquilla o extrusor se realiza controlado por tres brazos móviles que están sujetos al mismo. Una de las grandes ventajas que tiene esta impresora es el de gran volumen de impresión, pero para su correcto funcionamiento debe contar con un montaje y calibración precisos. Tiene una base fija en la cual se va depositando el material para dar forma a la pieza, mientras que el extrusor es el que está moviéndose en una combinación de movimientos lineales en cuanto a la altura y desplazamientos circulares de forma longitudinal tal y como se muestra en la figura 2.5[11].

**Figura 2. 4**

*Impresora 3D delta [11]*



### 2.2.2.3 Impresoras 3D polares

Este sistema es poco usado debido a que la preparación de la pieza a construir es muy complicada; sin embargo, el sistema en si es sencillo de construir. En la figura 2.6 se puede observar que su estructura está conformada por una base giratoria y un extrusor que se mueve de arriba hacia abajo y radialmente. Se basa en un sistema de coordenadas polares [11].

**Figura 2. 5**

*Impresora 3D polar[11]*



### 2.2.3 Componentes de una impresora 3D

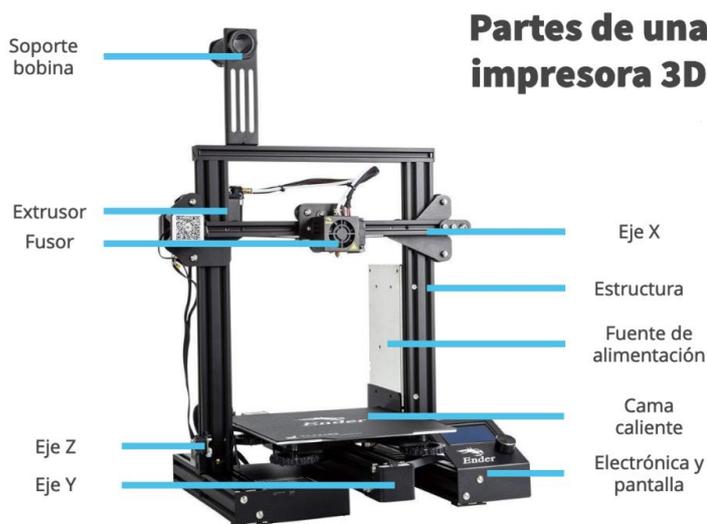
Como se muestra en la figura 2.7 los componentes de una impresora 3D se pueden clasificar en diferentes sistemas, que influyen en la calidad y fiabilidad de una impresora a la hora de fabricar una pieza o prototipo. También dependerá mucho del tipo de impresora con la que se vaya a realizar el proceso dado que al tener diferentes sistemas coordinados cambian los componentes como se observa en la figura 2.4, 2.5 y 2.6. entonces se deben considerar tres grandes aspectos:[18].

- La estructura, marca la rigidez de la impresora y las vibraciones que sufrirá cuando esté realizando una impresión.
- La mecánica, este factor es el cual determina que tan preciso y exacto se moverá el extrusor para realizar las piezas en esta sección se incluyen motores, ejes, husillo, correas.

- La extrusión, uno de los factores que más influye al momento de hablar de acabados para las impresiones es el de extrusión y en él se encuentra el sistema de alimentación, fusión del material.

**Figura 2. 6**

*Partes de una impresora 3D [18]*



### **2.2.3.1 Estructura**

Visto anteriormente en el documento es la primera parte y la más grande, está conformada por la base de la impresora y sobre la cual se colocan los demás elementos. El aspecto estructural es fundamental para obtener buenos resultados en las impresiones. Existen varios materiales sobre los cuales se realizan las el armazón, así como también las formas, incluso dentro del proceso de DFM existen variantes. Se mencionan los tipos por cada material [18].

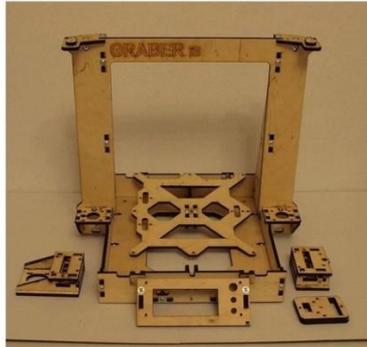
#### **2.2.3.1.1 Tablones de MDF**

En la figura 2.8 se muestra de los primeros modelos usados en la construcción de las impresoras 3D, carecen de rigidez y estabilidad sin contar que se debían usar tuercas y

pernos para el ensamblaje. Actualmente, este tipo de composición han quedado en desuso por los inconvenientes antes mencionados [19].

**Figura 2. 7**

*Estructura de MDF para una impresora 3d[18]*



### 2.2.3.1.2 Paneles de metacrilato

Es el sucesor de los tablonces de MDF, si bien es cierto que las estructuras de este material solían estar mecanizados con mucha precisión no daba la rigidez deseada; por lo tanto, el uso de esta etapa tiende a desaparecer [18]. En la figura 2.9 se puede visualizar los paneles de metacrilato

**Figura 2. 8**

*Estructura hecha de paneles de metacrilato para una impresora 3d[18]*



### 2.2.3.1.3 Perfiles de aluminio

Las estructuras con perfiles de aluminio son las más usadas hoy en día, es la opción más óptimas del mercado y su precio es accesible. El ensamble es muy fácil y solo requiere pocos tornillos y tuercas para hacerlo. Al tener una fabricación precisa no existe holguras en la composición del sistema por lo que los trabajos a realizarse en esta impresora están garantizados.[18]. En la figura 2.10 se muestra una impresora Ender 3 con perfiles de aluminio.

**Figura 2. 9**

*Impresora 3D con estructura de perfiles de aluminio[18]*



### 2.2.3.2 Movimiento

En esta sección se cubre todas las piezas cuya función es necesaria para guiar el movimiento de la impresora; Es decir para poder desplazar el cabezal tanto en los ejes XY y Z, y para ellos existen diferentes soluciones.[18].

#### 2.2.3.2.1 Varillas lisas y rodamientos

Se trata de una varilla lisa sobre la cual se desplaza las partes móviles de la impresora y estas mismas piezas están monadas sobre rodamientos de bolas por lo general de tipo LM8UU.La mayoría de estas varillas son de un acero inoxidable o acero cromado[18].

En la figura 2.11 se muestra el montaje de las varillas en la impresora 3D (ver flechas verdes).

**Figura 2.10**

*Sistema de movimiento conformado por barras lisas*



#### **2.2.3.2.2 Perfiles de aluminio y ruedas excéntricas**

Actualmente, la mayoría de las impresoras usan estas estructuras de perfiles de aluminio, que aprovechan los surcos que tienen los perfiles de aluminio para encajar unas ruedas excéntricas; las cuales hacen tracción y así logran mover las partes ya sea el cabezal o la cama de impresión. El único problema que existe de este método es el que las ruedas al ser excéntricas tienden a aflojarse con el tiempo y se debe estar ajustándolas y encontrando el punto óptimo entre estas y el perfil de aluminio [18]. En la figura 2.12 se muestra el sistema de las ruedas excéntricas y los perfiles de aluminio.

**Figura 2. 11**

*Ruedas excéntricas y perfil de aluminio*



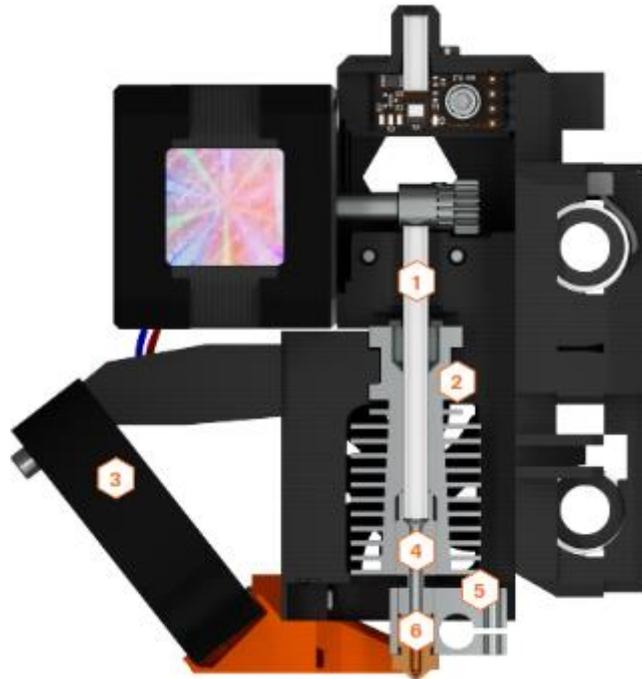
Estas alternativas cuentan con elementos comunes que se emplean para poder transmitir el movimiento del motor al elemento móvil, en este caso el cabezal.

### ***2.2.3.3 Extrusión***

El cabezal o extrusor es parte fundamental de la impresora 3D está diseñado para que el material sobre el cual se va a trabajar pase a través de él, a su vez que éste se encuentra a una temperatura lo suficientemente alta para que el material se derrita y pase así sin problemas a la cama de impresión. Cuenta con varias partes de metal debido a que es el material que mejor conduce el calor.

**Figura 2. 12**

*Extrusor de una impresora 3d*



En la figura 2.13 se observa el sistema de un extrusor, el cual consta de diferentes partes que guían el material hasta la salida de la boquilla para posteriormente depositarse en la cama caliente. Dichas partes son:

1. Tubo de teflón, el cual es guía del material para que no se desvíe dado que el material suele estar enrollado y tener torceduras.
2. Disipador, este tiene la función de disipar el calor con la ayuda de un ventilador y en contacto con el ambiente. Este debido a que si se llega acumular el calor se puede llegar a quemar las demás partes del sistema.
3. Ventilador de capa, en ocasiones el material fundido se encuentra a tan alta temperatura que se demora en enfriar y endurecer. Es ahí donde el ventilador de capa actúa para que este proceso de enfriamiento se produzca de manera más rápida y eficaz.

4. Puente térmico, es aquel que comunica la boquilla y el tubo de teflón. En este punto el calor se concentra está en contacto directo con el filamento. Dependiendo del material puede llegar a desde los 180° a los 270°.
5. Bloque calefactor, es el encargado de recibir a dos componentes muy importantes los cuales son el calefactor y el termistor. El uno se encarga de emitir calor y el otro es el sensor que arrojará la temperatura a la cual está el bloque.
6. Boquilla, es la parte terminal del sistema la cual estará en contacto directo con la cama caliente o con las capas del material depositado, dependiendo el diámetro de salida se logra detalles más finos y viceversa[11].

#### ***2.2.3.4 Base calefactable o sustrato***

Llamado comúnmente cama caliente, es uno de los componentes más grandes e importantes de una impresora 3D. Dado que sobre esta se deposita el material caliente y por ende se va construyendo el objeto. Un punto importante a tomar en cuenta es que, si la cama o sustrato no tiene una temperatura lo suficientemente alta para que el filamento se pegue, por diferencia de temperatura este se quedará en contacto mas no adherido lo cual a lo largo de la impresión causará un error y una mala impresión. Otro punto para considerar es el tipo de recubrimiento con el que el fabricante decidió cubrir, en base a esto puede aumentar la adherencia o empeorar, sin embargo, también existen factores tales como la altura y la calibración que determinan la adherencia del filamento hacia la cama caliente. El tamaño de este componente determina el área de impresión útil de la máquina[4], [11], [18], [20].

**Figura 2. 13**

*Cama caliente o sustrato[18]*



### **2.2.3.5 Motores paso a paso**

Los motores paso a paso son los encargados de dar los movimientos a los ejes tanto XY y Z los mismos están montados sobre la estructura principal de la máquina y comunican su potencia a través de correas poleas y rodamientos para que se mueva el extrusor y la cama caliente (ver figura 2.15).

**Figura 2. 14**

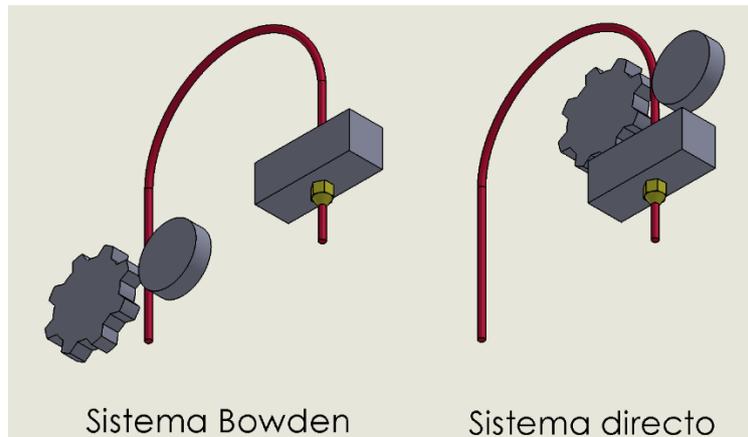
*Motor paso a paso*



Además, para que el filamento pueda ingresar a conducto de teflón debe ser empujado por un motor. Dado un sistema de alimentación directa como se muestra en la figura 2.13 el motor estar muy cerca del extrusor. Por otra parte, está presente el sistema de alimentación “Bowden” mostrado en la figura 2.16, el cual permite conducir el filamento a través de un teflón muy largo y que la distancia va desde el borde de los perfiles hasta el extrusor[21].

**Figura 2. 15**

*Sistema directo y Bowden*



### **2.2.3.6 Tarjeta Electrónica de control**

La placa base es el componente electrónico con circuitos integrados que controla toda la impresora (ver Figura 2.17). Su principal función es leer los archivos de instrucciones (G-code) y controlar los motores, base calefactable y calentador según las instrucciones que se encuentran dentro del G-code [11].

**Figura 2. 16**

*Placa base*



### **2.2.3.7 Interfaz Humano Máquina**

La interfaz Hombre Máquina (Human-Machine Interface- HMI), es un sistema que permite al operador interactuar con la máquina sin depender de medios externos (ver Figura 2.18) dependiendo el modelo de impresora suele ser táctil o se maneja mediante un botón-rueda para moverse a través del menú de la impresora [18].

**Figura 2. 17**

*HMI*



### ***2.2.3.8 Mecanismos de transporte***

Una banda transportadora como la mostrada en la Figura 2.19, es un sistema de movimiento continuo que permite transportar o clasificar objetos. Existe un sistema de banda conocido como sobre mesa el cual cuenta con una mesa (como su nombre lo indica) o cama debajo de la banda transportadora, con el fin de evitar la formación de catenarias en la banda.[4].

**Figura 2. 18**

*Banda transportadora*



## 3 CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Modelo de la investigación

En el presente trabajo se desarrollará una investigación aplicada, ya que está orientada a resolver un problema en particular [22]. En este caso en particular se trata de implementar una solución al problema de una impresora 3D y su limitada capacidad de fabricar piezas de gran longitud.

La investigación es documental ya que la búsqueda de información se llevará a cabo a través de un proceso sistemático de búsqueda en artículos científicos, libros, revistas científicas, catálogos comerciales [23]. Conjuntamente se realiza una investigación descriptiva para lograr especificar las características de la impresora 3D, detalles de funcionamiento [23], [24].

Ya que la solución fue requerida por la empresa SafeMarket se usará también una investigación de campo ya que requiere el contacto con el establecimiento mencionado, para realizar encuestas y observaciones. Por último, se aplicará una investigación experimental puesto que la solución se implementará en una impresora 3D proporcionada por la empresa, con el fin de realizar pruebas de calidad y funcionamiento[25].

### 3.2 Diseño de la Investigación

En el presenta capitulo se informa sobre la ejecución de cada una de las actividades necesarias para el cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo de grado. El propósito será el de dar seguimiento de forma secuencial y detallada al proceso que se llevó a cabo para la implementación de un sistema de impresión continua.

### **3.2.1 Identificar todos los aspectos referentes a la impresora 3D modelo Artillery Hornet.**

En esta fase se hace uso de la investigación documental, la cual tiene por objetivo recopilar información acerca del modelo de impresora 3D Artillery Hornet para saber las especificaciones técnicas que posee, así como también las carencias que esta tiene. Se debe también llevar a cabo la investigación de campo para saber las necesidades de la empresa para posteriormente documentar.

*Actividad 1: “Revisión bibliográfica de las impresoras 3D”;* En esta etapa trata de tener la mayor cantidad de información acerca de las impresoras 3D en general para saber cuál es la base de su funcionamiento ya sea a nivel físico, electrónico, y de control.

*Actividad 2: “Investigación acerca de los problemas y necesidades presentados en la empresa”;* En esta actividad se visitará a la empresa para saber cuáles son los inconvenientes presentados y recolectar todo tipo de información acerca de esos problemas para poder dar una solución.

*Actividad 3: “Revisión bibliográfica acerca de la impresora modelo Artillery Hornet”;* En esta etapa se enfocará en recolectar información acerca de un modelo de impresora específico marca específica para poder implementar la solución sobre esta.

*Actividad 4: “Revisión bibliográfica de mecanismos de transporte para producción en serie de piezas impresas”;* esta actividad tendrá como objetivo recolectar la información acerca de mecanismos de transporte para poder dar una solución utilizando hacia el problema de producción en serie de piezas impresas.

### **3.2.2 Diseñar el mecanismo para impresión continua adaptado al modelo**

#### **Artillery Hornet**

Basándose en la metodología descriptiva, y de campo se diseñará un modelo de un sistema que cumpla con las condiciones y requerimientos de la empresa SafeMarket.

*Actividad 1: “Descripción de las especificaciones del sistema a diseñar.”;* En esta etapa se da a conocer a detalle los requerimientos de la empresa.

*Actividad 2: “Planteamiento de alternativas de solución al problema.”;* se establecerán alternativas en base a los requerimientos detallados anteriormente.

*Actividad 3: “Selección de la mejor solución.”;* Se selecciona la alternativa más viable y que cumpla con todos los parámetros que se desea.

*Actividad 4: “Modelado 3D de los componentes definitivos y verificación del ensamblaje empleando un software CAD.”;* con el uso de una herramienta de ingeniería de CAD, se crea un borrador de la solución para tener consideraciones de construcción.

*Actividad 5: “Selección de materiales para cada uno de los componentes de la solución seleccionada.”;* En base al borrador y posterior a la verificación se procede a escoger el material sobre el cual se va a construir la solución.

*Actividad 6: “Simulación del modelo empleando un software de CAD”;* en esta sección es donde se realizará análisis de ingeniería como es el de esfuerzos que permita predecir el comportamiento del mecanismo en funcionamiento.

### **3.2.3 Construir el mecanismo adaptable a la impresora Artillery Hornet**

Una vez terminado el análisis de esfuerzos en esta sección se procede a fabricar y ensamblar el mecanismo funcional para proceder a pruebas de funcionamiento.

*Actividad 1: “Fabricación de los componentes diseñados”;* a través de una serie de procesos mecánicos se da forma a la solución del problema, todo esto basado en el modelo CAD.

**Actividad 2: “Adquisición de elementos comerciales”;** En esta actividad se realiza la compra y adquisición de piezas necesarias para el mecanismo peor que también estén disponible en el mercado local o nacional.

**Actividad 3: “Ensamblaje de piezas de la solución planteada a la impresora modelo Artillery Hornet”;** Una vez terminada la construcción de todas las partes del mecanismo, en esta actividad se procede a acoplarlo a la impresora proporcionado por la empresa.

#### **3.2.4 Evaluar el funcionamiento del mecanismo mediante simulación**

Como parte de la etapa final y para asegurar que el mecanismo planteado como solución es eficiente y cumple con su función en esta sección se procede a realizar las pruebas funcionales de lo que sería un ciclo de trabajo normal.

**Actividad 1: “Realización de pruebas de funcionamiento”;** se realizar pruebas de las funciones del mecanismo, para verificar su correcto funcionamiento.

**Actividad 2: “Corrección de posibles fallas en las piezas”;** dado que se hace uso de una metodología experimental y en base los resultados de la actividad anterior. En esta actividad se proceda a realizar correcciones de errores y complicaciones que pudieran aparecer.

## 4 CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo inicia con la descripción de las especificaciones de requerimientos de la empresa SafeMarket. Para un Sistema de impresión continua para una impresora 3D modelo Artillery Hornet.

Posteriormente se propondrán alternativas que cubran las funciones del sistema, y se selecciona la opción que cumplan con el mayor número de requerimientos. Así mismo se continua con un estudio a detalle dentro del sistema diseñado, la parte mecánica del dispositivo será sometida a un análisis de esfuerzo con elementos finitos en SolidWorks 2020. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, proceso de fabricación y costo del sistema.

### 4.1 Especificaciones del Sistema a Diseñar

Se identifican los parámetros de criterios y restricciones que contribuyen al diseño del dispositivo.

**Geometría.:** Las dimensiones del sistema debe de acoplarse al modelo de impresora Artillery Hornet y en el caso de la cama térmica debe aumentar su área dando como resultado final 190mmx220mm siendo así que la altura máxima de impresión para el modelo que se desea es de 120.

**Precio.:** El costo del sistema implementado no deberá superar los 250 dólares americanos.

**Diseño.:** El sistema debe ser diseñado de forma independiente entre sí, es decir una pieza no deberá representar un cambio general de todo el sistema.

**Precisión.:** Deberá contar con una precisión de calidad con el fin de imprimir piezas de ingeniería funcionales.

**Materiales.:** El material para el caso de la estructura debe ser PLA+ o en el caso de necesitar más resistencia (luego de hacer un estudio de esfuerzos) sería ABS, para el caso

de la cama térmica deberá ser una banda capaz de soportar temperaturas hasta 90 grados con una adherencia adecuada para la impresión 3D.

**Fabricación.:** Para la fabricación de las piezas de la estructura se deberá ocupar el mismo proceso de Impresión 3D FDM, así mismo el color debe ser similar a los colores por defecto del modelo de impresora 3D. Para los demás componentes eléctricos de ser el caso de no haber en el mercado nacional no hay inconveniente el de traer el exterior siempre y cuando el costo este dentro del margen.

**Ergonomía.:** El sistema deberá contar con dos cosas externas, la primera deberá ser un soporte para piezas en voladizo, la segunda deberá ser un contenedor en el cual se depositen las piezas terminadas y se almacenen.

**Innovación.:** El sistema deberá contar con un final de carrera ajustable para que el usuario pueda ajustar la altura del extrusor de forma cómoda.

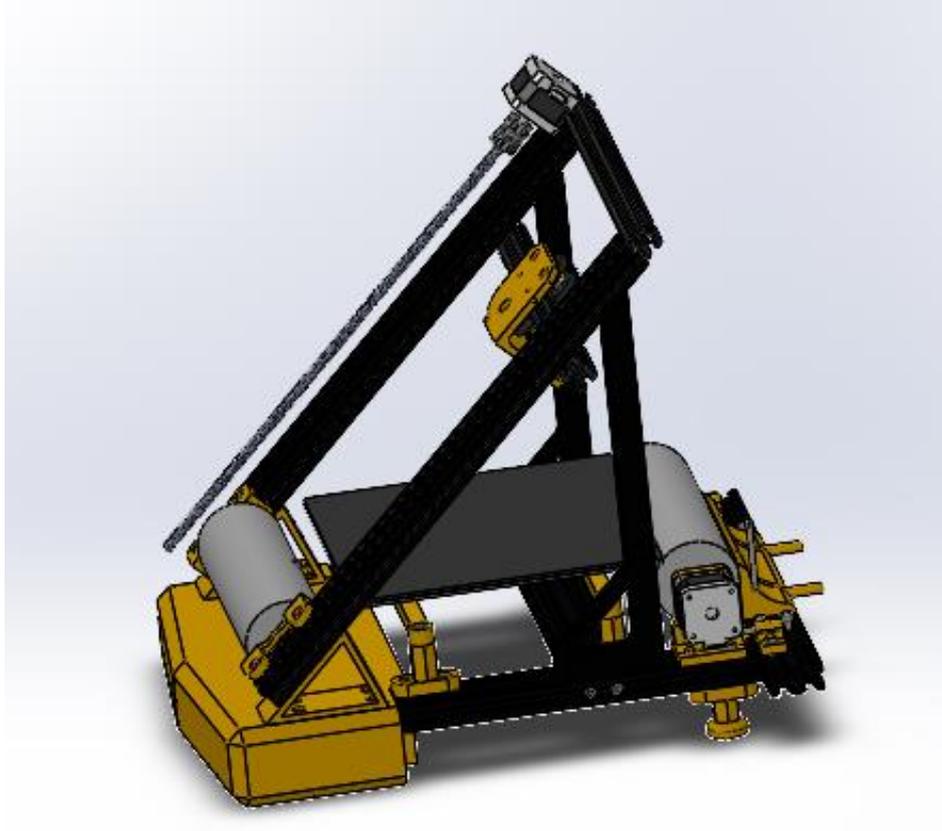
#### **4.2 Planteamiento de Alternativas de Solución**

A través de los criterios y restricciones planteados se proponen dos ideas que solventan la problemática del presente estudio. Se describen detalladamente la alternativa.

El sistema de transporte continuo para la fabricación de prototipos con una impresora 3D parte del modelo original de una Artillery Hornet, del cual los perfiles que se ocupan (1), (7), (14), (16), (26) y (35), de los cuales (35) Y (26) conservar su posición sin ningún cambio alguno , conjuntamente con la carcasa trasera (18) que contiene la tarjeta madre y la fuente de poder , mientras tanto los perfiles de aluminio (7), (14), (21) en conjunto y relativamente entre si no cambia su posición pero se ocupa el soporte en ángulo (13) para dar una inclinación de 45 grados. Para que dicho cuadro tenga soporte se necesita colocar los pilas soporte (8) para sostener la figura sin problemas y vibraciones.

**Figura 4. 1**

*Modelo completo 3D del sistema*



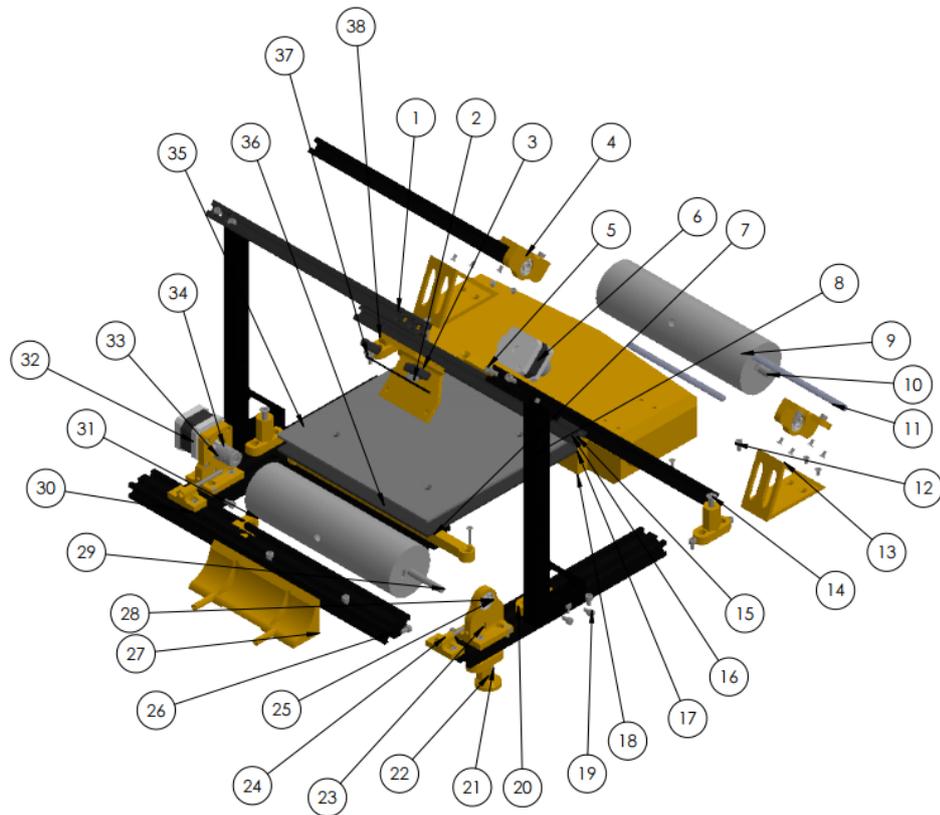
Para la sección de la cama calefactora (17) y la base sustrato (15), estas están soportadas por las barras (36) que se empatan con la base receptora de la cama (20), Para que el soporte del eje de banda (9) en ambos se cruza un eje de acero transmisor (10) y (29) en el caso de eje de banda trasero este reposa directamente en el soporte eje-perfil (4) en cada extremo.

Mientras que en la parte delantera se encuentra los ejes transmisores soportados de un lado con la chumacera (25) y al otro se tiene al motor de pasos de eje Y (32), que conecta al eje con el tambor (34), apoyándose sobre la base con el soporte (33), de cada lado tienen los tensionado de ejes para la banda (30) para finalizar el sistema se debo colocar la pantalla en el soporte (27) para poder manejar y controlar la impresora.

En la tabla 4.1 se presenta la lista de las piezas que conforman el sistema de alimentación continua.

**Figura 4. 2**

*Despiece y enumeración del sistema*



**Tabla 4.1***Lista de componentes de la solución propuesta*

<b>N.º de elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>		
1	Perfil 2040 cuadro superior	1	24	Perno m8x30 2
2	Separador placa-rodamiento	2	25	Chumacera eje de banda 1
3	Rodamiento	3	26	Perfil 2040 base anterior 1
4	Soporte eje-perfil	2	27	Soporte de pantalla 1
5	Perno m5x0.8x20	4	28	Rodamiento 3
6	Tambor conector motor-eje	1	29	Eje transmisor delantero 1
7	Perfil 2040 base h.	1	30	Bloque Tensionador de ejes 2
8	Pilar soporte	2	31	Angulo inferior para base 2
9	Eje de banda	2	32	Motor a pasos eje y para banda 2
10	Eje transmisor trasero	1	33	Soporte del motor a pasos 1
11	Tornillo infinito	2	34	Tambor de conexión motor-eje transmisor 1
12	Perno m5x0.8 x 8	27	35	Perfil2040 base lateral 2
13	Soporte en ángulo	2	36	Barra receptora de resortes 2
14	Perfil 2040 cuadro	2	37	Placa de soporte para kit extrusor 1
15	Base sustrato	1	38	Abrazadera del kit extrusor 1
16	Perfil 2020 eje x	1		
17	Cama calefactora	1		
18	Carcasa trasera	1		
19	Perno m5x0.8 x 8	4		
20	Base soporte de la cama	4		
21	Tuerca t m18	4		
22	Patas de base	2		
23	Tuerca t m18.2	3		
			<b>Total</b>	<b>96</b>

### 4.3 Especificaciones del Sistema Diseñado

En esta sección se detallan dimensiones, materiales y funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman la solución seleccionada.

El sistema de transporte continuo para la fabricación de prototipos está conformado por dos secciones que realizan el cambio y la adecuación de la máquina para lograr tener la funcionalidad necesitada.

La primera sección del sistema es el de la banda en sí, que está conformada por los ejes de la banda con los soportes, el motor para el movimiento en el eje “Y” el último componente de este sería los soportes de la cama hacia la base.

La cama caliente de la impresora 3D modelo Artillery Hornet posee las medidas de 220 x 220 milímetros, luego de la adecuación tiene como resultado un área de 195 x 220 mm la pérdida de área es resultado de las dimensiones de la banda ya que ahora se deberá imprimir sobre esta.

No obstante, el área útil de impresión final es de 165 mm en el eje “X” tomando en cuenta la geometría del bloque extrusor y que este no haga interferencia con la geometría de los soportes de la estructura, en cuanto al eje Y posee las mismas dimensiones 220 mm, pero este se desplaza dando lugar a nuevas piezas.

La segunda sección que conforma el sistema está dada por los ángulos soportes y los pilares. La impresora 3D modelo Artillery Hornet tiene 220 mm en cuanto a su eje “Z” debido a la inclinación que el sistema requiere para el funcionamiento da como resultado una disminución del área alrededor de este eje, es decir que de 220 mm pasarán a ser 150 mm sobre los cuales se puede desplazar el bloque extrusor. Dando como medidas finales y aprovechables de impresión 165 x 220 x 120 mm.

En cuanto a las medidas finales de la impresora 3D son de 470 x 410 x 420 mm siendo afectada solo la altura de la máquina. Luego de ser agregados los componentes al sistema

se tiene como resultado un peso de 8.5 Kg lo cual no afecta su manejo con respecto a su anterior peso.

Para los materiales que se aceptan como materia prima para la impresión se tiene al PLA, TPU, PETG, ABS, PLA Wood, PVA, HIPS, etc. Debido a que ningún componente del bloque extrusor fue cambiado, la compatibilidad de los materiales sigue siendo la misma.

Ya que el componente de la banda transportadora es resistente al calor y tiene buena adherencia la temperatura de trabajo deberá en base al material ocupado, pero para la mayoría de los casos se lograr llegar a una temperatura mínima de trabajo de 70 °C y una temperatura máxima de 95°C.

#### **4.4 Diseño del Sistema a implementar**

El diseño de la estructura mecánica depende de los componentes a ser utilizados, en este caso una las directrices es que la maquina no deba depender de estructuras especiales por lo tanto deben ser fabricadas mediante FDM, debido a esto la impresora 3D en cuestión responde a una necesidad específica del cliente. Considerando que la aplicación de esta máquina es para un proceso de fabricación de piezas en serie con mayor tiempo de producción, se considera al eje “Y” con capacidad dimensional infinita mientras que el área de impresión útil en el eje “X” sea de 150 mm, el eje “Z” es decir alturas de piezas sería no menor a 100mm. Partiendo de estas condiciones se continua el proceso de diseño. Tomando en cuenta que para la fabricación de las piezas por FDM en una impresora 3D es de suma importancia la posición en la cual se coloca la pieza para que el material se vaya depositando en capas de material. Dependiendo de la cada pieza, su función, y geometría se deberá encontrar la forma adecuada de impresión para que el resultado sea óptimo.

#### 4.4.1 Soportes

Según la figura 4.1 y 4.2, el soporte en ángulo (13) y pilar soporte (8) constituyen unos de los cambios más notables en la estructura de la impresora 3D Artillery Hornet. Debido a que estos dan un ángulo al marco que constituye el eje “Y” para así poder realizar una impresión a 45°. Estas piezas, así como la mayoría del sistema están fabricadas a través de impresión 3D por FDM. El material del cual están conformados es PLA+. En la tabla 4.2 se presenta la caracterización del material empleado para los soportes.

**Tabla 4. 1**

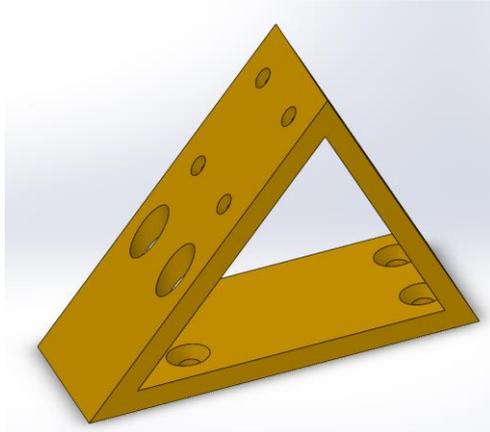
*Propiedades físicas del PLA+*

<b>Propiedad Física</b>	<b>Valor</b>
Densidad	1.24[g/cm <sup>3</sup> ]
Resistencia a tracción	3309[MPa]
Resistencia a flexión	485[MPa]
Resistencia al impacto	5.1[KJ/m <sup>2</sup> ]
Módulo de elasticidad	55[MPa]
Temperatura de deformación	55[°C]

El soporte en ángulo (13) debe colocarse entre la parte posterior de la impresora 3D, acoplando el eje “Z” (1) con el perfil lateral (35) para así dar un ángulo de 45°. Cabe mencionar que debe constar un soporte en ángulo (13) en cada perfil lateral (35) Para la sujeción de la pieza a la estructura se utiliza tuercas (21) T y pernos ANSI B18.8 (5). Para ello consta de 4 agujeros en la base de diámetro 6 mm para el vástago y 8 mm para la cabeza, 6 agujeros en la parte angular del mismo. 4 de ellos de diámetro 5 mm con un pequeño chaflan para el acople de los pernos (5), los dos agujeros restantes son de diámetro 5mm con la variación que un abocardado mayor para la facilitación del montaje. El espesor de las paredes es de 5 mm en toda la pieza.

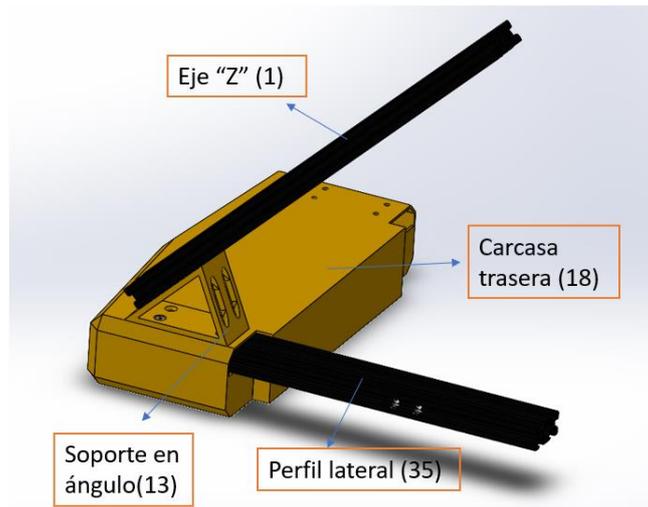
**Figura 4. 3**

*Modelo 3D soporte en ángulo*



**Figura 4. 4**

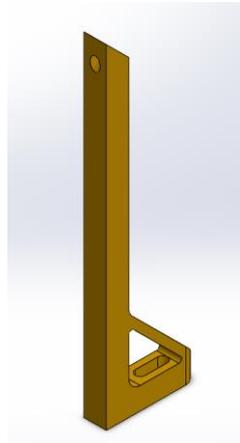
*Acople del soporte en ángulo*



El pilar soporte (8) tiene como función sujetar la parte más alta del eje “Z” (1) el cual queda totalmente en voladizo sin este. De la misma forma que el soporte en ángulo (13) este va acoplado a un perfil lateral (35) de cada lado. Con el fin de dar estabilidad también cuenta con una base grande en la cual tiene dos agujeros de 5 mm de diámetro y en la parte superior un agujero del mismo diámetro, en los cuales van los pernos (5) y sus respectivas tuerca (21). Cuenta con una altura total de 300 mm dada su dimensión es la única pieza que se tiene que fabricar en otra impresora 3D que no sea la Artillery Hornet.

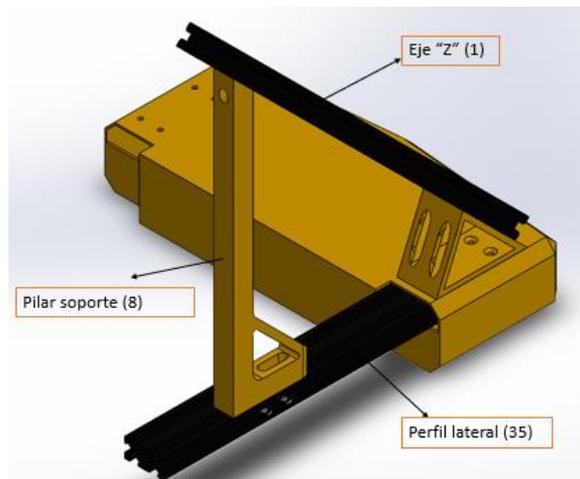
**Figura 4. 5**

*Modelo 3D pilar soporte*



**Figura 4. 6**

*Acople del pilar soporte*



#### ***4.4.1.1 Análisis estático conjunto de soportes***

Como es un elemento de estructura se procede a realizar un análisis estático del modelo 3D de la pieza. Partiendo de la evaluación de elementos finitos a través del software de asistencia de ingeniería SolidWorks 2020. Se determinan los esfuerzos de von Mises, desplazamiento máximo y factor de seguridad, todo esto para asegurar que la pieza soportará la fuerza de la estructura y las vibraciones que esta tenga en funcionamiento.

En la tabla 4.3 se muestra los componentes del conjunto de ejes "X-Z" que serían soportados sobre esta pieza.

**Tabla 4. 2**

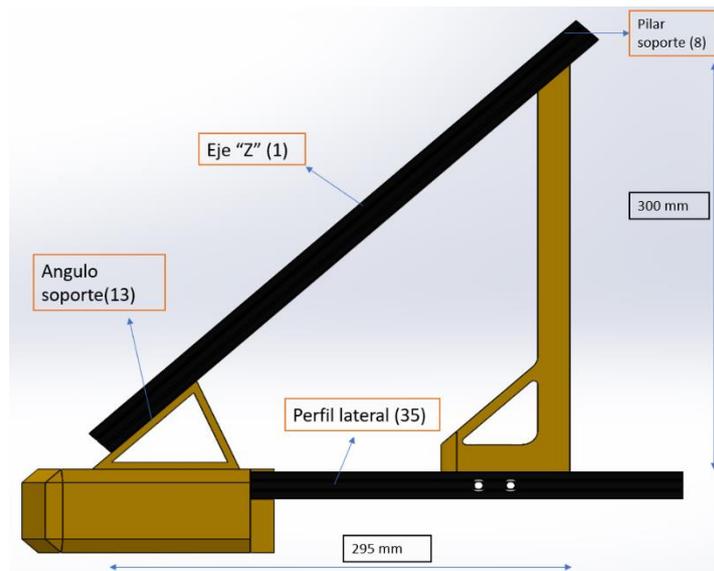
*Peso de los componentes ejes "X-Z"*

<b>Componente</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total(kg)</b>
Kit de extrusor	0,2	1	0,2
Perfil de aluminio 40x20	0,1	2	0,2
Perfil aluminio 20x20	0,15	2	0,3
Motor a pasos	0,4	3	1,2
<b>TOTAL</b>			<b>1,9</b>

Dado el peso del conjunto de ejes "X-Z" se procede a realizar los cálculos de las reacciones en los puntos de apoyo, en este caso el soporte en ángulo y el pilar soporte. Ya que conjuntamente formar un sistema de apoyo para el "eje Z" (1) se puede utilizar la teoría de cálculos de fuerzas. Comenzando con una transformación del sistema a un D.C.L para la compresión de las fuerzas y los puntos de apoyo.

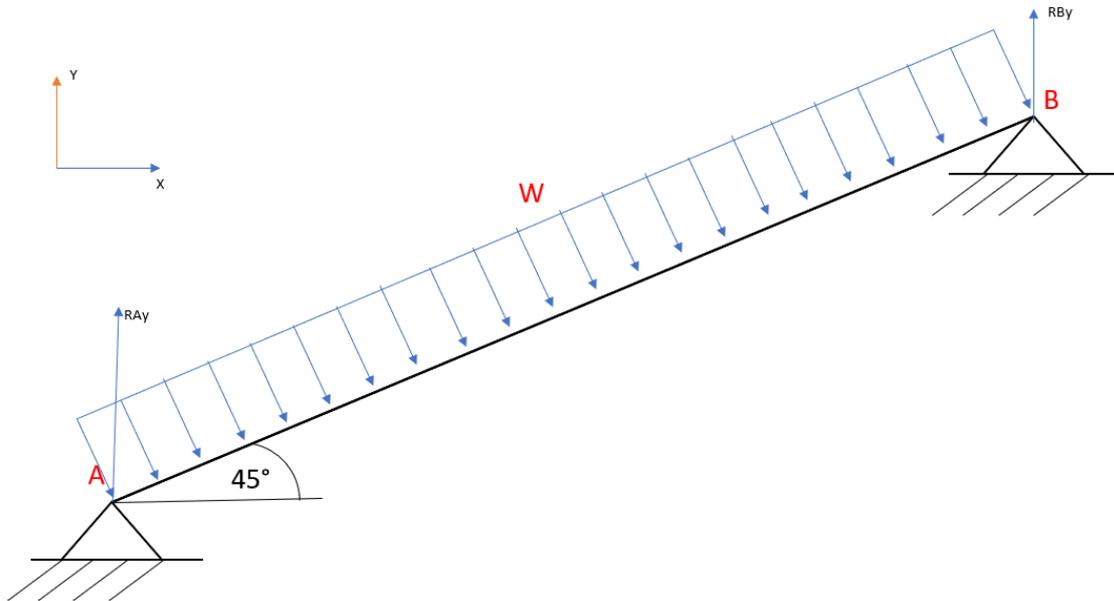
**Figura 4. 7**

*Ensamble de soportes*



**Figura 4. 8**

*Diagrama de fuerzas de soportes*



En la figura 4.8 se puede apreciar que el peso del eje “Z” (1) esta soportada por cada elemento por ende se asume una carga uniformemente distribuida en la viga de “Z” como se muestra en la figura 8. Para esta sección del diseño se pretende encontrar las reacciones RAY y RBy que serían las cargas a las cuales estarán sometidas las partes impresas. Para posteriormente realizar un análisis de esfuerzos individual.

Dado el peso del sistema “X-Z” se tiene que:

$$P = m \cdot g \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

P: es la fuerza

m: es la masa (kg)

g: Aceleración de gravedad (Sistema Internacional)

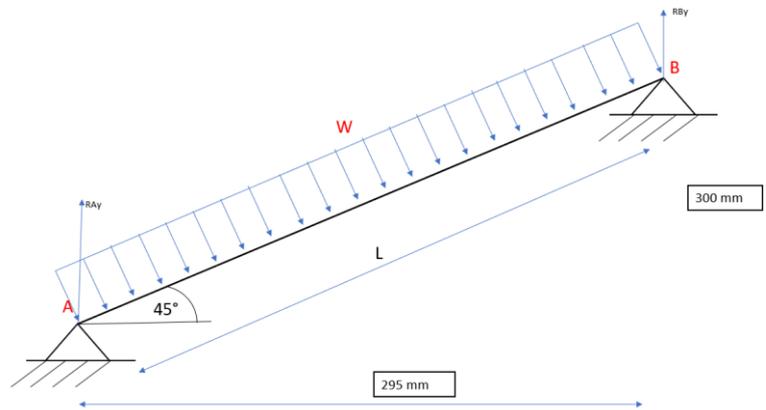
Sustituyendo en la Ec. 4.1, se obtiene:

$$P = 18,64 \text{ N}$$

Para la puntualización de la carga a partir de la Ec. 4.1 y tomando en cuenta la inclinación de  $45^\circ$  se tiene

**Figura 4.9**

*Esquema de la distribución de cargas en la barra a-b*



*Haciendo uso del teorema de Pitágoras se tiene una distancia igual a.*

$$L = 420,74 \text{ mm}$$

Una vez obtenida la distancia se tiene que la fuerza puntual es de.

$$F = P \cdot L \quad \text{Ec. 4.2}$$

Donde:

F: es la fuerza puntual

P: la fuerza distribuida

L: longitud

Sustituyendo en la Ec. 4.2, se obtiene:

$$F = 7,83 \text{ Nm}$$

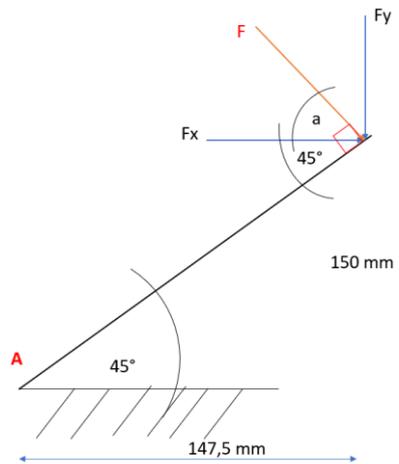
Dado que el cálculo de F con la Ec. 4.2 se realizó de forma perpendicular al eje "Z" (1)

se procede a encontrar las componentes dado que tiene una inclinación de  $45^\circ$ .

## Determinación de componentes de la Fuerza.

**Figura 4. 9**

*Descomposición de la fuerza F*



$$F_x = \text{sen}(\theta) \cdot F \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$F_y = \text{sen}(\theta) \cdot F \quad \text{Ec. 4.4}$$

Donde:

F<sub>x</sub>/F<sub>y</sub>: Componente de la fuerza

θ: Angulo

F: Carga Puntual

Sustituyendo en la Ec. 4.3/4.4, se obtiene:

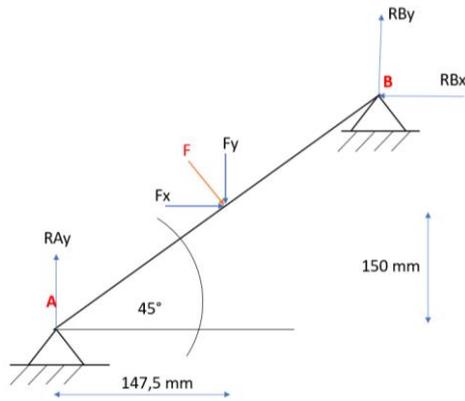
$$F_y = 5,54 \text{ N}$$

$$F_x = 5,54 \text{ N}$$

Una vez determinadas las componentes de F, se procede a realizar la determinación de las reacciones en los apoyos A Y B.

**Figura 4. 10**

*Reacciones en los apoyos.*



Sumatoria de fuerzas.

$$F_x - F_B = 0 \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$A_y + B_y - F_y = 0 \quad \text{Ec. 4.6}$$

$$A_y + B_y = F_y \quad \text{Ec. 4.7}$$

Sumatoria de momentos

$$A_y(L) - F \left( \sqrt{147,5^2 + 150^2} \right) = 0 \quad \text{Ec. 4.8}$$

$$A_y = 5,57 \text{ N}$$

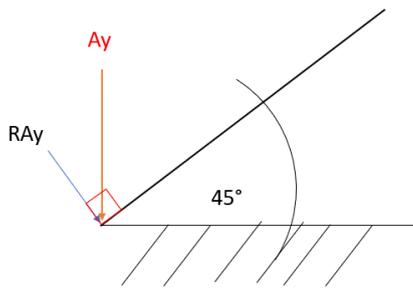
Reemplazando resultado obtenido en  $A_y$  en la Ec. 4.7 se obtiene:

$$B_y = 0,03 \text{ N}$$

Una vez obtenidos los valores de reacciones y fuerzas a las cuales van a estar sometidas dichas piezas, se procede a realizar un análisis de esfuerzos del soporte en ángulo (13) con la ayuda del software SolidWorks 2020. En la figura 4.13 se muestra los puntos de fijación de la pieza, los cuales están ubicados en los agujeros. La carga se aplica sobre el plano inclinado la cual se obtiene de la Ec. 4.8, tomado en cuenta la inclinación se debe trabajar con la componente perpendicular al plano de la pieza dando como resultado lo siguiente.

**Figura 4. 11**

*Descomposición de Ray*



$$RAy = \text{sen}(45^\circ) \cdot Ay$$

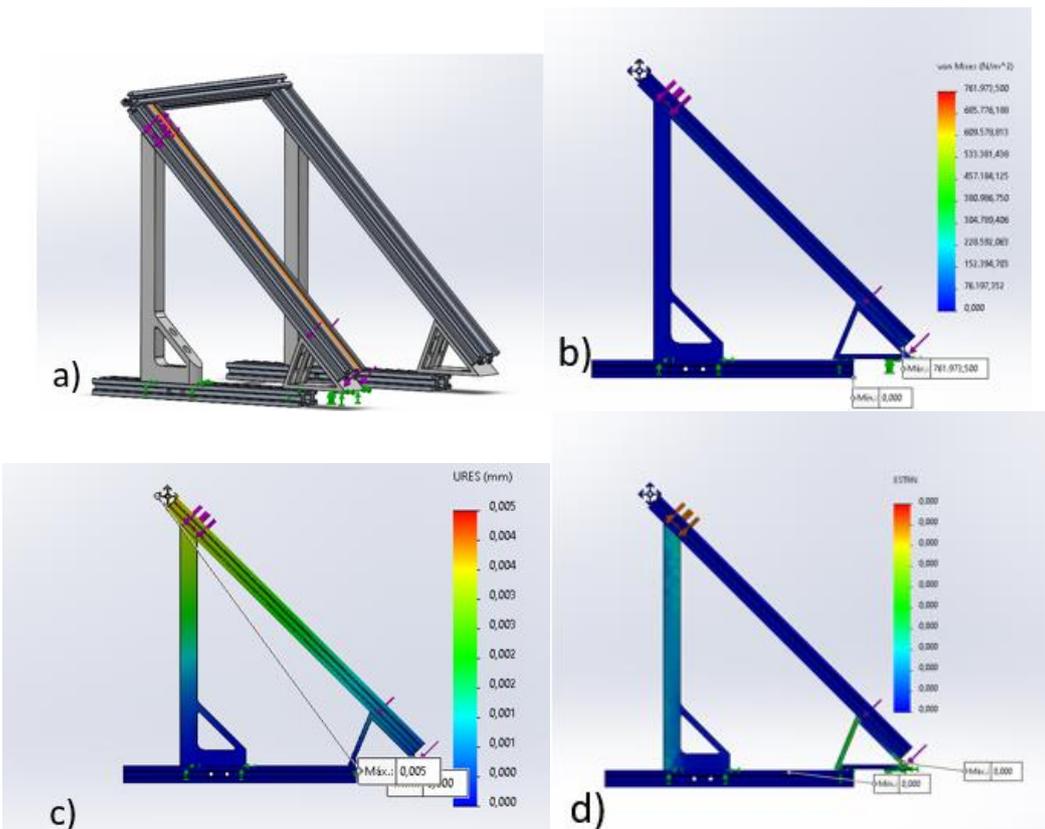
Ec. 4.9

Sustituyendo en la Ec. 4.9 se obtiene:

$$RAy = 3,94 \text{ N}$$

**Figura 4. 12**

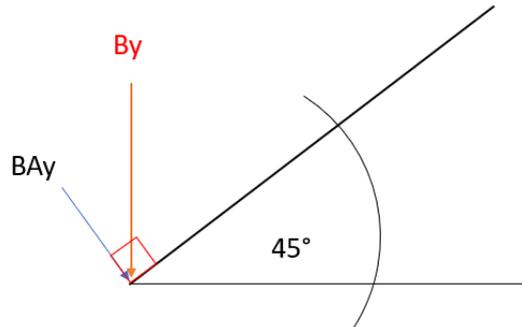
Análisis estático de soporte en ángulo; a) puntos de fijación y aplicación de fuerza b) esfuerzo de von Mises (Pa) c) desplazamiento máximo (mm) d) factor de seguridad.



Para el pilar soporte (8) de la misma manera se procede a realizar la aplicación de la carga en el software dando como resultado la figura 4.15, como este tiene una cara inclinada sobre la cual se apoya el peso se procede a cambiar por la componente correspondiente.

**Figura 4. 13**

*Descomponían fuerza By*



$$RBy = \text{sen}(45^\circ) \cdot By$$

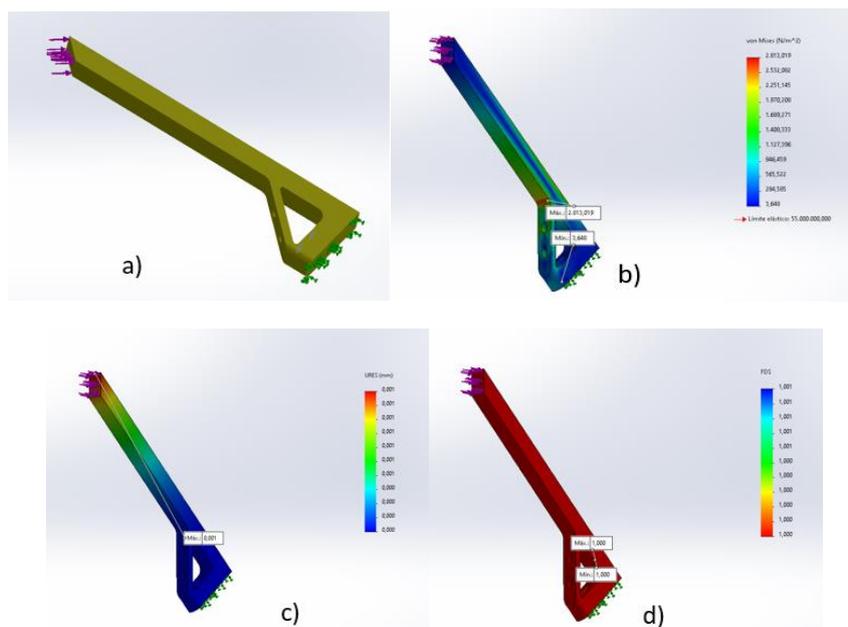
Ec. 4.10

Sustituyendo en la Ec. 4.10 se obtiene:

$$RBy = 0,02 \text{ N}$$

**Figura 4. 14**

*Análisis estático del pilar soporte; a) puntos de fijación y aplicación de fuerza b) esfuerzo de von Mises (Pa) c) desplazamiento máximo (mm) d) factor de seguridad.*



Con los resultados de los análisis se observa que los esfuerzos de von Mises no superan el esfuerzo de tracción del material del cual está hecho la pieza en este caso PLA+, el valor del desplazamiento no interfiere al movimiento que cumple el conjunto de ejes “X-Z”. EL aspecto final para evaluar es el factor de seguridad el cual es de 1. Este valor está dentro del aceptable, pero para fines demostrativos se utilizó una carga de aplicación muy baja es decir que si esta sección del sistema se somete a una carga mayor se vería comprometida la integridad de esta. Los valores de los análisis se resumen en la tabla 4.4.

**Tabla 4. 3**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

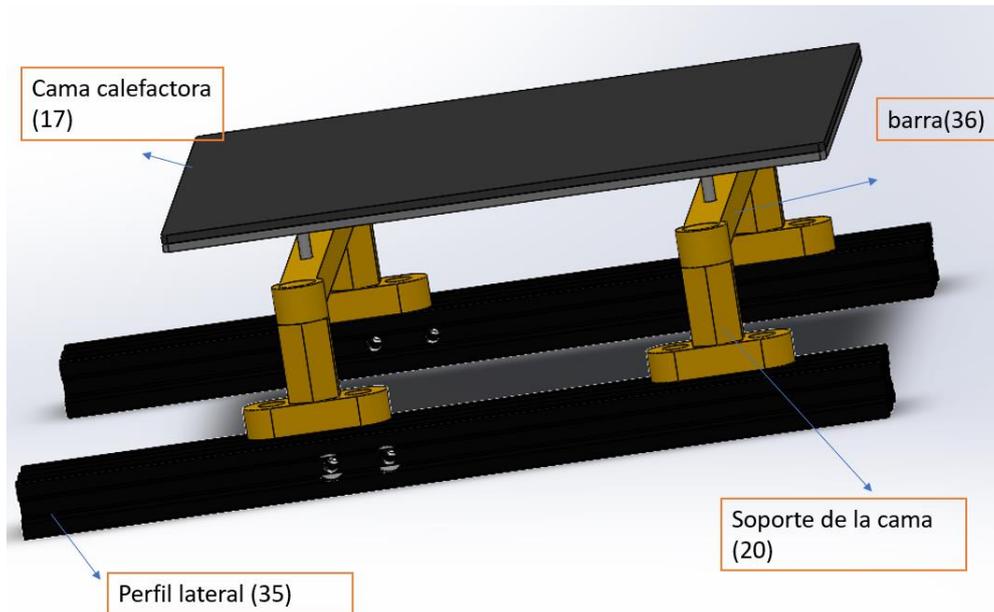
<b>Elemento</b>	<b>Esfuerzo Máximo [Pa]</b>	<b>Desplazamiento Máximo [mm]</b>	<b>Factor de seguridad</b>
SopORTE en ángulo	$221,577 \times 10^3$	0,008	1
Pilar soporte	2813,019	0,001	1

#### **4.4.2 Cama caliente**

Para el diseño de la parte de la cama caliente (17) se debe realizar los soportes de esta misma, debido a que esta queda en suspensión para que de paso a la banda transportadora es así , que este sistema de soporte está compuesto por una base soporte de la cama (20) que está sujeta al perfil lateral (35) con la ayuda de los perno (24) y las tuercas en T (23), sobre estos está sujeta también la barra receptora de resortes (36) y para terminar encaja la cama calefactora (17) sobre esta barra con los tornillos que ya trae la cama en su fabricación.

**Figura 4. 15**

*Estructura de la cama caliente*



En la tabla 4.5 se detalla el peso de los componentes que están soportados en esta sección.

**Tabla 4.5**

*Peso de componentes de la estructura de la cama caliente*

<b>Componente</b>	<b>peso (kg)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total(kg)</b>
Cama caliente	0,3	1	0,3
<b>TOTAL</b>			0,3

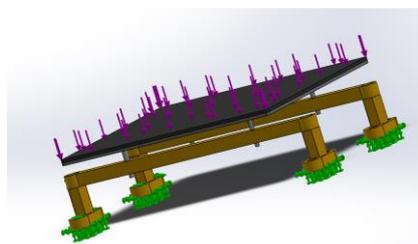
Para el cálculo de la fuerza que se va a tener que soportar se tiene que aplicando la Ec.

4.1

$$P = 2,94 \text{ N}$$

**Figura 4. 16**

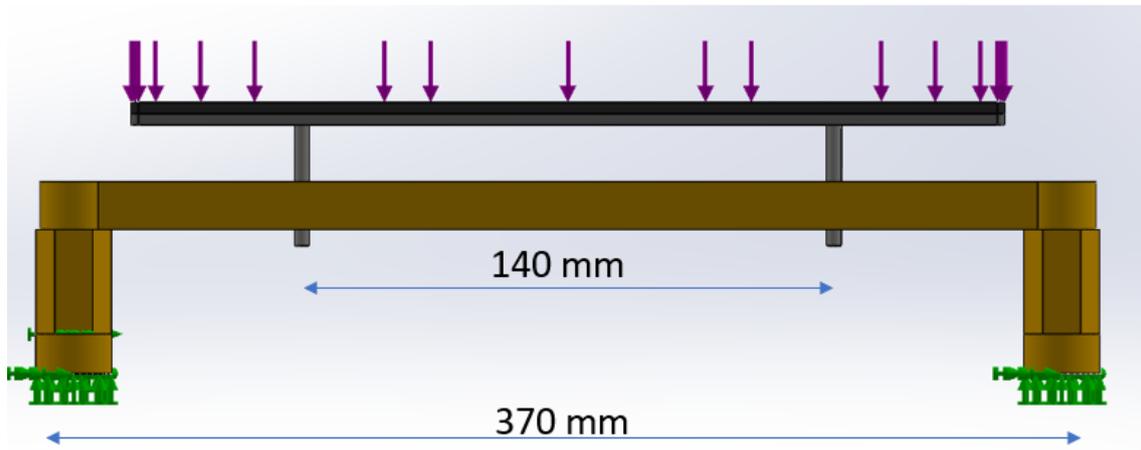
*Condiciones de contorno; puntos de fijación y fuerzas*



Debido a que la fuerza está a lo largo de la cama calefactora (17) se asume para fines prácticos que es una carga uniforme distribuida en las barras (36) por lo tanto se concentrara el estudio en esos cuerpos como se muestra en la figura 4.18.

**Figura 4. 17**

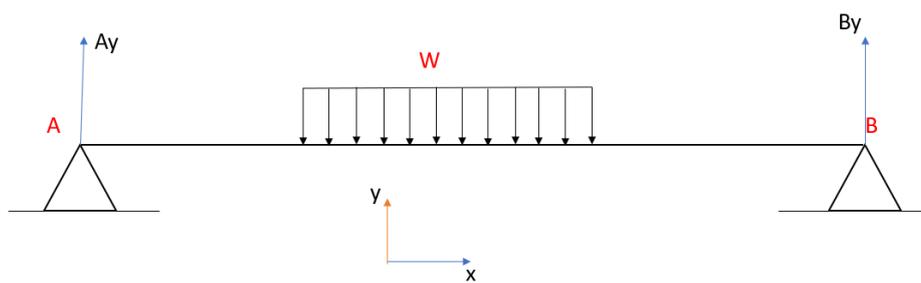
*Aplicación de la carga a lo largo de la cama calefactora*



En la figura 4.19 se muestran simplificación del cuerpo con las cargas y los puntos de apoyo.

**Figura 4. 18**

*Representación de las fuerzas*



*Puntualización de la carga*

Sustituyendo en la Ec. 4.2, se obtiene:

$$F = 0,41 \text{ Nm}$$

Sumatoria de fuerzas

$$Ax - Bx = 0 \quad \text{Ec. 4.11}$$

$$Ay + By - Fy = 0 \quad \text{Ec. 4.12}$$

Sumatoria de momentos

$$Ay(L) - F(L/2) = 0 \quad \text{Ec. 4.13}$$

Sustituyendo 4.12 y 4.13 se tiene que:

$$Ay = 0,26 \text{ N}$$

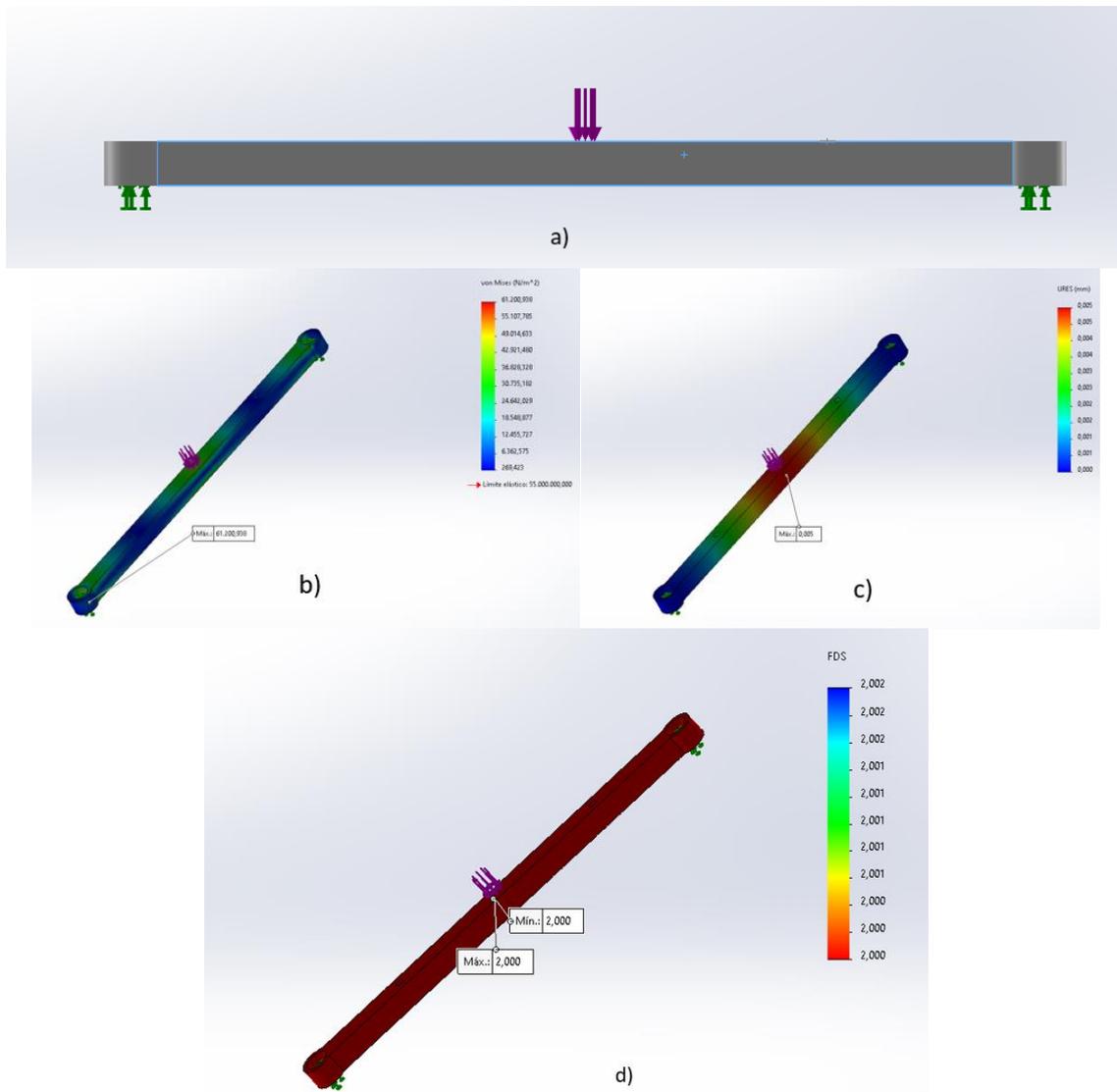
Reemplazando resultados de la Ay en la Ec. 4.13 se obtiene:

$$By = 0,28 \text{ N}$$

En la figura 4.20 se presenta la simulación de las cargas a partir de los cálculos de las reacciones en los apoyos,

**Figura 4. 19**

*Análisis estático del pilar soporte; a) Puntos de fijación y aplicación de fuerza b) Esfuerzo de von Mises (Pa) c) Desplazamiento máximo (mm) d) Factor de seguridad.*



Con los resultados de los análisis se observa que los esfuerzos de von Mises no superan el esfuerzo de tracción del material del cual está hecho la pieza en este caso PLA+, el valor del desplazamiento es un valor relativamente bajo para las dimensiones de la estructura. El aspecto final a evaluar es el factor de seguridad el cual es de 2 que es aceptable. Los valores de los análisis se resumen en la tabla 4.6.

**Tabla 4. 4**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

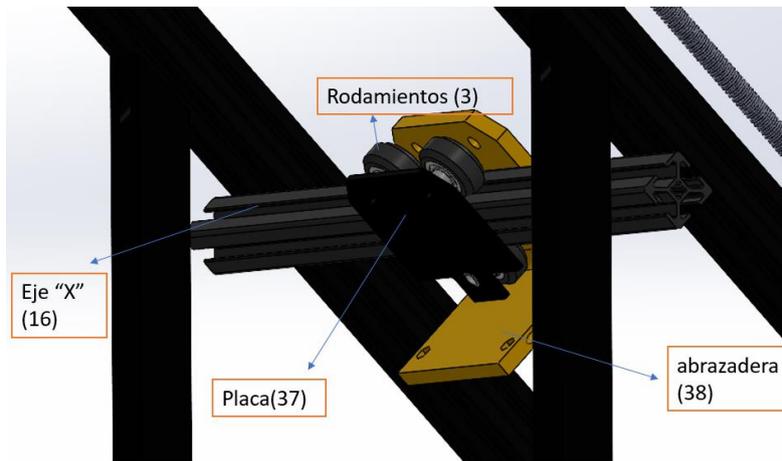
<b>Elemento</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Desplazamiento</b>	<b>Factor de seguridad</b>
	<b>Máximo [Pa]</b>	<b>Máximo [mm]</b>	
Soporte en ángulo	$221,577 \times 10^3$	0,008	1
Pilar soporte	2813,019	0,001	1

### 4.4.3 Extrusor

La sujeción para el kit del extrusor está compuesta por dos partes las cuales mantienen al extrusor unido al eje “X”. la primera es la placa de unión (37) la cual une las ruedas (3) mediante pernos (28) toda esta parte para transmitir el movimiento del motor a pasos. La siguiente parte es la abrazadera mostrada en la figura 4.21 la cual permite la sujeción del bloque del extrusor a 90° a 90° con respecto al eje “X” (16) para compensar la inclinación de 45° del conjunto de ejes “X-Z”.

**Figura 4. 20**

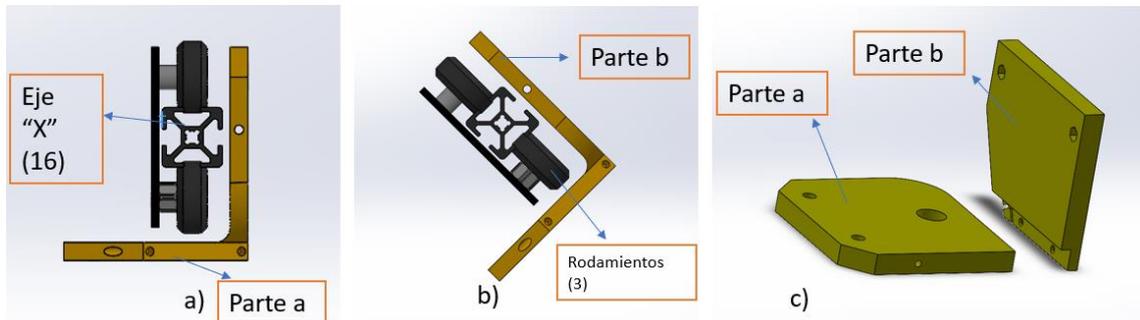
*Soporte del Kit de Extrusor*



Como tal se diseña la abrazadera (38) la cual está conformada por dos partes que se acoplan mediante pernos (12), para dar estabilidad. La parte (b) cuenta con los agujeros los cuales harán que se acople el kit de extrusor.

**Figura 4. 21**

*Soporte del Kit de Extrusor; a) orientación normal del kit de extrusor b) orientación a 90° del kit de extrusor c) parte a y parte b del soporte del kit de extrusor.*



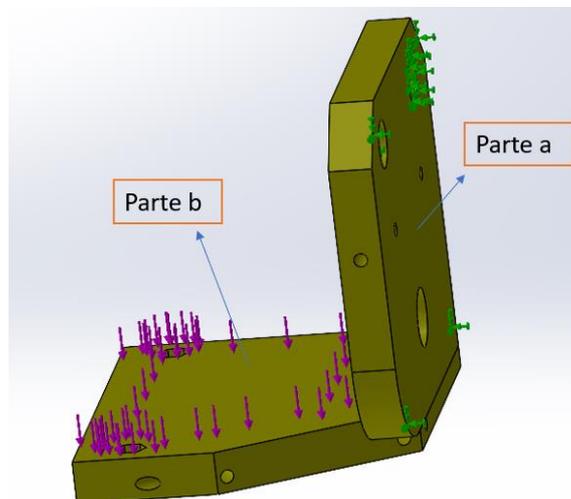
### **Análisis estático de esfuerzos**

Para el análisis de cargas sobre estas dos piezas se debe tomar en cuenta el peso mostrado en la tabla 4.3 el cual indica que el peso del kit del extrusor es de 0.2 kg por lo tanto la aplicación de las fuerzas y de los puntos de apoyo como se muestra en la figura.

4.23.

**Figura 4. 22**

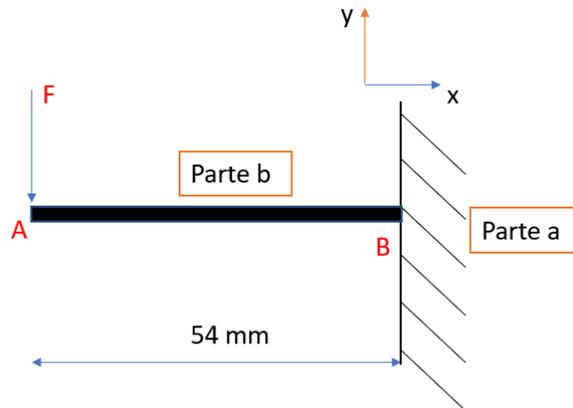
*Cargas y puntos de apoyo sobre la abrazadera*



En la figura 4.24 se tiene la representación de las cargas en un modelo simplificado para ayudar a la comprensión y cálculos de las reacciones en los puntos de importancia. Debido a que la parte (a) está totalmente sujeta a la placa (37) la parte (b) se representa como un objeto en voladizo.

**Figura 4. 23**

*Representación de las cargas*

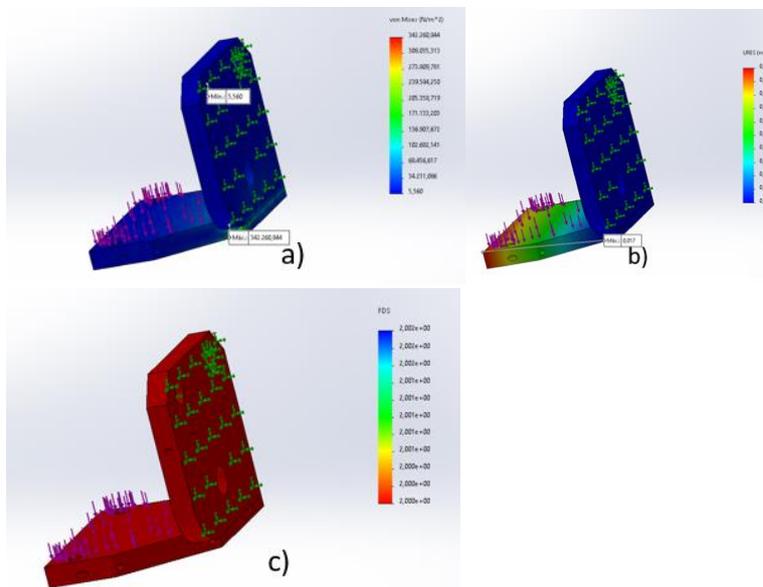


*Partiendo de la tabla 4.3 con el peso del kit extrusor y la aceleración de gravedad tendremos la fuerza que se tendrá que soportar. Sustituyendo en la Ec. 4.1, se obtiene:*

$$P = 1,96 \text{ N}$$

**Figura 4. 24**

*Análisis estático de abrazadera; a) esfuerzo de Von Mises (Pa) b) desplazamiento máximo (mm) c) factor de seguridad.*



Basados en la figura 4.25 en la cual las condiciones en las que se encontraran tanto la parte (a) y (b) de la chumacera, en la tabla 4.7 se detalla los valores. En los cuales podemos ver que la pieza no tendrá ningún problema para cumplir con su función.

**Tabla 4. 5**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

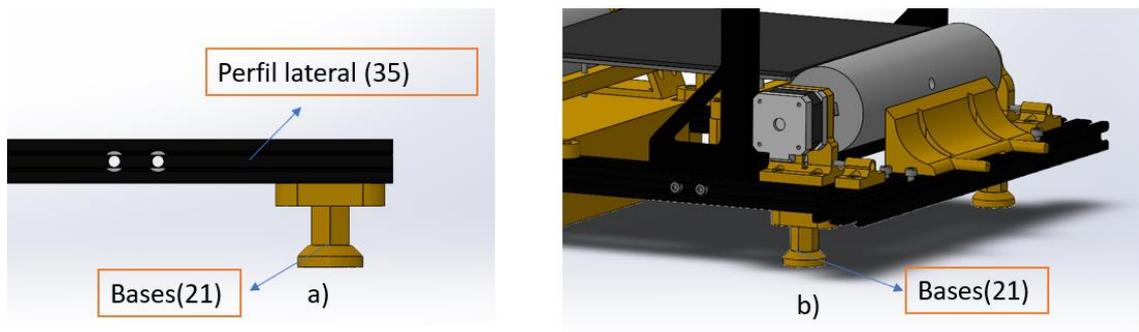
<b>Elemento</b>	<b>Esfuerzo Máximo [Pa]</b>	<b>Desplazamiento Máximo [mm]</b>	<b>Factor de seguridad</b>
Abrazadera	$342,26 \times 10^3$	0,0017	2

#### **4.4.4 Bases**

Las bases (22) son las piezas que soportan y dan estabilidad a toda la impresora en la parte frontal, debido a que antes tenía una carcasa con bases en ella. La altura de estas debe ser la misma que tenga la carcasa de la parte trasera de la impresora 3D para evitar desnivel. Consta de una palca base y un vástago que conecta con el perfil lateral (35) mediante perno (21).

**Figura 4. 25**

*Ensamble de bases*



Las bases (21) soportan el peso distribuido de toda la impresora 3D juntamente con las bases que trae la impresora en la carcasa trasera (18). En la tabla 4.8 se detalle el peso de la impresora 3D con el sistema implementado. Da la tabla 4.8 entonces la distribución del peso como se muestra en la figura 4.28.

**Tabla 4. 6**

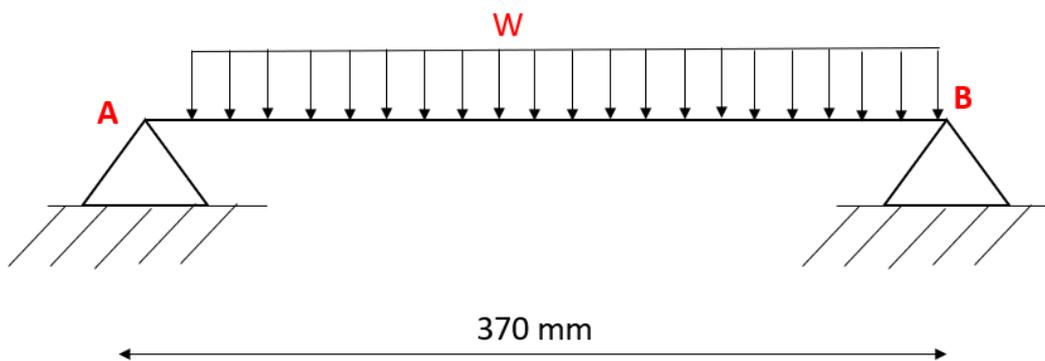
*Detalle de peso del modelo final*

<b>Componente</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total(kg)</b>
Impresora 3D sin modificaciones	7,9	1	7,9
Sistema	0,6	1	0,6
<b>TOTAL</b>			<b>8,5</b>

Para la obtención de fuerzas sobre las bases se procede a realizar un cambio de sistema para la comprensión de la distribución de reacciones en los apoyos tal y como se muestra en la Figura 4.25.

**Figura 4. 26**

*Representación de las cargas*



Cálculo de reacciones

Sustituyendo en la Ec. 4.1, se obtiene:

$$P = 83,38 \text{ N}$$

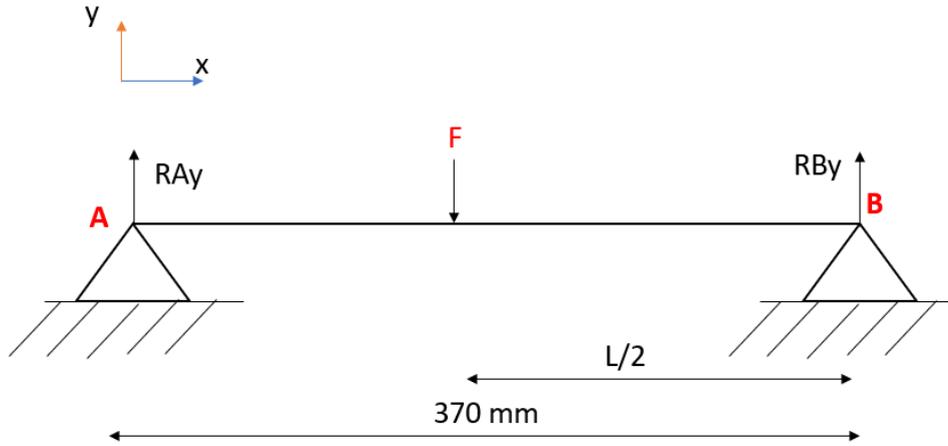
*Puntualización de la carga*

Sustituyendo en la Ec. 4.2, se obtiene:

$$F = 30,85 \text{ Nm}$$

**Figura 4. 27**

*Distribución de fuerzas*



Sumatoria de fuerzas

$$Ax - Bx = 0 \quad \text{Ec. 4.14}$$

$$Ay + By - Fy = 0 \quad \text{Ec. 4.15}$$

$$Ay + By = Fy \quad \text{Ec. 4.16}$$

Sumatoria de momentos

$$Ay(L) - F(L/2) = 0 \quad \text{Ec. 4.17}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.14 Y 4.17, se obtiene:

$$Ay = 15 \text{ N}$$

Reemplazando resultados de la Ec. 4.17 en la Ec. 4.16 se obtiene que:

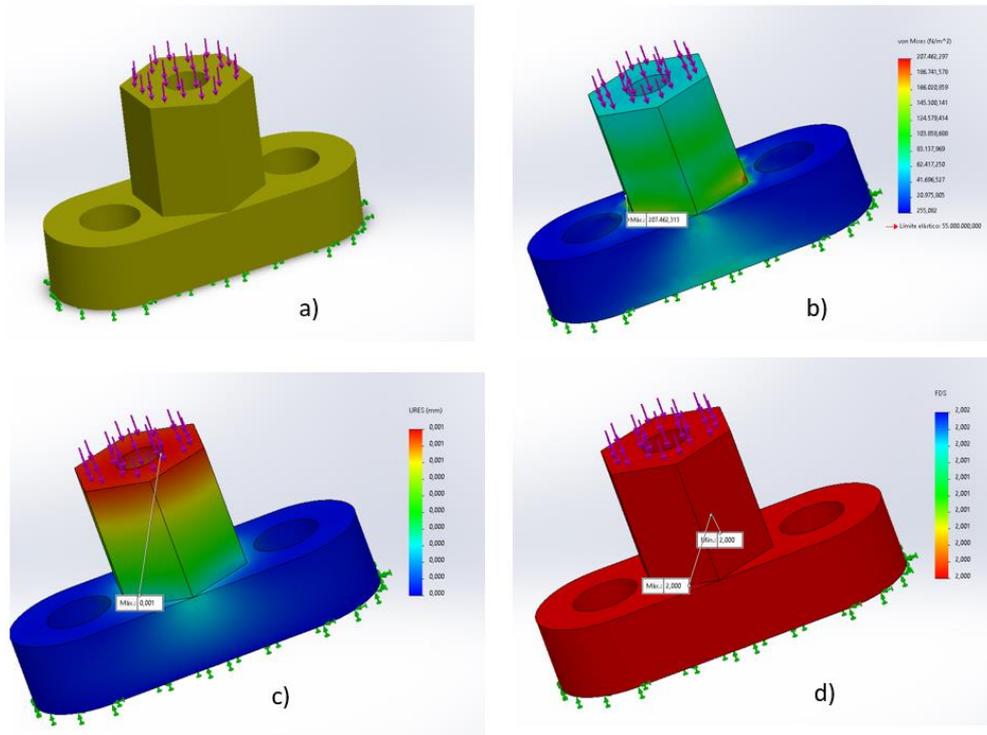
$$By = 15,85 \text{ N}$$

### **Análisis de esfuerzos**

Para el análisis estático de esfuerzos en la figura 4.29 a) se representa los puntos de apoyo y los puntos de aplicación de fuerza en el modelo 3D. De la Ec. 4.16 y Ec. 4.17 se obtiene las fuerzas a las cuales van a estar sometidas las piezas, teniendo una diferencia de 0.85 N que para casos prácticos se puede despreciar y tomado igual valor para ambos extremos.

**Figura 4. 28**

*Análisis estático bases; a) puntos de fijación y aplicación de fuerza b) esfuerzo de von Mises (Pa) c) desplazamiento máximo (mm) d) factor de seguridad.*



En la tabla 4.9 se detalla los resultados de los análisis estáticos para ambas piezas, como conclusión se puede ver que el esfuerzo al cual van a estar sometidas no hará que fallen o tengan algún problema mecánico dado que el factor de seguridad es de 2.

**Tabla 4. 7**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

Elemento	Esfuerzo Máximo [Pa]	Desplazamiento Máximo [mm]	Factor de seguridad
Bases	$207,46 \times 10^3$	0,001	2

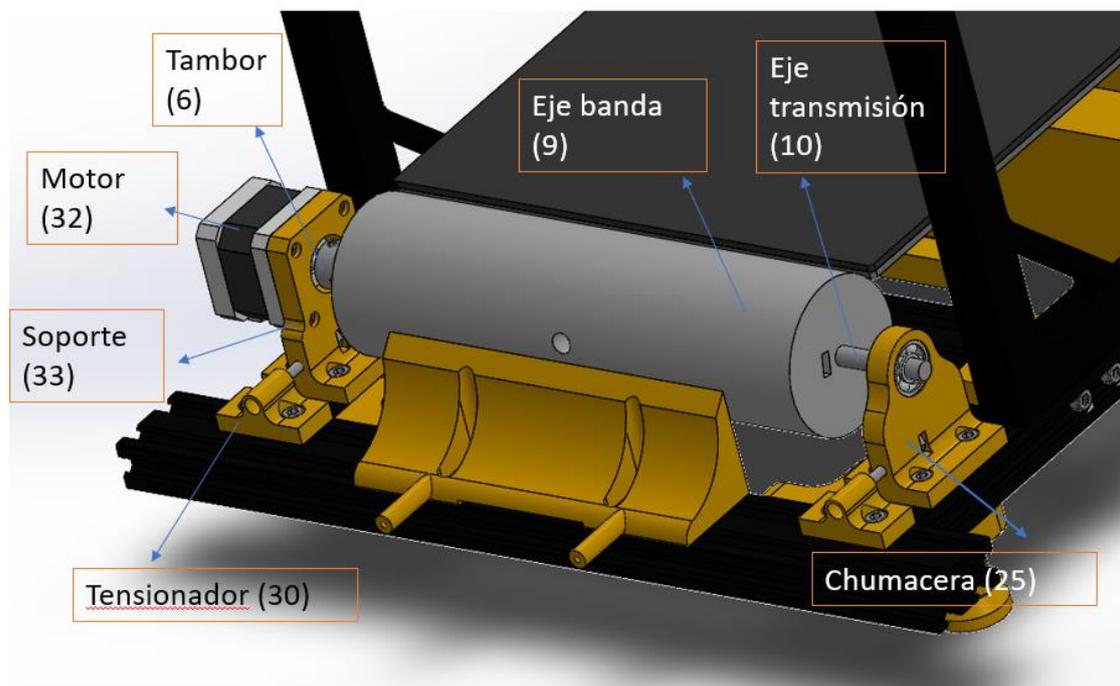
#### 4.4.5 Banda transportadora

En la parte de diseño de la banda transportadora tanto para la parte frontal como para la parte trasera consta de dos ejes de transmisión (29) y (10) respectivamente, anexados a estos mediante pernos (24) los ejes de banda (9) el cual hace que la banda transportadora traccione y se produzca el movimiento en el eje “Y”.

En la parte delantera al costado izquierdo del eje de banda (9) el motor a pasos que se une al eje de transmisión con un tambor (6). El motor (32) esta sujetado al perfil lateral (35) con el soporte de motor (33). Del otro extremo del eje de banda (9) una chumacera (25) que de igual forma esta atornillada al perfil lateral (35) con los pernos (12) y las tuercas T (21). Estas mismas partes están conectadas mediante pernos (24) a los tensionadores (30) los cuales se encargan de dar la misma distancia al eje de banda (9) para que la banda transportadora pueda moverse. Mientras tanto en la parte trasera el eje de banda (9) este sujeto al perfil del eje “Z” (1) mediante un soporte (4) el cual permanece estático.

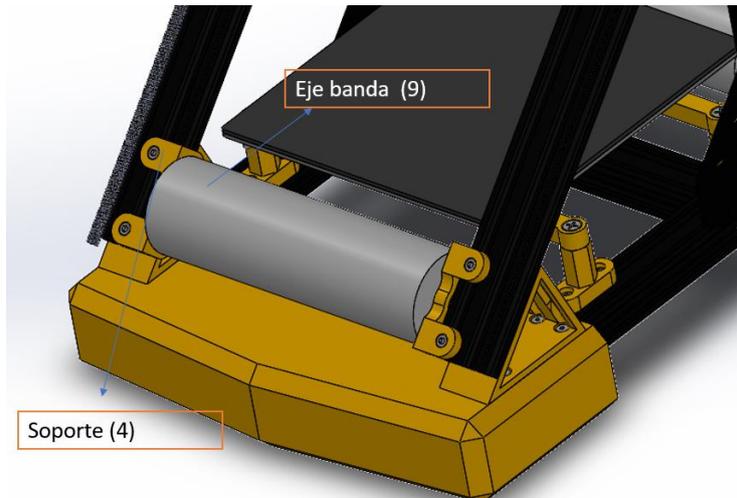
**Figura 4. 29**

*Componentes del sistema de Banda transportadora parte delantera*



**Figura 4. 30**

*Estructura banda transportadora parte trasera*

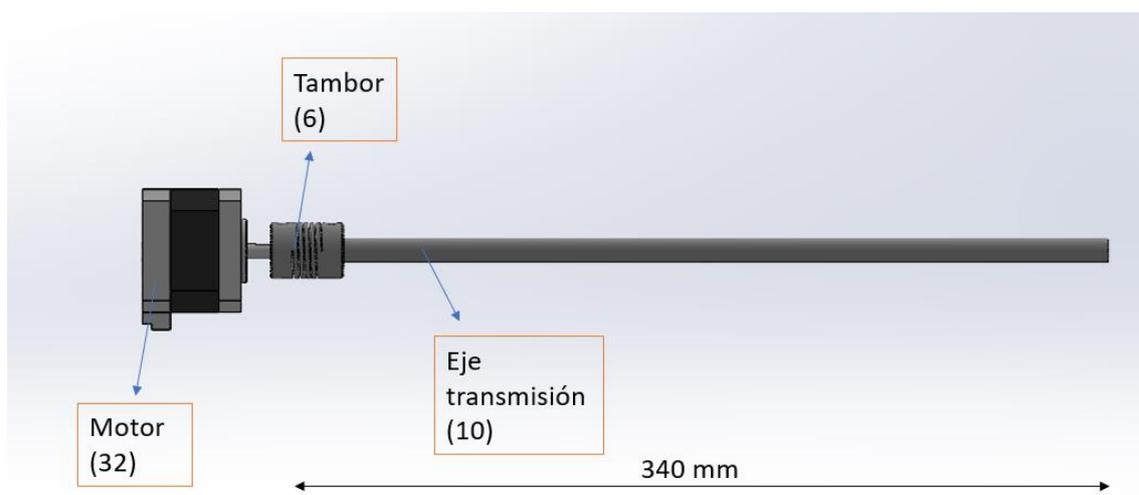


### **Tambor**

El tambor (6) es aquella parte que compone todo el sistema de banda transportadora, que se encarga de transmitir el movimiento del motor (32) hacia el eje de transmisión (10), consta con 6 agujeros de 3 mm de diámetro para que puedan ingresar pernos y ajusten ambos vástagos. Para el agujero del eje de transmisión tiene un diámetro de 8 mm y en total la pieza tiene una longitud de 26 mm con un diámetro de 20mm.

**Figura 4. 31**

*Tambor acoplado al motor y eje de transmisión*



En la tabla 4.10 se detalla las especificaciones del motor (32) el cual generará la fuerza para romper el momento de inercia y girar, todo esto significará que el elemento no deberá fallar a la fuerza de torsión generada por este motor (32).

**Tabla 4. 8**

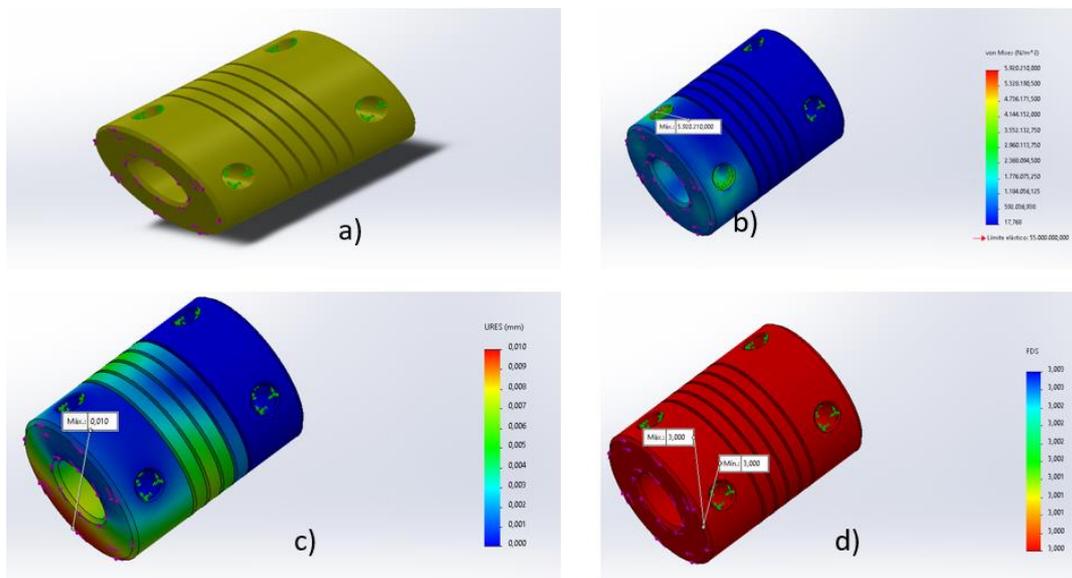
*Especificaciones generales del motor*

Elemento	Tipo de paso a paso	Angulo de paso [°]	Par de torque [N.m]
Motor	NEMA 17	1,8	0,60

Una vez que se sabe el par de torsión que este aplica se procede a realizar el análisis de esfuerzos para determinar la viabilidad de la pieza. Se debe tomar en cuenta que el tambor tendrá la geometría fija en los puntos de sujeción con el eje del motor (32) y el eje de transmisión (10) tal y como se muestra en la figura 4.34 a).

**Figura 4. 32**

*Análisis tambor; a) puntos de fijación y aplicación de fuerza b) esfuerzo de von Mises (Pa) c) desplazamiento máximo (mm) d) factor de seguridad*



En la figura 4.34 b) se muestra el desplazamiento resultante de la torsión el cual llega a un máximo de 0,010 mm lo cual es aceptable y no representa un valor alto. En la tabla 4.11 se detallan los resultados del análisis.

**Tabla 4. 9**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

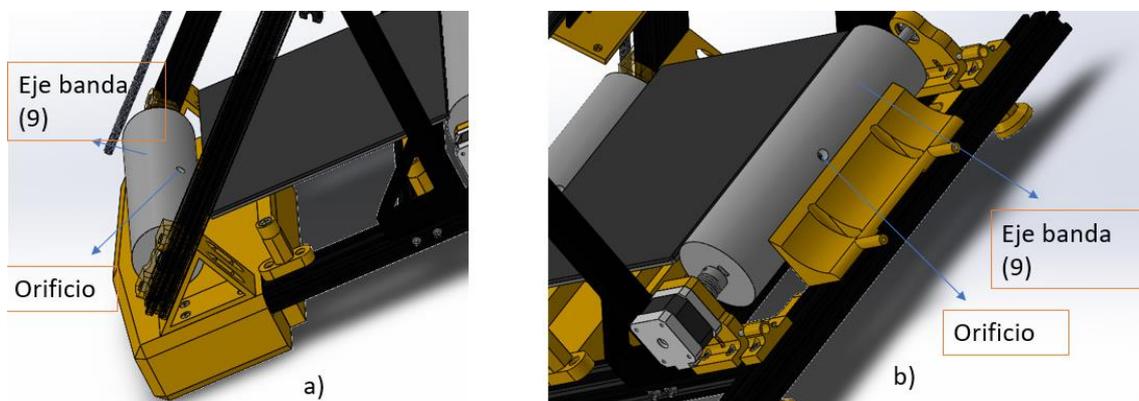
<b>Elemento</b>	<b>Esfuerzo Máximo [Pa]</b>	<b>Desplazamiento Máximo [mm]</b>	<b>Factor de seguridad</b>
Tambor	$592,21 \times 10^3$	0,010	3

### **Ejes de banda**

Este componente tiene como finalidad el traccionar y mover la banda transportadora para permitir el movimiento del eje “Y” de manera perpetua. Conformado por un cilindro de 250 mm de largo y un diámetro de 70 mm. Está sujeto al eje de transmisión (10) mediante un perno que se encuentra a la mitad del eje y lo atraviesa de forma transversal hasta llegar al centro en donde de forma longitudinal es atravesado por el eje de transmisión (10) tanto para eje trasero y delantero.

**Figura 4. 33**

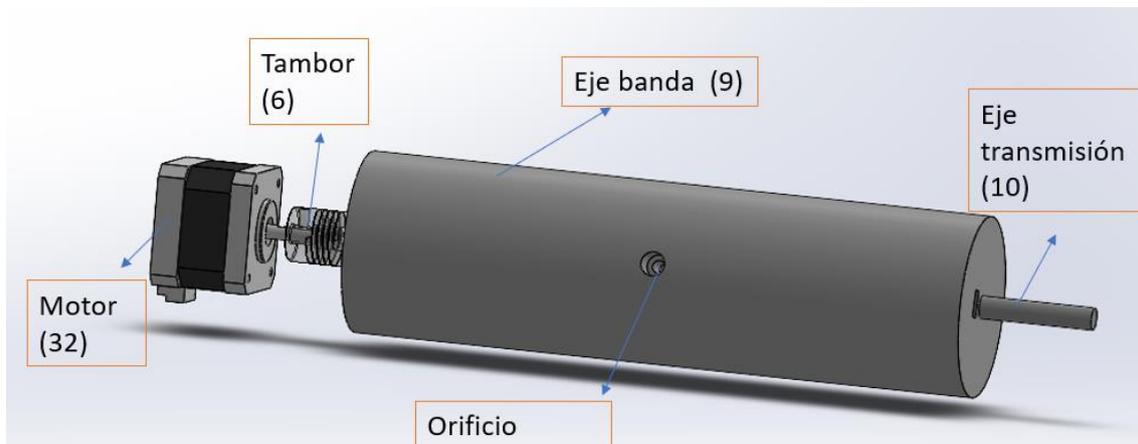
*Ejes de banda; a) eje de banda trasero b) eje de banda delantero*



Para fines prácticos ya que el eje de banda (9) trasero tan solo está sujeto a rodamientos sin soportar la fuerza directa del motor o del eje transmisión se despreciará el estudio de este concentrándose en el eje de banda (9) delantero y su acople con el eje de transmisión. Tal y como se muestra en la figura 4.35.

**Figura 4. 34**

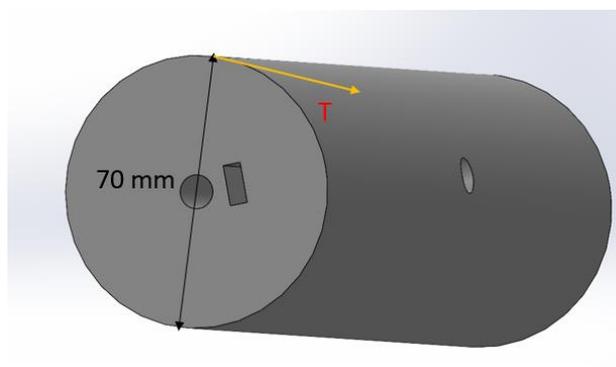
*Eje de banda delantero*



Se debe considerar que existe un cambio de diámetro por lo tanto el par torsor deberá cambiar para el análisis, dado que el eje no tiene un punto de fijación en ningún extremo, sino que gira soportada con la ayuda del motor (32) y chumacera (25) como se muestra en la figura 4.36.

**Figura 4. 35**

*Representación del torque en el eje de banda*



Para comenzar los cálculos entonces se tiene que en la Ec. 4.18 al cual representa la distancia por la fuerza.

$$T = F \times L \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde:

T: es el torque

F: es la fuerza (N)

L: Longitud (m)

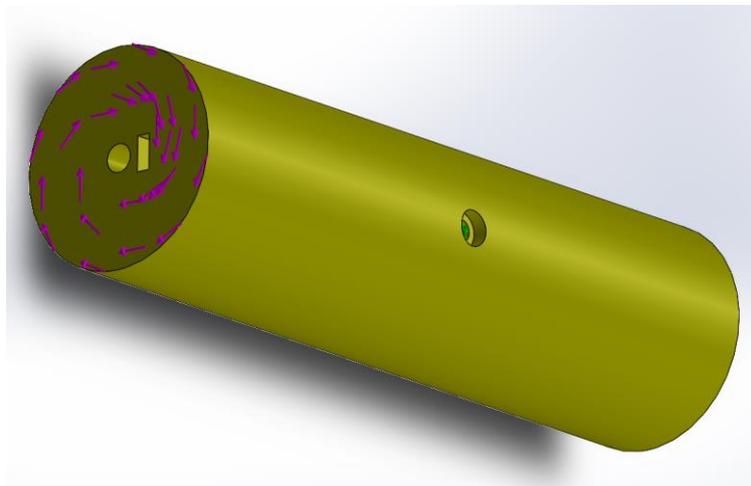
Sustituyendo en la Ec. 4.18, se obtiene:

$$T = 0,021 Pa$$

Dada esta consideración se prosigue al análisis de fuerzas, en este caso el punto a estudiar debido a la función de la pieza. Es el orificio que cruza de forma transversal para la sujeción con el eje de transmisión (10). En la figura 4.38 se muestra los puntos de apoyo y aplicación de la fuerza.

**Figura 4. 36**

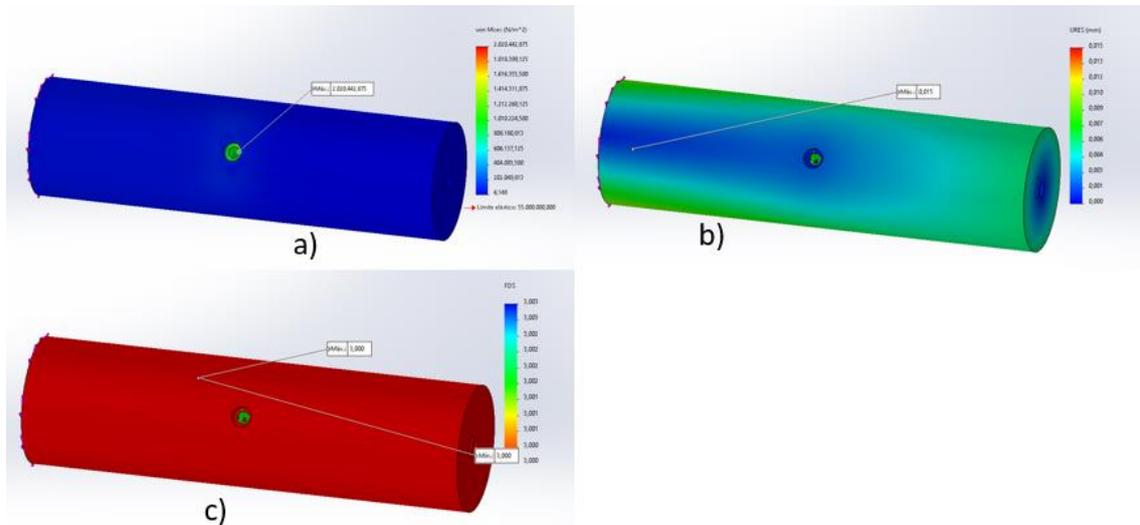
*Aplicación de fuerzas y definición de apoyos sobre eje de banda*



Entonces dada la Ec. 4.18 se tiene el análisis estático en la figura 4.38

**Figura 4. 37**

*Análisis eje banda; a) esfuerzo de Von Mises (Pa) b) desplazamiento máximo (mm) c) factor de seguridad*



En la tabla 4.12 se detallan los valores de desplazamiento y factor de seguridad, de lo que se observa que el eje de banda (9) no está sometido a grandes fuerzas a pesar de estar directamente con el eje de transmisión (10), se consideró un factor de seguridad de 3 para ser conservadores.

**Tabla 4. 10**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

<b>Elemento</b>	<b>Esfuerzo Máximo [Pa]</b>	<b>Desplazamiento Máximo [mm]</b>	<b>Factor de seguridad</b>
Tambor	$592,21 \times 10^3$	0,015	3

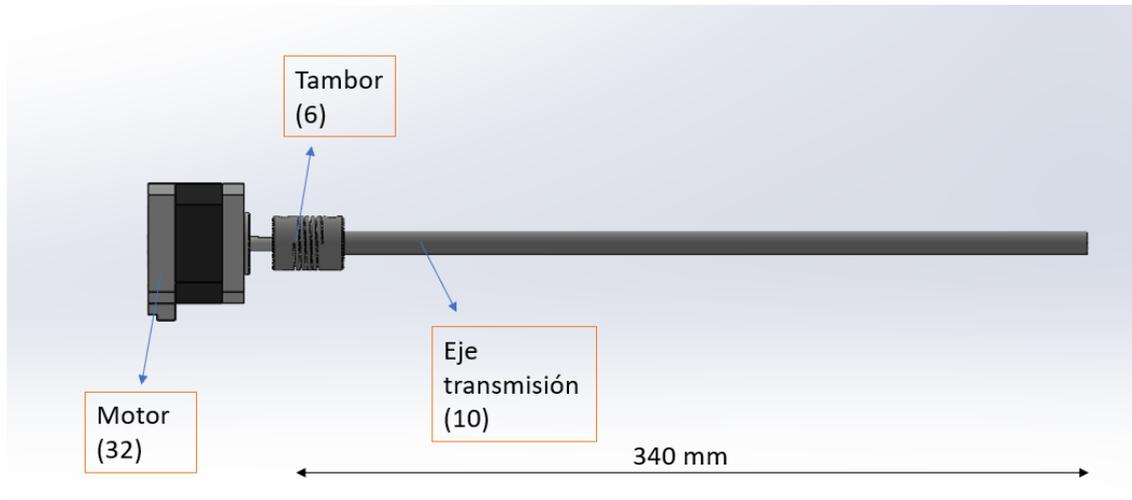
### **Ejes de transmisión**

Para el caso de los ejes de transmisión se tiene a dos piezas cilíndricas, las cuales tienen de diámetro 8 mm y una longitud de 340 mm. Su función es transmitir el movimiento del motor hacia el eje de banda en el caso del eje de transmisión delantero (29) se soporta del lado derecho con la ayuda de una chumacera (25). Para el caso del eje de transmisión trasero (10) permite que el eje de banda se mueva conforme se va moviendo la banda, para ello tienen rodamientos en cada uno de los extremos que permiten esta acción. Como se muestra en la figura 4.30 y 4.3. En la figura 4.40 se detalla la longitud de eje y como

está conectado a los demás componentes para el estudio de este se lo realizará con el componente del tambor (6).

**Figura 4. 38**

*Eje de transmisión y demás componentes*



El material del eje de transmisión es un AISI 1018 en la tabla 4.13 se detallan las características de dicho material para el análisis.

**Tabla 4. 11**

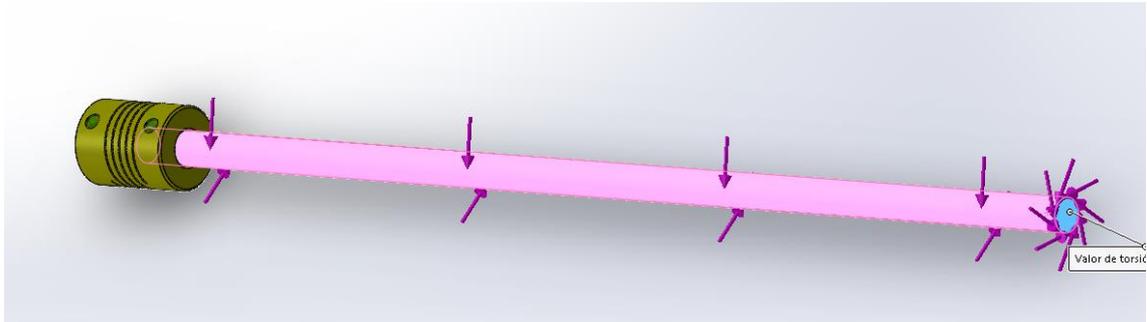
*Propiedades físicas AISI 1018*

Propiedad Física	Valor
Densidad	7.87[g/cm <sup>3</sup> ]
Resistencia a tracción	440[MPa]
Resistencia a flexión	370[MPa]
Módulo de elasticidad	205[GPa]
Temperatura de deformación	55[°C]

Basándose en la tabla 4.10 se observa que el par de torque del motor es de 0.6 Nm que se transmite a través del tambor. Con fines prácticos se tomará de esta forma con el objetivo de ser conservador y demostrar que el eje no falla. En la figura 4.40 se observa los puntos de apoyo y las fuerzas aplicadas.

**Figura 4. 39**

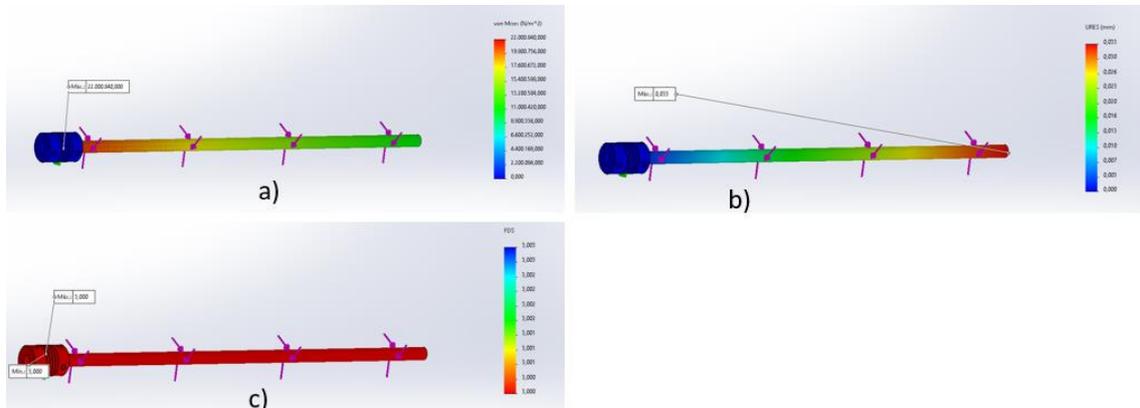
*Puntos de apoyo y fuerzas sobre eje de transmisión*



Entonces se obtiene los resultados de dicho estudio en la figura 4.42 que muestra que la zona crítica es la que está cerca del tambor llegando al máximo de esfuerzo, y con un desplazamiento de 0,033 mm los cuales están detallados en la tabla 4.14 para mejor comprensión.

**Figura 4. 40**

*Análisis eje de transmisión; a) esfuerzo de von Mises (Pa) b) desplazamiento máximo (mm) c) factor de seguridad*



**Tabla 4. 12**

*Resultado de análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad*

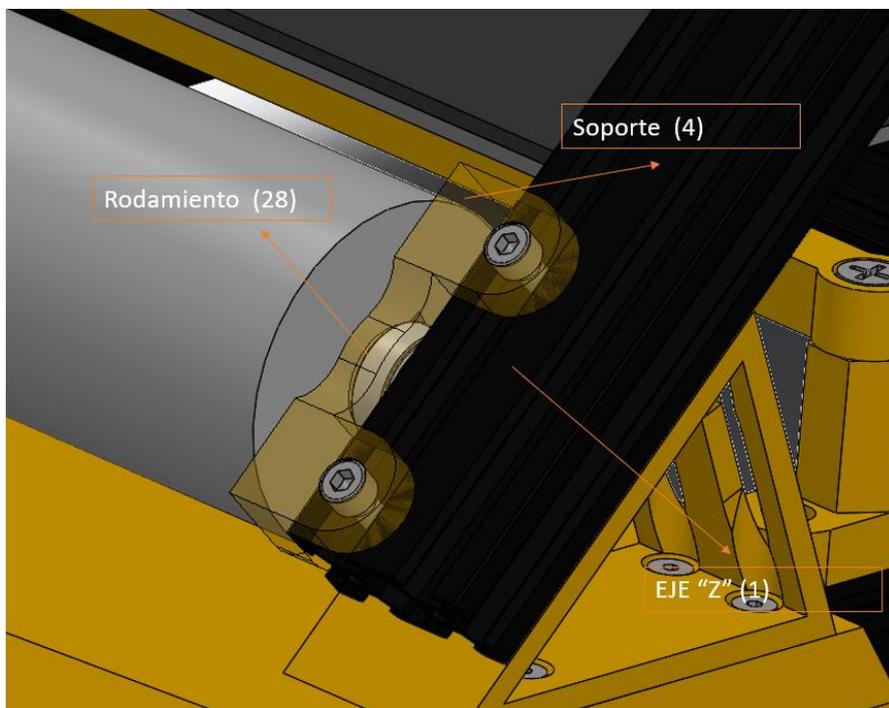
Elemento	Esfuerzo Máximo [Pa]	Desplazamiento Máximo [mm]	Factor de seguridad
Eje de transmisión	$22 \times 10^6$	0,033	3

### **Soporte EJE-PERFIL**

Esta pieza tiene la función de acoplar sobre el eje “Z” (1) el eje de banda (9) junto con el eje de transmisión trasero (23). Cuenta con orificios en los cuales se alojan rodamientos para permitir el movimiento angular de los ejes de transmisión. En la figura 4.43 se muestra como esta acoplada el je soporte eje-perfil (4). Ya que esta pieza soporta el eje de banda trasero, no está sometido a fuerzas importantes para el estudio por lo que se desprecia su estudio mecánico.

**Figura 4. 41**

*Soporte de eje de banda ensamblado*

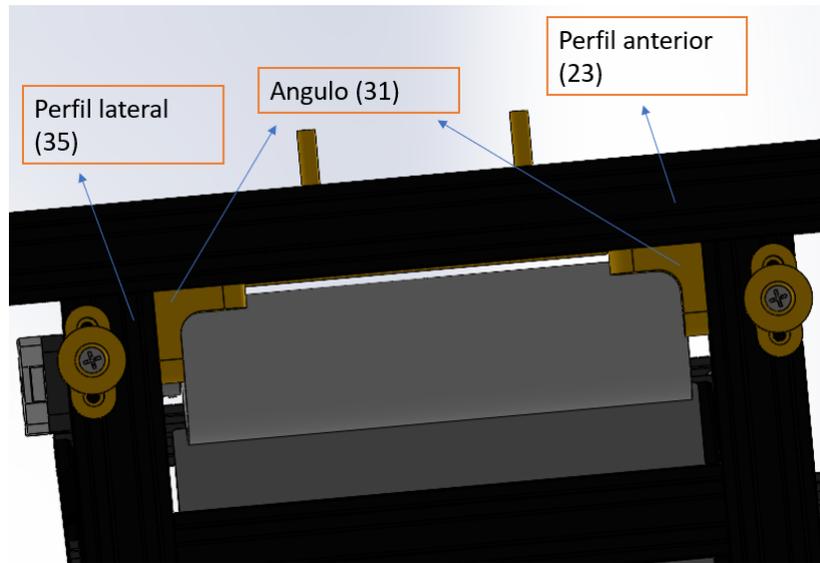


### **4.4.6 Chasis**

Para el caso del chasis la modificación que se realiza es la de reforzar las uniones de los perfiles de aluminio lateral (35) y anterior (26), esto se realiza con un ángulo inferior para base (31) de cada lado.

**Figura 4. 42**

*Posición de ángulo para la sujeción de las piezas*



Dado el gráfico 4.44 se observa que las cargas alas que está sometido los ángulos no están directamente relacionados con la impresora 3D, dado que la función de esta pieza es el de reforzar la unión entre los perfiles (35) y (23).

#### **4.4.7 Cambio de firmware**

El firmware de la impresora 3D como se habla de ello en el capítulo del marco teórico permitirá la configuración de los actuadores de la máquina. Una vez especificado esto se tiene que tomar en cuenta que la impresora 3D trabaja con una tarjeta madre Ruby como se muestra en la figura 4.45. Para poder controlar el funcionamiento correcto de los actuadores y sensores se utiliza el firmware antes mencionado. Ya que todo lo relacionado a impresión 3D hoy es de librerías de código abierto y que en el caso de la marca Artillery el propio fabricante distribuye actualizaciones para sus usuarios.

**Figura 4. 43**

*Placa Madre Ruby 32 Bits*



El firmware actual de esta impresora 3D trae por defecto las aceleraciones y las velocidades de los motores a paso de los ejes y de los extrusores. Como se muestra en la tabla 4.15.

**Tabla 4. 13**

*Detalles de las configuraciones de los motores de los ejes finales*

<b>Elemento</b>	<b>Velocidad máxima [mm/s]</b>	<b>aceleración</b>	<b>Pasos x mm</b>
Eje "X"	300	2000	80,1
Eje "Y"	300	2000	400
Eje "Z"	50	100	16,9

Para hacer funcionar la impresora 3D con la consideración de un Eje "Y" de longitud infinita o que tiende al infinito, se debe cambiar los pasos del motor del eje "Y" que es donde se aloja el movimiento de la banda.

El límite del avance del extrusor a través del eje “Z” para poder decir a la impresora el límite de avance a través de este. Para eso se debe de usar el final de carrera del eje “Y” en el eje “Z” como se detalla en la figura 4.46.

**Figura 4. 44**

*Detalles de cambios en el firmware*

```
741 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
742 */
743 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80.121, 80.121, 400, 445 }
744
745 /**
746 * Default Max Feed Rate (mm/s)

624 #define USE_ZMIN_PLUG
625 #define USE_XMAX_PLUG
626 //#define USE_YMAX_PLUG
627 //#define USE_ZMAX_PLUG
628
```

## 4.5 Construcción y Ensamblaje.

El proceso de construcción del sistema de transporte continuo para la fabricación de prototipos con una impresora 3D comienza con el proceso de laminado de las piezas diseñadas. En el software Ultimaker Cura 5.2.1 el cual configura los parámetros de construcción de las piezas construidas por FDM en impresión 3D. Ya que la impresora 3D Artillery Hornet es completamente funcional es la que se ocupara para la fabricación de las piezas.

### 4.5.1 Parámetros de configuración en el laminador

Como se especifica en al marco teórico los parámetros más importantes a tener en atención son los perímetros, carcasas superiores e inferiores, relleno, altura de capa y material dado que el consumo energético y el material generan un costo que se tratara en la siguiente sección de este capítulo se trata de llegar a un punto de equilibrio para tener piezas de calidad y con la mejor resistencia mecánica posible para poder cumplir su función sin ningún problema. En la tabla 4.16 se detallan los parámetros y las calidades

**Tabla 4. 14**

*Tabla de comparación de parámetros de calidades de impresión*

Calidad	Altura de capa	Nº de perímetros	Nº de carcasas superiores e inferiores	Densidad de relleno	Patrón de relleno	Velocidad de impresión [mm/s]
Fino	0,12	7	9	25	rejilla	50
Normal	0,2	4	6	10	rejilla	60
Rápido	0,4	2	3	7	rejilla	70

En la siguiente tabla 4.17 se hace la comparación de tiempo y material requerido para la fabricación de soporte en ángulo (23) el cual será laminado con las tres calidades para determinar cuál será el mejor tal como se muestra en la figura 4.46.

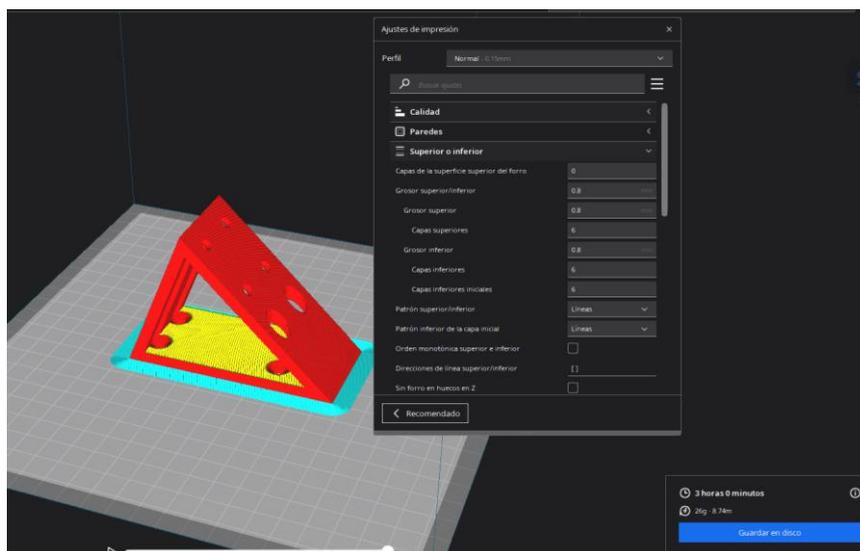
**Tabla 4. 15**

*Comparación tiempo material*

Calidad	Tiempo [min]	Material [m]
Fino	270	8,39
Normal	180	8,74
Rápido	120	8,31

**Figura 4. 45**

*Laminado del soporte en ángulo*



Dados los tiempos y material necesario para la construcción de las piezas se procede a crear un perfil, el cual este basado en el perfil normal con la diferencia de reducir ciertos parámetros como se muestra en la tabla 4.18 y el resultado de los cambios se muestran en la tabla 4.19.

**Tabla 4. 16**

*Perfil personalizado para la impresión*

<b>Calidad</b>	<b>Altura de capa</b>	<b>N° de perímetros</b>	<b>N° de carcasas superiores e inferiores</b>	<b>Densidad de relleno</b>	<b>Patrón de relleno</b>	<b>Velocidad de impresión [mm/s]</b>
Personalizado	0,2	4	4	20	rejilla	60

**Tabla 4. 17**

*Comparación tiempo y material ocupado por los perfiles de calidad*

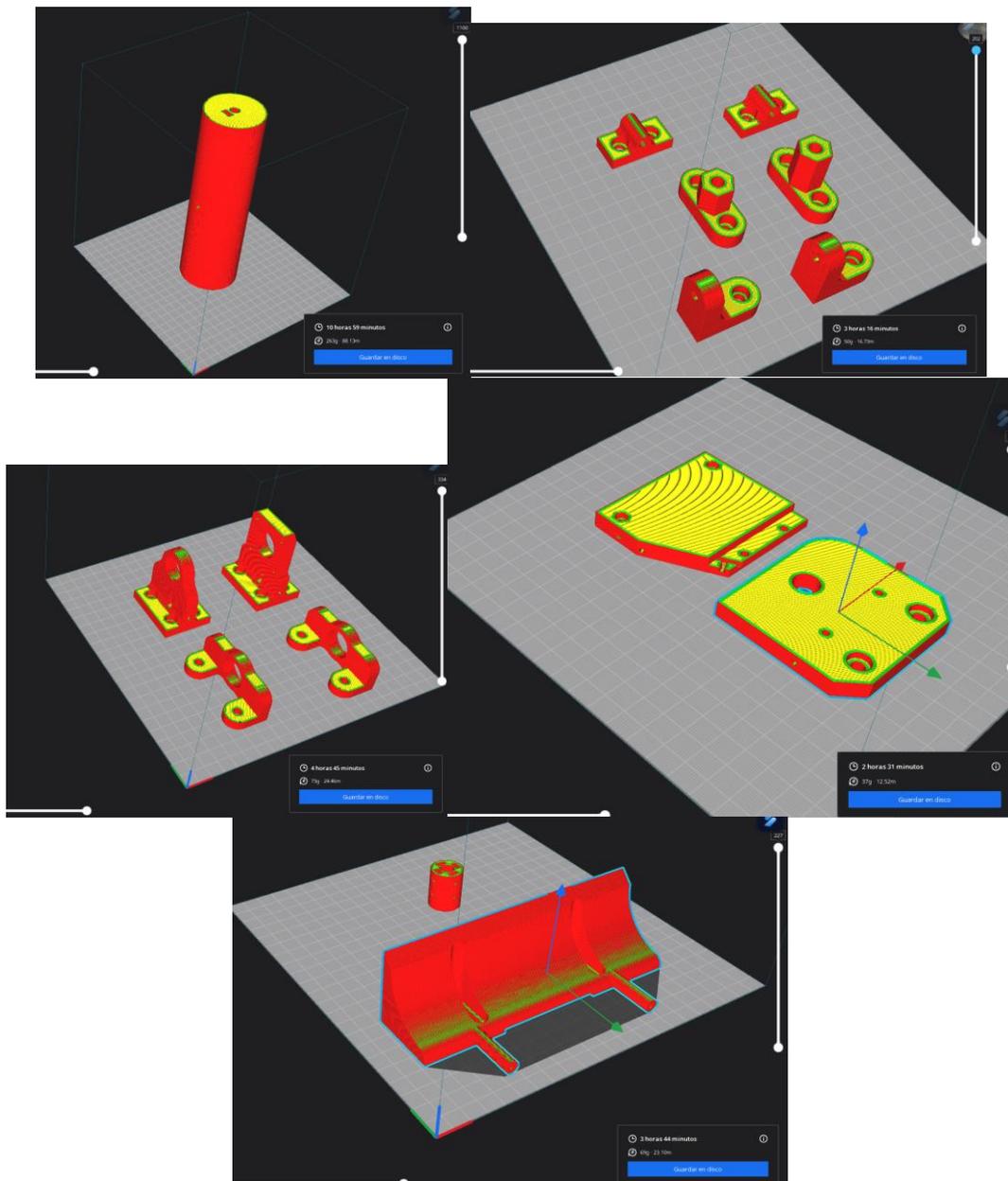
<b>Calidad</b>	<b>tiempo [min]</b>	<b>material [m]</b>
Fino	270	8,39
Normal	180	8,74
Rápido	120	8,31
Personalizado	120	10,21

Como se observa en la tabla 4.19 existe un ahorro de tiempo de fabricación, pero un incremento en el uso de material, debido a que el costo del material es más bajo en comparación que el costo de consumo eléctrico no existe problemas y se tratara más a fondo en la sección de análisis de costos.

Continuando con la parte de construcción de las piezas, una vez ya se tiene el perfil para su construcción mediante la impresión 3D, se debe tomar en cuenta la orientación para cada pieza para la construcción dado que en la impresión 3D es un aspecto muy importante. Por lo tanto, se procede a fabricar piezas de similar geometría en el mismo ciclo como se muestra en la figura 4.48.

**Figura 4. 46**

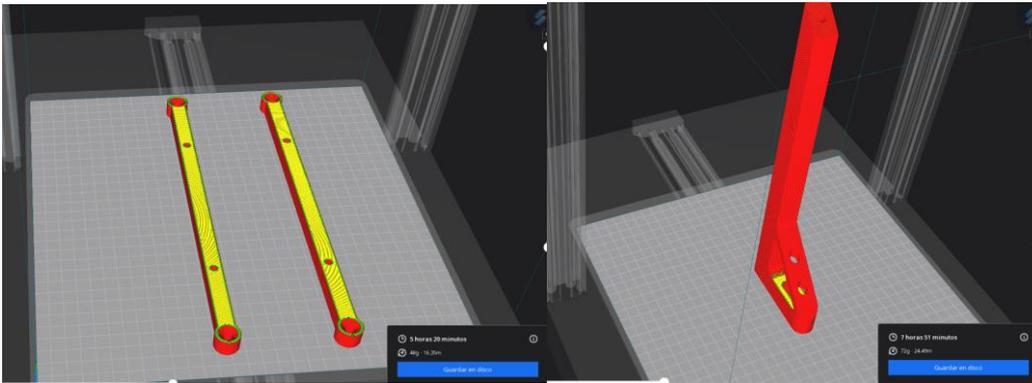
*Laminado de piezas para construcción*



Todas las piezas de la figura 4.47 fueron construidas en una Artillery Hornet, pero para el caso de las piezas de la figura 4.49 debido a que su tamaño excede las dimensiones máximas de impresión de la impresora 3D Hornet se hizo uso de una Artillery SideWinder X2.

**Figura 4. 47**

*Laminado de piezas grandes*



Una vez ya fabricado todas las piezas que se requieren el siguiente paso es el ensamble de estas en la máquina para ello se procede a desarmar la impresora 3D Artillery Hornet.

**Figura 4. 48**

*Impresora 3D desarmada*



Para el ensamblaje de las piezas fabricadas sobre la impresora se comienza con la cama térmica sacándola juntamente con el eje Y el motor y todo lo que consta de este. Ya que se tiene la impresora en desarmada esa parte se puede aprovechar para ensamblar las bases en la parte delantera.

**Figura 4. 49**

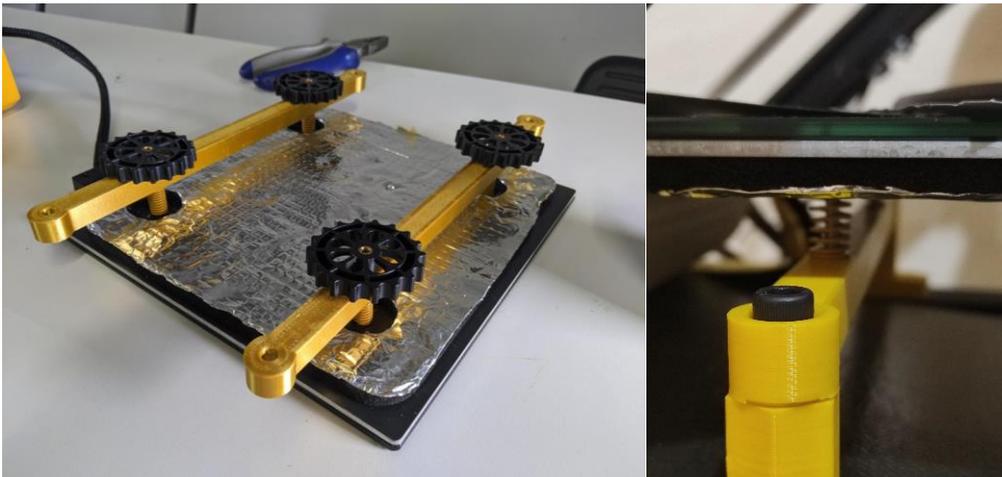
*Ensamble de las bases*



Conjuntamente se puede colocar las barras receptoras de resortes en la base de la cama térmica.

**Figura 4. 50**

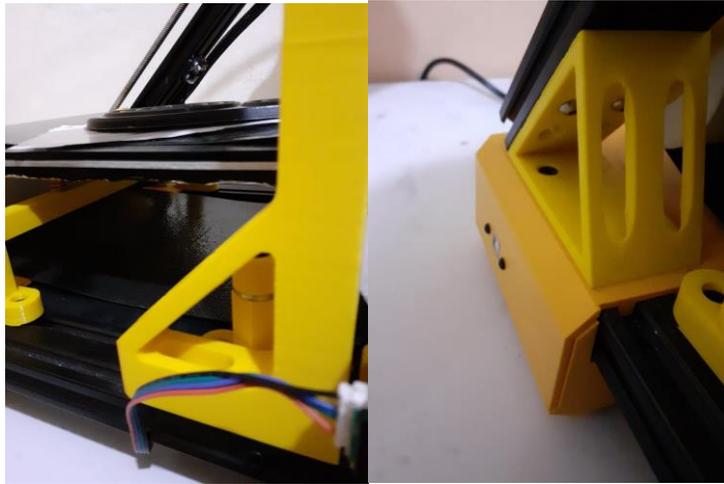
*Ensamble de la cama térmica*



El siguiente paso es el de colocar el conjunto de ejes “X-Z” soportado en el ángulo soporte y el pilar soporte sobre los perfiles laterales.

**Figura 4. 51**

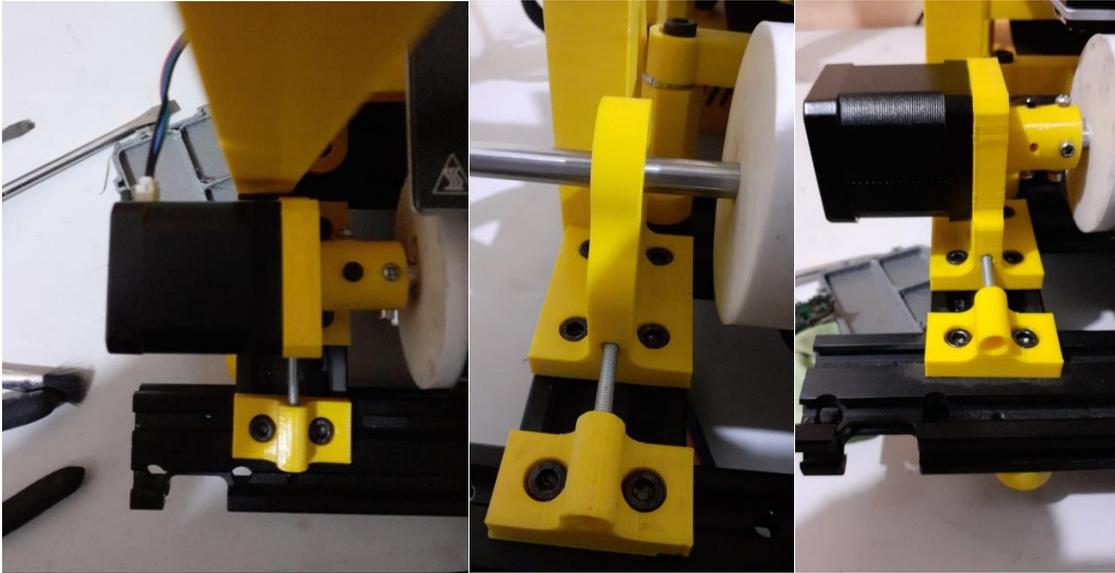
*Ensamble de los soportes*



La siguiente sección en colocar es la parte restante de la banda en la parte delantera que se detalla en la figura 4.54. En la figura 4.55 se detalla el armado de la parte trasera de la banda

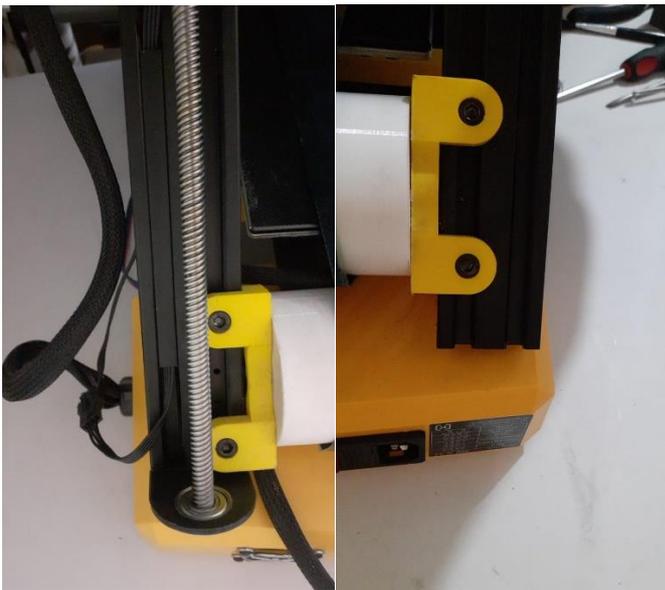
**Figura 4. 52**

*Ensamble parte delantera de la banda*



**Figura 4. 53**

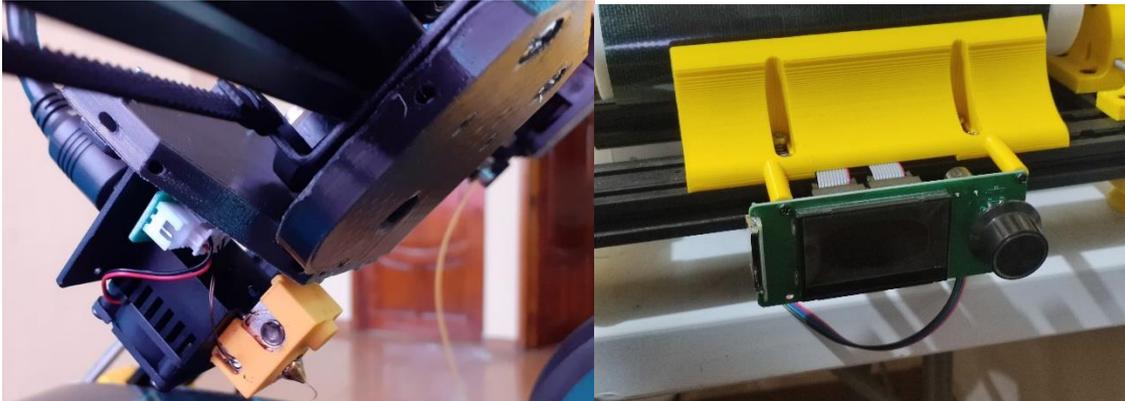
*Ensamble parte trasera de la banda*



Para finalizar el ensamble se muestra en la figura 4.56 a) kit de extrusor y b) soporte de la pantalla para la manipulación de esta.

**Figura 4. 54**

*Ensamble partes finales a) kit de extrusor b) soporte de pantalla*



#### **4.6 Análisis de Costos**

Como se explicó en la tabla 4.18 y 4.19 acerca del perfil de calidad personalizado, el tiempo y material ocupado se procede a realizar en base a esos parámetros el costo del sistema. Partiendo del costo de los 100 kW en el Ecuador, se detalla el costo por hora de impresión basados en datos de la empresa Emel norte y los datos técnicos de la impresora 3D Artillery Hornet son 350kW y una impresora 3D Artillery SideWinderX2 es de 750kW por lo tanto se obtiene que el precio de la hora de impresión para cada una está detallado en a la siguiente tabla.

**Tabla 4. 18**

*Costo por hora de impresión para cada modelo de impresión*

<b>Costo 100 kw [ctvs.]</b>	<b>Modelo de impresora</b>	<b>Consumo x h[kw]</b>	<b>Precio x h de impresión [ctvs.]</b>
9,2	Hornet	350	32,2
9,2	Sidewinderx2	750	69

Para el costo de material se debe tomar en cuenta el precio de cada carrete de filamento para impresión 3D y la cantidad de metros que vienen en el de forma que el precio por metro es igual a:

**Tabla 4. 19***Precio por metro de material utilizado*

<b>PRECIO ROLLO</b>	<b>CANTIDAD DE METROS</b>	<b>PRECIO X m [ctvs.]</b>
20,00	330,00	0,06

El siguiente dato que se ocupar el cálculo del costo de cada pieza es el tiempo utilizado para el diseño de cada pieza y el sistema en general. Tomando en cuenta esa consideración se tiene la siguiente tabla.

**Tabla 4. 20***Precio de la hora de trabajo*

<b>Salario básico mensual</b>	<b>Hora de trabajo</b>
\$450	\$2,81

Para el diseño en total se ocuparon alrededor de 16 horas por lo tanto el costo de diseño es de \$44,96. con este último dato en la siguiente tabla se detalla el precio de cada componente y el precio del sistema en general.

**Tabla 4. 21***Detalle de precio de fabricación por pieza*

<b>N°</b>	<b>Denominación</b>	<b>Material utilizado [m]</b>	<b>Tiempo de impresión [h]</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
1	Soporte en ángulo	20	4,5	2	\$ 5,30
2	Soporte cama	3,19	5	4	\$ 7,21
3	Bases	4,33	0,7	2	\$ 0,97
4	Ángulo base	3	0,5	2	\$ 0,68
5	Tambor	2,15	0,25	1	\$ 0,21
6	Chumacera	7,12	1,2	1	\$ 0,81

7	Soporte motor	8,3	1,5	1	\$	0,98
8	Soporte eje-banda	4,33	0,8	2	\$	1,03
9	Soporte pantalla	20,94	3,2	1	\$	2,29
10	Tensionador	1,9	0,25	2	\$	0,39
11	Pilar soporte	24,5	8	2	\$	13,98
12	Barra de resorte	8,58	2,8	2	\$	4,89
13	Eje banda	80,5	11	2	\$	24,84
14	Abrazadera	12,52	2,5	1	\$	2,48
					TOTAL	\$ 66,06

A ese valor de \$ 66 se debe sumar el valor de 44,96 obteniendo un total de \$111 dólares en piezas impresas que representan la mayoría del sistema. El único valor que resta aumentar es la banda que en todo el sistema fue el único componente que tuvo que ser importado por lo tanto el valor final del sistema vendría siendo igual a:

**Tabla 4. 22**

*Sumatoria final del costo del sistema*

<b>Denominación</b>	<b>Valor</b>
Piezas fabricadas	\$ 111,00
Banda importada	\$ 72,50
Ejes de transmisión	\$ 25
Total	\$ 208,50

Con el valor final de \$208,50 dólares americanos se cumplen con la condición inicial que el costo del sistema no debe exceder un monto de \$250.

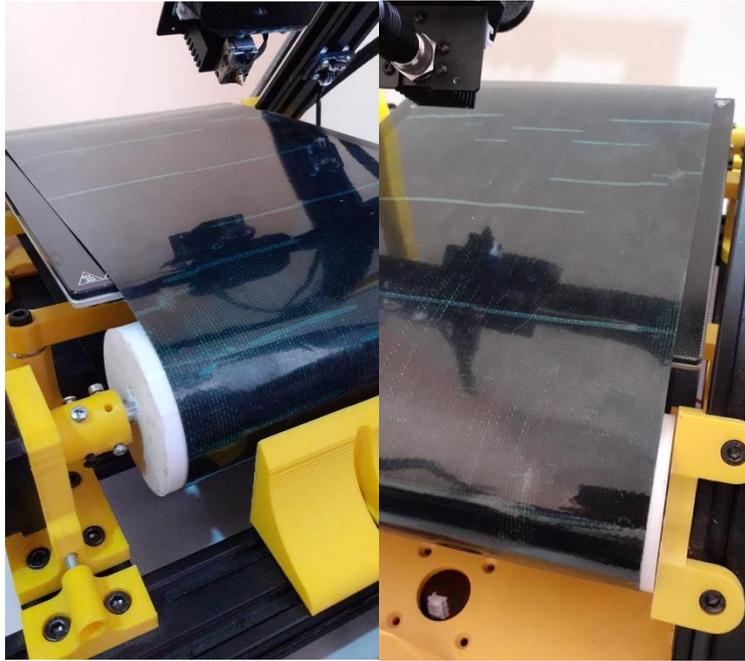
#### **4.7 Pruebas de Funcionamiento**

Para poder comenzar a realizar las pruebas de funcionamiento lo primero que se debe realizar es la calibración de la impresora 3D con el sistema, esto es calibrar tanto la altura

de la cama, como la tensión de la banda transportadora con ayuda de los tensionadores como se muestra en la figura 4.57.

**Figura 4. 55**

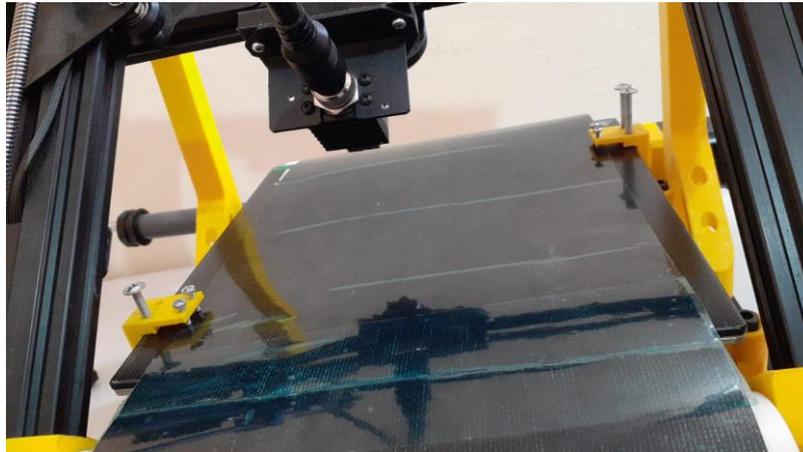
*Tensión de la banda transportadora*



Como se observa en la figura 4.58 la banda tiende a irse por los costados debido al movimiento, debido a ello se optó por fabricar un sujetador para que estos sujeten a la banda en cada extremo como se muestra en la figura 4.57.

**Figura 4. 56**

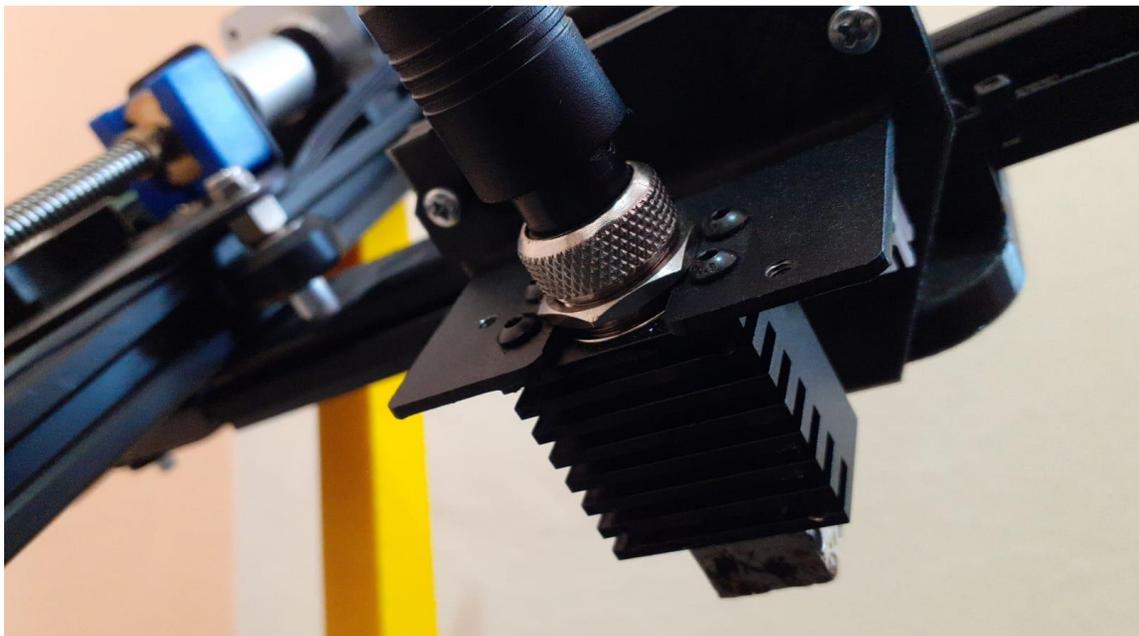
*Sujetadores de Banda*



Otro del cambio que tuvo que realizar es el de la composición del kit extrusor debido a que este choco con la banda transportadora debido al ventilador. Este alcanzaba la cama caliente antes que la boquilla por lo tanto se lo debe retirar y modelar un nuevo modelo para la sujeción de este que se lo deja par posteriores trabajos debido al corto tiempo de ejecución que se tiene para este trabajo de grado.

**Figura 4. 57**

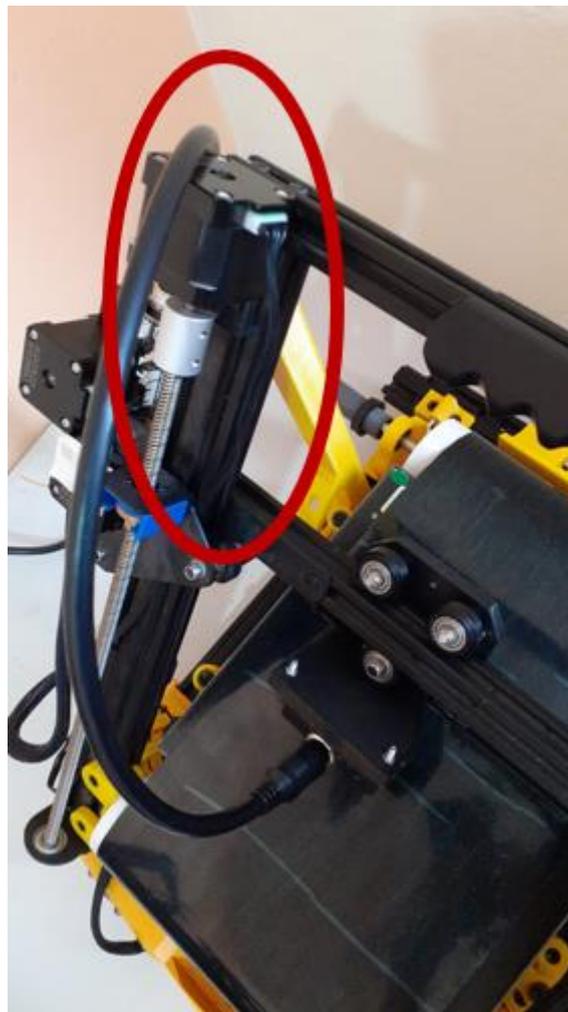
*Kit de Extrusor sin ventilador*



También se debe tener cuidado al momento de manipular la máquina debido a que el cable de datos interfiere con el motor de eje Z por lo tanto es algo en tener en cuenta para próximos trabajos y cambiar la posición del motor del alimentador de filamento.

**Figura 4. 58**

*Interferencia del cable de datos y el motor del eje Z*

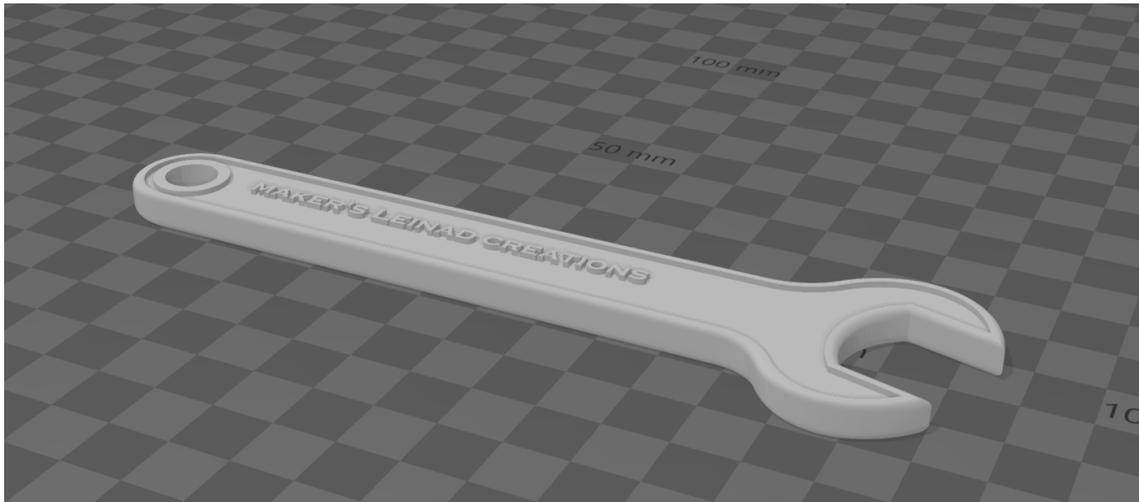


Una de las finalidades del sistema de impresión continua es mejorar el tiempo de fabricación de piezas en serie sin la intervención del operario. Para comenzar el proceso de pruebas primero se debe preparar la pieza a producir en el laminador especial para poder dar la orden correcta a la máquina de cómo se debe colocar la pieza. En este caso el software que se va a ocupar es el de Creality Slicer 4.8.2 que tiene la opción para impresoras de banda continua. Para la prueba de funcionamiento de este caso se va a

utilizar un moldeo 3d de una llave fija como se muestra en la figura 4.56 el modelo debe de fabricarse un total de 14 veces, con el fin de comparar los tiempos que se tomará para terminar la pieza sin el sistema y otra con la implementación del sistema se van a producir 7 piezas en cada una de ellas.

**Figura 4. 59**

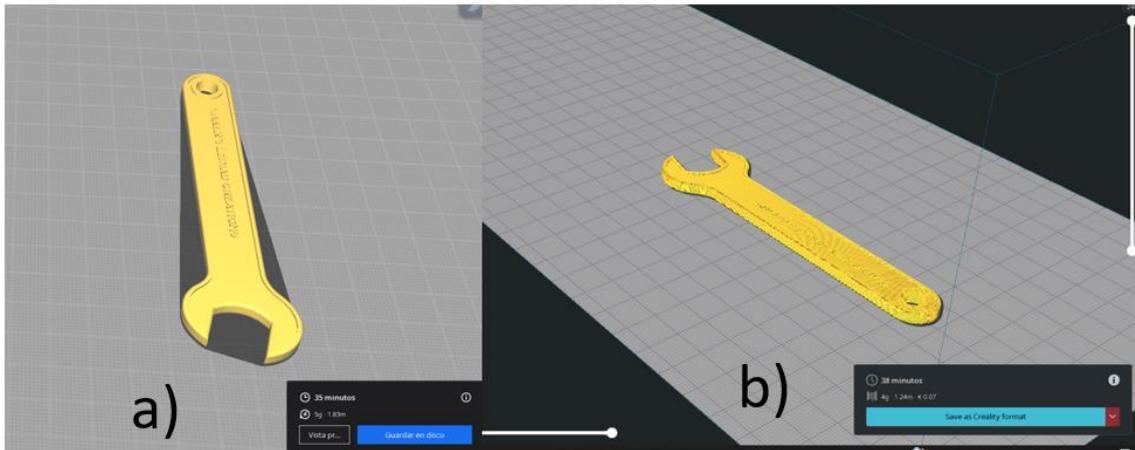
Modelo de pieza a imprimir.



La primera consideración que se debe tomar en esta fabricación es el de tener similares parámetros de impresión es decir las capas superiores e inferiores, los perímetros, densidad de relleno y altura de capa deben ser los mismos, una vez aclarado eso se hace la comparación del tiempo que tomaría imprimir una pieza en cada una de ellas como se detalla en la tabla 4.25 y se puede observar en la figura 4.57.

**Figura 4. 60**

Comparación de tiempo de fabricación; a) laminado en cura para modelo convencional de impresora 3D  
 b) lamiendo en Creality para sistema implementado.



**Tabla 4. 23**

Tabla comparativa

	Tiempo/u [min]	Unidades requeridas	Tiempo total[min]	Unidades máximas
Hornet convencional	35	7	245	4
Hornet con sistema	30	7	210	7
		Diferencia	35	3

De la tabla 4.25 se puede observar una diferencia de 35 minutos a favor de la impresora con el sistema incorporado, también se detalla que al momento del montado de las piezas a fabricar nota la limitada capacidad de la impresora convencional la tan solo albergar 3 piezas para una impresión optima y funcional.

Lo que quiere decir que debe hacer otros 2 ciclos de piezas impresas. Aproximadamente le tomo al usuario 7 min el esperar que la cama caliente descienda levemente de

temperatura para poder retirar las piezas, sumándole los minutos que se necesitaron para poder calentar el extrusor y la cama son 5 minutos más entonces en la tabla 4.26 se presentan los resultados finales.

**Tabla 4. 24**

*Tabla de resultados finales*

<b>Modelo de impresora</b>	<b>Tiempo /ciclo [min]</b>	<b>N° de ciclos</b>	<b>Tiempo de enfriado [min]</b>	<b>Tiempo de calentado [min]</b>	<b>Tiempo total [min]</b>
Hornet convencional	106	3	7	5	277
Hornet con sistema	210	1	0	0	210
				Diferencia	67

Tal y como se muestra existe una diferencia de 67 min en la fabricación de las piezas, esto quiere decir que en grandes producciones en serie se puede ahorrar mucho más de tiempo lo que significa que la productividad aumenta sin tener que intervenir el operario. Al no tener inactividad la impresora 3D, se puede optar por la alternativa de trabajar fuera de las horas de trabajo del operario, esto aumentado la productividad de la empresa.

## 5 CONCLUSIONES

En el proceso de la realización de este trabajo de grado, se llevó a cabo una revisión de los aspectos relevantes con la tecnología de impresión 3D, centrándose en la impresora 3D modelo Artillery Hornet, Este proceso permitió comprender a fondo las características y limitaciones de la dicha impresora, brindado una base sólida para la implementación del sistema de transporte continuo.

En la etapa del diseño, se consideraron los aspectos para desarrollar un mecanismo que permitiera la impresión continua de prototipos en la impresora 3d modelo Artillery Hornet. El sistema resultante no afectó considerablemente las dimensiones iniciales de la impresora 3D modelo Artillery Hornet dando como resultado 390 x 477.50 x 435.82 mm.

El sistema al ser diseñado con una inclinación de 45° tiene como ventaja el reducir errores y fallos de impresión como los son el warping y el cracking. También ayuda para fácil impresión de voladizos de 45 grados sin la necesidad de soportes. El diseño permite que, al momento de una falla de algún componente, sea fácilmente desmontable y se puede cambiar la pieza.

La construcción del sistema de transporte continuo fue un punto muy significativo en este trabajo de titulación. El 90% del sistema a implementar se puede fabricar mediante impresión 3D con la misma impresora 3D antes de cualquier adaptación. Por ende, la disponibilidad de repuestos es inmediata, cabe recalcar que el único componente especial es el material de la banda transportadora. El peso final de 6,9 kg lo que hace que en comparación con su peso inicial de 5.5 kg no sea considerable el aumento de peso. El sistema tiene un costo final de 208,50 dólares americanos lo cual cumple con las condiciones del cliente de no sobrepasar los 250 dólares americanos. Al final de la construcción se observó que la impresora 3D consume un poco más de tiempo al momento de calibrar el eje Z con respecto a la cama, Una vez realizado esa calibración esta lista para imprimir y ya que se construyó y diseñó dentro del país el mantenimiento hace que se puede hacer de manera inmediata sin necesidad de alguna pieza especial.

De las pruebas y evaluaciones del sistema de transporte continuo realizadas se concluyó que el sistema permite imprimir piezas de manera secuencial sin la necesidad e la intervención del operario, lo que la hace factible para trabajar de manera autónoma en las noches. Para imprimir piezas de gran longitud lo puede hacer hasta piezas de 700 mm sin la necesidad de algún otro aditamento.

También se debe tomar en cuenta que se logró reducir gastos en la empresa siendo así que el modelo de impresora 3D comercial que ya cuenta con este sistema de banda

continua tiene un costo de 1.500 USD en el mercado nacional, mientras que con la implementación la impresora logro un costo de 508,50 USD.

## **6 RECOMENDACIONES**

Para un mejor control y manejo de la impresora y del sistema en si se puede optar por un cambio de pantalla y una adaptación de carcasa para proteger la pantalla

Para la zona de alimentación del filamento en este caso Buwden, se debe cambiar de posición ya que esto con lleva a una pequeña torsión en el cable de datos y a largo plazo puede traer complicaciones

Se debe adaptar un contenedor a la salida de las piezas para que estas no sufran un daño

Se recomienda utilizar un laminador adecuado para impresoras con cinta transportadora en este caso se utilizó el Creality Slicer

Para le manipulación de impresora se recomienda que tenga un solo puesto de trabajo dado que la calibración del eje Z lleva tiempo en realizarse.

## 7 REFERENCIAS

- [1] D. Günther, B. Heymel, J. F. Günther, y I. Ederer, «Impresión 3D continua para aditivos fabricación». [En línea]. Available: [www.emeraldinsight.com/1355-2546.htm](http://www.emeraldinsight.com/1355-2546.htm)
- [2] R. Electronics, «3D Printing Technologies | Types of 3D Printing | Rookie Electronics | Electronics & Robotics Projects», *FDM | Fused Deposition Modeling*, 2019. <http://rookieelectronics.com/3d-printing-technologies-types/> (accedido nov. 15, 2022).
- [3] Meza Luis, «Diseño e implementación de un sistema automatizado para una banda transportadora de C.A sucesora de José Puig y CIA mediante la aplicación de controladores lógicos programables», 2011.
- [4] C. Andrés y M. Chaves, «DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DE BANDA CONTINUA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS Y PROTOTIPOS DE MANERA RÁPIDA Y EFICIENTE PROYECTO», 2019.
- [5] J. Xavier, L. Medina, y E. T. Díaz, «DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D QUE APLICA LA TÉCNICA DE PROTOTIPADO RÁPIDO MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA.», 2013.
- [6] ALEX SANTIAGO IZA ALMACHI y PAÚL ALFREDO LEMA OSORIO, «IMPLEMENTACIÓN DE UNA IMPRESORA 3D DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC PARA LA PRODUCCIÓN DE PROTOTIPOS DE PLÁSTICO QUE TECNIFICARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI», 2016.
- [7] RAFAEL BOBO GARCÍA, «Diseño de una impresora 3D capaz de crear múltiples objetos simultáneamente», 2013.
- [8] D. Günther, B. Heymel, J. F. Günther, y I. Ederer, «Continuous 3D-printing for additive manufacturing», *Rapid Prototyp J*, vol. 20, n.º 4, pp. 320-327, jun. 2014, doi: 10.1108/RPJ-08-2012-0068.
- [9] L. Gómez Reyes, «ANÁLISIS DOCUMENTAL DE LOS INCONVENIENTES DE LA IMPRESIÓN 3D», *3C Tecnología Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, vol. 6, n.º 3, 2017, doi: 10.17993/3ctecno.2017.v6n3e23.48-53.
- [10] L. Gómez Reyes, «Análisis documental de las ventajas de la impresión 3D», *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, vol. 6, n.º 11, 2017, doi: 10.23913/reci.v6i11.56.
- [11] J. Prusa, «PRINCIPIOS BÁSICOS DE IMPRESIÓN 3D», 2020.
- [12] S. Sanchez, «FDM o modelado por deposición fundida, te explicamos todo!», *3D natives*, 2017.
- [13] E. Torres, J. León, y E. Torres, «Diseño y construcción de una impresora 3D aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida», *3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica*, 2012.
- [14] J. Hiemenz, «La impresión 3D con FDM: ¿Cómo funciona? Stratasys, Inc.», *Pixel Sistemas*, 2014.

- [15] A. Cano Vicent y Á. Serrano Aroca, «Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas», *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, n.º 13, 2021, doi: 10.46583/nereis\_2021.13.809.
- [16] E. 3D P. Vet, *GUÍA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D-O1A1-Transferencia de conocimiento sobre conceptos básicos de impresión 3D a profesores de VET.* 2017.
- [17] J. E. Sanchez Bejarano, «Impresoras 3D la nueva era tecnológica», *Universidad Santiago De Cali*, vol. 0, n.º 0, 2019.
- [18] BITFAB, «Las partes de una impresora 3D ¿Qué componentes elegir? - Bitfab», *BITFAB*, 2019. <https://bitfab.io/es/blog/partes-impresora-3d/> (accedido nov. 16, 2022).
- [19] UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y DIEGO ARMANDO ZAMORA GARCÍA, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BIO IMPRESORA 3D», 2015.
- [20] A. L. Riveiro -Dipmob, «Impresión 3D o el mundo de la producción a disposición del consumidor», 2015.
- [21] C. Fonda, «Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D», *Impresión 3D de Bajo Costo Para la Ciencia, la Educación y el Desarrollo Sustentable*, 2013.