

*Universidad de Matanzas
Sede: "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas*



FABRICACIÓN ADITIVA DE ARMADURAS PARA ESPEJUELOS.

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Carlos Ernesto Martínez Pérez.

Matanzas, 2023

*Universidad de Matanzas
Sede: "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas*



FABRICACIÓN ADITIVA DE ARMADURAS PARA ESPEJUELOS.

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Carlos Ernesto Martínez Pérez.

Tutor: Dr. C Marcelino Rivas Santana.

Dra. Yahima Morán Martín

Matanzas, 2022



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» y al Proyecto Visualgesti a darle el uso que estime más conveniente.



NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

Debido al bloqueo impuesto sobre la República de Cuba, el país no tiene acceso a adquirir los productos directamente de los fabricantes y debe obtenerlos a través de terceros países con un sobrecargo de impuesto sobre su precio de salida al mercado internacional, a la vez existe un incremento progresivo en las enfermedades visuales de la población cubana como trastornos refractarios, miopía, hipermetropía, astigmatismo lo cual ha creado un aumento de la demanda interna de armaduras. Con el apogeo y aceptación de las tecnologías que conforman la llamada industria 4.0, se decidió realizar un estudio que permita la obtención de armaduras para espejuelos de producción nacional utilizando manufactura aditiva. Este método lograría fabricar armaduras personalizadas y especializadas, representando un grado mejor de calidad que los productos que se podrían obtener del mercado a un costo similar, y siendo mucho más barato a la adquisición de productos de grado estándar comercial, ya que su costo es muy reducido y no se tendría que importar en barcos ni pagar almacenamiento internacional. En el trabajo se muestra la metodología para el diseño y fabricación de armaduras con el método de fabricación manufacturada aditiva (3D). Se resuelve un caso de estudio de un niño de siete años, lográndose obtener costos más bajos que el de las armaduras importadas.

Palabras claves: manufactura aditiva; industria 4.0; diseño asistido por computadora



ABSTRACT

Due to the blockade imposed on the Republic of Cuba, the country does not have access to purchase the products directly from the manufacturers, and must obtain them through third countries, with a tax surcharge on their exit price to the international market. At the same time, there is a progressive increase in visual diseases of the Cuban population such as refractory disorders, myopia, hypermetropia, astigmatism, which has created an increase in the internal demand for armor. With the heyday and acceptance of the technologies that make up the so-called industry 4.0, it was decided to carry out a study that allows obtaining frames for glasses of national production using additive manufacturing. This method would achieve the manufacture of customized and specialized armor, representing a better grade of quality than the products that could be obtained from the market at a similar cost, and being much cheaper than the acquisition of standard commercial grade products, since their cost is very low, reduced and would not have to be imported by ships or pay for international storage. The work shows the methodology for the design and manufacture of reinforcements with the additive manufactured manufacturing method (3D). A case study of a seven-year-old child is resolved, achieving lower costs than imported armor.

Keywords: additive manufacturing; industry 4.0; computer-aided design

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.

Capítulo I. Marco teórico de la investigación

1.1 Antecedentes históricos del origen de los espejuelos	03
1.2 Componentes y clasificación de las armaduras	04
1.3 Materiales clásicos de las armaduras	07
1.3.1 Compatibilidad biológica de los materiales de las armaduras	08
1.3.2 Medidas de las armaduras	08
1.3.3 Medidas de la montura	09
1.3.4 Tipo de rostro y medidas faciales	09
1.3.5 Según la forma del rostro	09
1.3.6 Métodos utilizados para la fabricación de armaduras	11
1.4 Manufactura Aditiva	11
1.4.1 Impresión FFF	13
1.4.2 Cámara calefactada vs. superficie caliente	13
1.4.3 Filamento de máxima calidad	13
1.4.4 Materia prima utilizada en el proceso FDM	14
1.5 Software para diseño tridimensional a utilizar	14
1.6 Impresoras 3D	15
1.6.1 Filamentos Utilizados para la impresión 3D	16
1.6.2 Características de los filamentos	17
1.6.3 Ventajas y desventajas de los materiales para filamentos	18
Conclusiones parciales	25

Capítulo II. Diseño y proceso de fabricación de monturas.

2. Impresora. Características	25
2.1 Materiales a utilizar	29
2.2 Metodología para diseño y fabricación de las armaduras	29
2.2.1 Normalización. ISO UNE-EN-ISO-8624:1996 para monturas de gafas	30
2.2.2 Coherencia de la norma utilizada con medidas faciales estimadas en dos casos ejemplos	30
2.2.3 Sistema <i>Boxing</i> características	34
2.3 Diseño digital de la armadura. Metodología	35
2.4 Pasos para la metodología de diseño en <i>solidworks</i>	35
2.5 Selección de los parámetros a utilizar para generar <i>G code</i>	36
2.6 Código G.	39
2.7 Proceso de Impresión	39
2.8. Pos- procesamiento.	39
Conclusiones parciales	40

Capítulo III. Resultados y Discusión.

3.1 Variantes de las armaduras confeccionadas.	41
3.2 Formula del cálculo utilizada para obtener el costo de fabricación aditiva.	45

3.2.1 Comparación con producto de importación según costo primario.	47
3.3 Caso de estudio. Toma de medidas	48
3.4 Pasos para el diseño del caso de estudio	49
Conclusiones parciales	55
Conclusiones generales	56
Recomendaciones generales	56
Referencias	57
Anexos	58



INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un aumento de enfermedades visuales provocadas, entre otras, por el desarrollo de tecnologías que hacen que el ser humano se encuentra en contacto directo con más pantallas luminiscentes, lo cual ha aumentado la demanda de espejuelos llegando a cifras históricas. Es por ello por lo que diferentes compañías importantes en el mundo trabajan en el perfeccionamiento de la fabricación de armaduras para espejuelos.

El auge de la industria 4.0 en paralelo al desarrollo de tecnologías como la manufactura aditiva ha posibilitado el desarrollo de nuevos productos con mejores prestaciones. Una línea que se desarrolla en la actualidad es la fabricación personalizada de espejuelos, la cual se fundamenta en un reconocimiento de imagen que permite tomar las medidas exactas del paciente con un posterior diseño automatizado que exporta un formato stl el cual puede ser procesado por software libres para generar los códigos G y utilizar la manufactura aditiva como proceso de fabricación. De esta forma se logra un proceso CAD-CAM con la obtención de armaduras personalizadas de gran calidad.

En el caso de nuestro país se han trazado estrategias para la implementación de la industria 4.0, obteniéndose algunos resultados positivos con la manufactura aditiva en la etapa de enfrentamiento a la pandemia COVID 19, donde se fabricaron caretas, piezas y se construyeron dispositivos que fueron de gran utilidad. Sin embargo, a pesar de las crecientes necesidades, no se tiene conocimiento de que en Cuba se esté experimentando con la impresión 3D para la fabricación de armaduras de espejuelos.

En el Hospital Infantil de la provincia de Matanzas existen criterios entre los especialistas de la necesidad de crear un proyecto de investigación que permita desarrollar esta tecnología en nuestro país, de forma tal que la doctora Yahima Morán Martín trabaja en esta dirección, pidiendo la colaboración del Centro de Estudios de fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS) de la Universidad de Matanzas para realizar la tarea.

Está claro que para lograr ese objetivo es necesario desarrollar el conocimiento, metodologías y procesos de fabricación que permitan alcanzar el producto final, por tal motivo el objetivo general del trabajo es desarrollar la metodología de diseño de armaduras de espejuelos, la cual será probada con un caso de estudio. Los objetivos específicos trazados son:

Revisión bibliográfica del tema de estudio.

Establecer la metodología de diseño de armadura de espejuelos con la ayuda del software *SolidWorks*

Establecer los parámetros de impresión para la fabricación de las armaduras con manufactura aditiva.

Resolver un caso de estudio desde la toma de las medidas, diseño hasta la fabricación del prototipo.

Realizar los cálculos económicos preliminares para cada variante de diseño.

El trabajo defiende la hipótesis de que se pueden fabricar armaduras de espejuelos por impresión 3D en nuestro país con ventajas económicas para nuestra economía.

La tesis consta de tres capítulos donde, en el capítulo I, se plantean aspectos del conocimiento necesarios para el tema, en el capítulo II se proponen la metodología de diseño, así como se establecen los parámetros de impresión, materiales y equipos necesarios, finalmente se plantean las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 Antecedentes históricos del origen de los espejuelos.

La palabra lente deriva del término ocular fue utilizada en la antigüedad para designar el orificio hecho en la armadura por donde los soldados realizaban observaciones. La primera referencia histórica sobre la existencia de los lentes está registrada en los textos del filósofo chino Confucio que datan sobre los años 500 A.C. Durante sus inicios los lentes apenas eran utilizados por los nobles como accesorio para demostrar poder social como personas de familia de poder. Como tecnología de óptica apareció más tarde sobre el siglo X, siendo lentes comercializados como adorno personal. Tomado de (Vecchio, Del Vecchio, 1990)

Los filósofos griegos aseguraban que la percepción de imágenes no tenía relación entre el ojo y el cerebro, importándole solo la emoción que residía en los corazones, por tanto, la visión tenía un papel menor en la mejora del ser humano. Este concepto no sufrió variaciones hasta el siglo II, cuando el emperador de Roma comenzó a lanzar la moda, al utilizar hojas de esmeraldas sobre los ojos, para protegerlos del sol, en las actuaciones públicas que tenían lugar en las arenas. También las piedras semipreciosas, como berilo y cristales de roca, fueron los primeros instrumentos utilizados en la antigüedad ya con el objetivo de corregir los problemas visuales a corta distancia. Se llamaban “piedras de lectura” y estas funcionaban como una lupa primitiva. Finas capas de estas piedras semipreciosas se colocaban sobre la letra aumentando su tamaño. Más tarde estas piedras empezaron a utilizarse frente a los ojos, apareciendo así la primera forma de lentes correctores, siendo fabricados por los maestros vidrieros. Existen registros de aparición de los primeros anteojos, en Alemania, en 1270, estos se describieron como grandes aros de hierro con remaches que posibilitaban ajustarlos precariamente sobre la nariz. En ese mismo siglo apareció en Florencia un modelo similar que salió a la venta y se convirtió en un éxito instantáneo. Las investigaciones posteriores se dedicaron a mejorar las prestaciones y mejorar la calidad de los espejuelos, utilizando cada vez diseños y

materiales más livianos para mayor comodidad. Los modelos Pincez-nez y Lornhos, fueron de los más comercializados en el siglo XV. En esa época llevar espejuelos era señal de cultura, conocimiento y además de ser símbolo de estatus social y nobleza. Tomado de (Historia de las gafas de sol y su evolución, 2017)

Con la llegada del siglo XVI surgieron los lentes negativos para corregir la miopía y al mismo tiempo lentes de colores para proteger contra el deslumbramiento. Estos avances eran lentos hasta que con la llegada del telescopio de Galileo en 1608 y su rápida popularización y que Isaac Newton descubriera que el espectro solar se puede obtener por descomposición de un rayo de luz, por el proceso de refracción. En los años 1672 se fabricaron los primeros lentes azules y a lo largo del siglo comenzaron a aparecer las primeras tiendas en Europa especializadas en óptica que comercializaban de forma continua y con avances en sus modelos progresivamente.

Un gran avance de la ciencia ocurrió en 1875, con el descubrimiento de Nagel creando la escala de medidas refractivas (dioptrías), adoptada internacionalmente. Tomado de (Geographic, 2020)

1.2 Componentes y clasificación de las armaduras.

Los componentes básicos que conforman los espejuelos son:

Armaduras, marcos o monturas: Da forma y define las características de los espejuelos o gafas ofreciendo funcionalidad al realizar el soporte de las lentes. (ver figura 1)

Lentes: Aunque se conocen también por muchos como cristales a la hora de hablar sobre este componente en los espejuelos, ya que ese era su material en la antigüedad, su nombre real y correcto es lentes. Es la parte de los espejuelos donde se realiza la graduación de estos para los procesos de corrección visual. (ver figura 1)

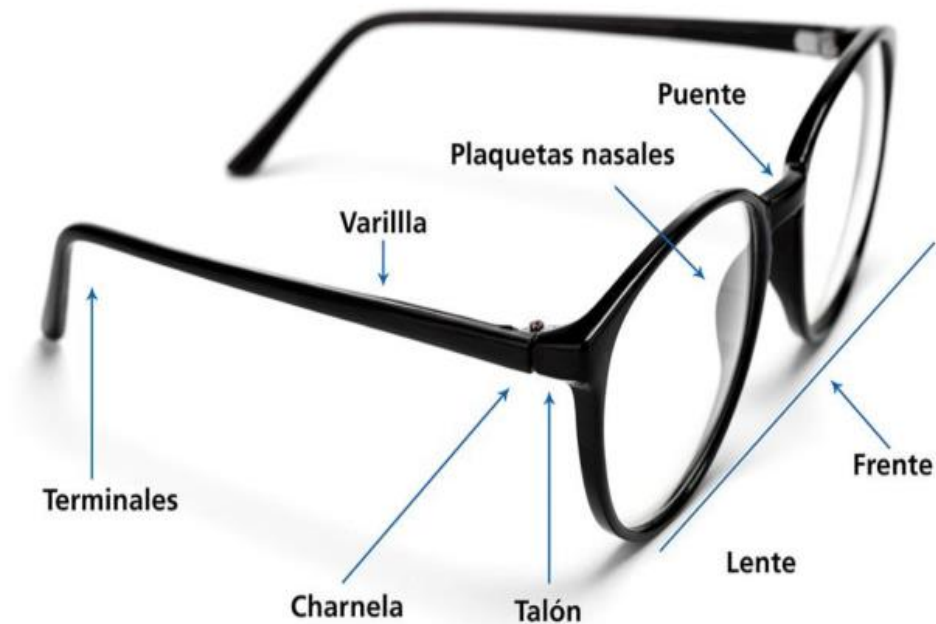


Figura 1. Partes principales de los espejuelos. Tomado de (Fuegirola, 2019)

Varilla, patas o patillas: Son las conocidas como las patas del espejuelo de forma popular. Está compuesta de un terminal y una charnela. En su cuerpo se encuentran los números de la plantilla del modelo específico. (ver figura2)



Figura 2. Medidas que se suele colocar en las patillas haciendo referencia a ciertos calibres de la armadura. Imagen tomada de (Letiamo, n.d.)

Terminal: Recibe este nombre la parte terminal de las varillas, suele estar curvada para un mejor ajuste, su objetivo es evitar alergias y proporcionar mayor confort recubiertas con materiales blandos, como caucho. Parecen un elemento poco importante, pero mantienen la montura en su sitio y de su ergonomía depende su confort. Para deportistas y niños suelen llevar materiales con agarre especial para un correcto uso (figura 3).

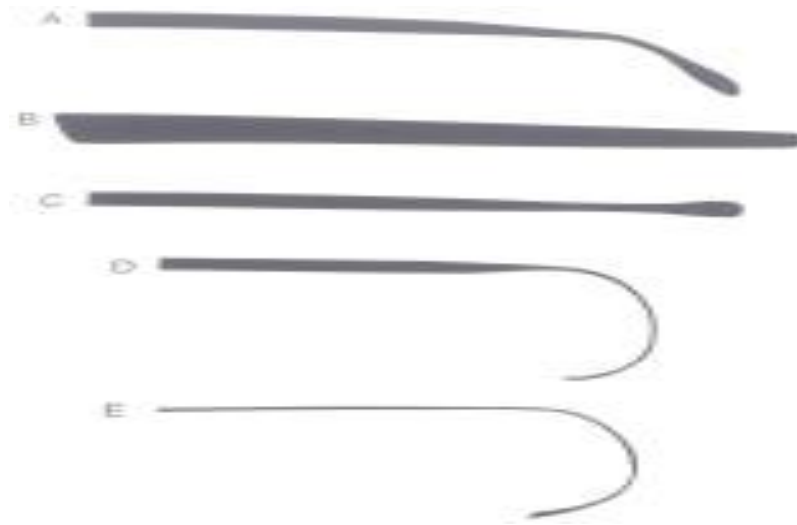


Figura 3. Tipos de terminales. (Letiamo, n.d.)

Charnela o bisagras: Es la parte móvil de las gafas que unen las patillas con el frente, en su variante más común son unas bisagras con tornillos, pero con los avances técnicos se encuentran modelos con diferentes variantes (ver figura 4).

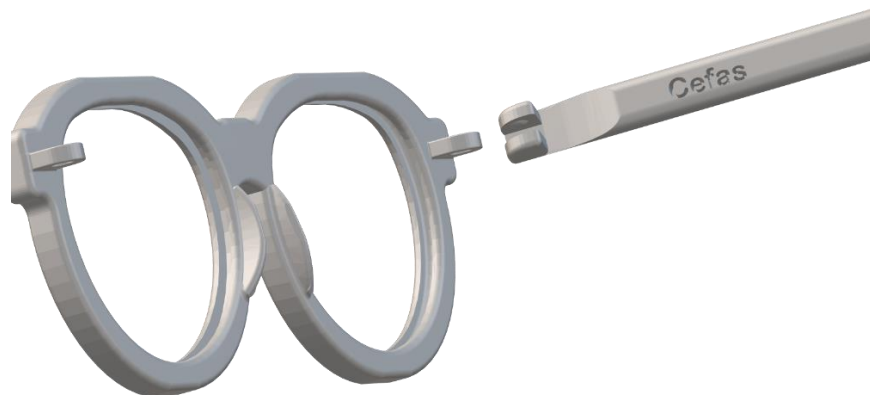


Figura 4. Tipo de charnelas.

Plaquetas nasales: Son las piezas situadas en la parte inferior del puente, que hacen que las gafas se sostengan sobre la nariz. Se pueden encontrar móviles o fijas como una extensión del frente (figura 5).

Puente: Es la zona de unión entre los aros. Puede apoyar directamente sobre la nariz (figura 5).



Figura 5. Plaquetas nasales

Talón: Zona laterales del frente de la montura que están en contacto directo con las varillas.

Cierre de aro: En las monturas metálicas, consisten en los dos extremos del aro que se unen por medio de algún tipo de sistema habitualmente un tornillo. Permite abrir y cerrar el aro adecuadamente en caso necesario y fijarlas a la montura en la posición y orientación adecuada. En las monturas plásticas se realiza el montaje por sujeción con tratamiento de dilatación térmica.

Aro: Derecho e izquierdo. La similitud de su nombre con aro común y es la parte que se destina para que sostenga las lentes.

1.3 Materiales clásicos de los espejuelos

Los materiales más utilizados en los espejuelos son:

- Metal
- Acetato de celulosa
- Propionato (materiales termoplásticos a base de celulosa)
- Optyl (resinas epoxi)
- Nylon e materiales a base de nylon.
- Fibra de carbono
- Policarbonato

Como ejemplos de materiales de armaduras metálicas tenemos: níquel, aluminio, materiales inoxidable, bronce, titanio

1.3.1 Compatibilidad biológica de los materiales de las armaduras

Para reducir la probabilidad de tener reacciones alérgicas o daño por rozadura se utilizan materiales hipoalergénicos como:

- Optyl
- Poliamida (polímero termoplástico)
- Titanio
- Materiales inoxidable

Tomado de (SmartBuyGlasses, 2021)

1.3.2 Medidas de las armaduras (forma y norma)

Las medidas más comunes de las armaduras de un adulto como medida más común son 54 de ancho horizontal de lente, por aproximado 30 de ancho vertical, con un puente de 20mm y un largo de pata de 140. Aunque esto sea un dato muy general es una de las medidas más repetidas internacionalmente. (figura6)

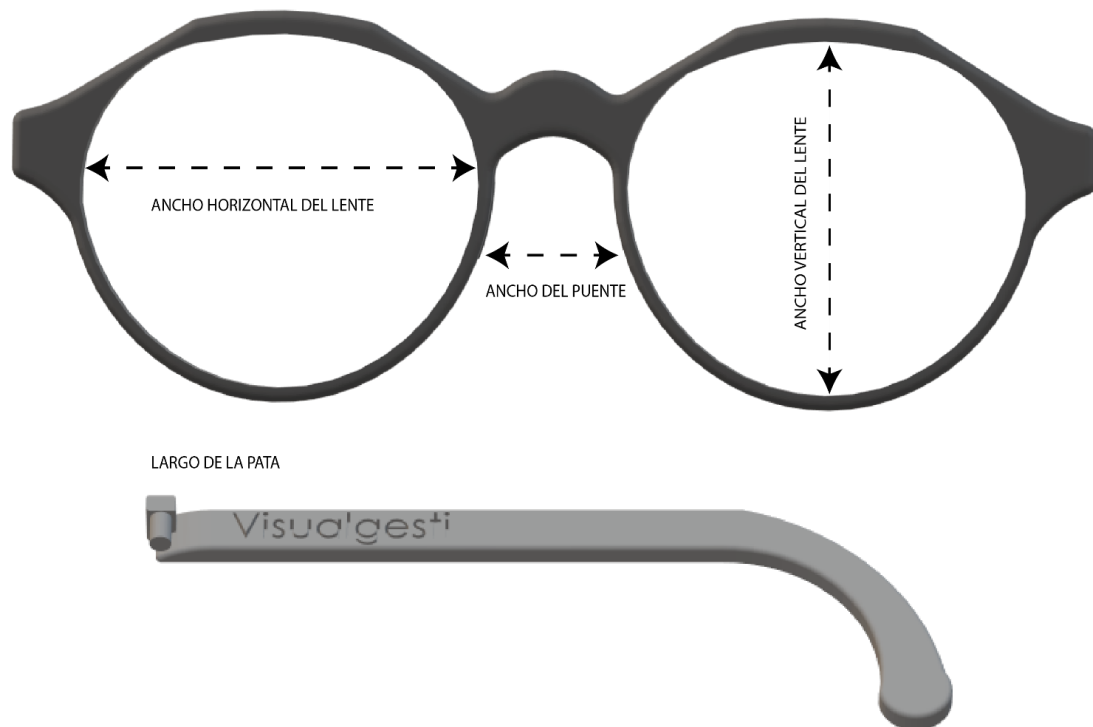


Figura 6. Espejuelos

1.3.3 Medidas de la montura.

Para obtener las medidas de monturas y su normalización se hace imprescindible conocer que estas constituyen el soporte de lentes que pueden ser graduadas o no. Estas monturas responden a un usuario con determinadas medidas faciales.

1.3.4 Tipo de rostro y medidas faciales

La utilización de un tipo de montura depende en gran medida del tipo de rostro, la piel, sus estructuras óseas, la musculatura, todo esto es de importancia a la hora de escoger el material para realizarla. Para definir la tipología facial se toman en cuenta detalles anatómicos, también se utilizan detalles de rostro como la frente, donde comienza el nacimiento del cabello, la nariz (las alas nasales bordes más inferiores en el punto de encuentro del labio superior), las cejas (en su correspondencia con los arcos superciliares del hueso frontal) y barbilla o mentón. Utilizando el mismo, vemos que el alto y ancho total de la cabeza es igual a tres veces y media la altura de la frente.

1.3.5 Según la forma del rostro

No todas las gafas son ideales para todos los rostros, no es solo cuestión de estética, sino que están diseñadas para descansar sobre ciertas partes del rostro para evitar rozaduras, marcas por el peso o simplemente que estas se caigan. En la foto a continuación se especifica los diseños correctos para cada caso de geometría de rostro. (figura 7)

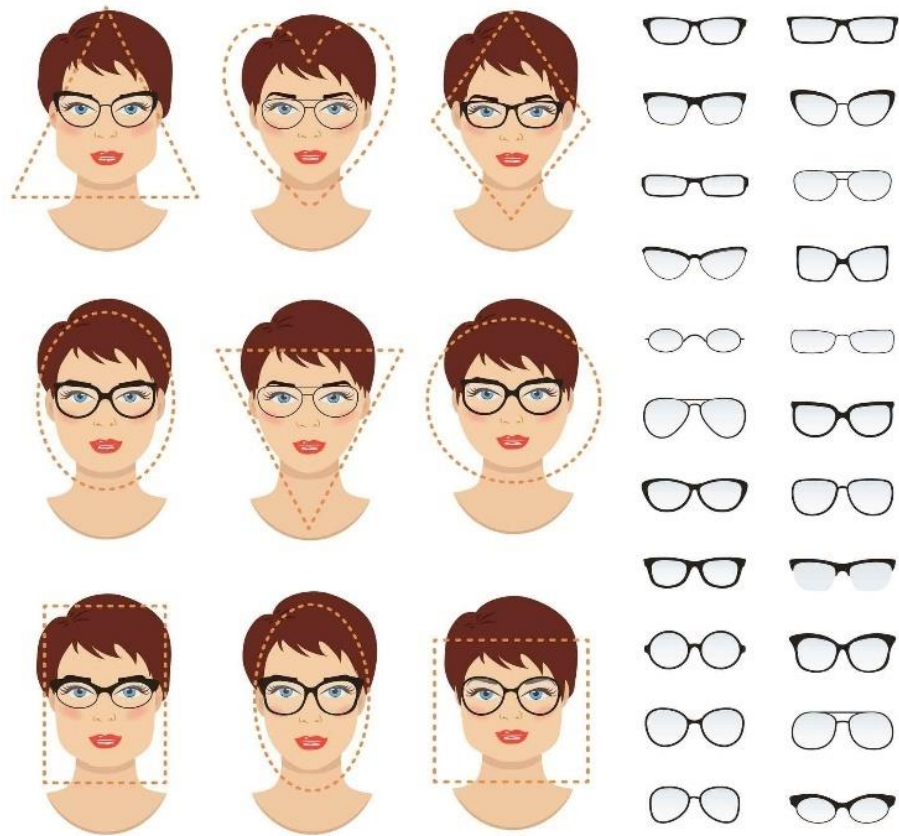


Figura 7. Ejemplo de modelos según la geométrica del rostro. (Creativemaket, 2018)

Otra forma más asequible y que siempre contamos para conocer nuestra talla ideal de espejuelo si esta es S, M, L que consiste en tomar una tarjeta magnética y situarla en el centro del puente de la nariz y por debajo de los ojos, ver donde recae el extremo exterior de la tarjeta, dándonos esta la medida de nuestros espejuelos. (ver figura 8)

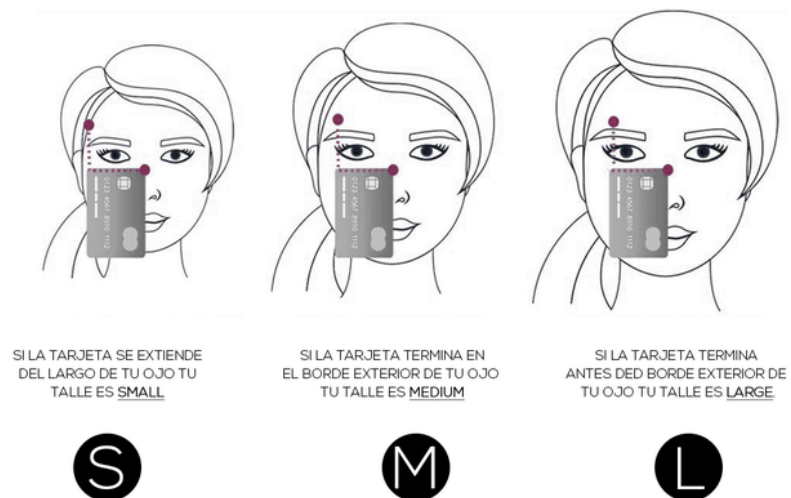


Figura 8. Forma de medición fácil (Letiamo, Medidas simples con tarjetas, n.d.)

1.3.6 Métodos utilizados para la fabricación de armaduras.

Existen varios métodos de fabricación de las armaduras desde la antigüedad como:

- Fundición
- Tallado artesanal
- Resta de material por maquinado
- Manufactura aditiva

1.4 Manufactura aditiva.

Las impresoras de aditivo 3d utilizan en su mayor medida el método de FDM (modelación por depositito de material fundido), debido a su fácil implementación. Este al ser tan intuitivo existen foros online donde personas sin conocimientos pueden descargar o comprar los diseños de otras personas con conocimiento en modelación o diseño 3D e imprimirlo en sus casas ya sea para uso personal como para venta.

En la actualidad existen diversos materiales que podemos utilizar para la impresión 3D, siendo los más populares PLA, ABS, PET, Nylon, cada cual, con sus características propias de impresión y distintas propiedades mecánicas, calidad de acabado, resistencia y flexibilidad. El PLA es el material más utilizado en la impresión aditiva por filamento ya que este es biodegradable, contando con alta resistencia, mínima dificultad a imprimir es el material que menos conocimiento técnico debes tener sobre tu impresora y unos de los que cuenta con el menor tiempo de impresión dentro de su gama. Su precio se encuentra entre los más baratos del mercado. El método de impresión FDM se fundamenta en que una vez diseñada la pieza a imprimir se exporta en formato *stl* u *obj* y se confecciona el código de programación (*G Codex*), generado por un *software*, este es el código que la impresora interpreta para confeccionar los objetos impresos. (figura 8).

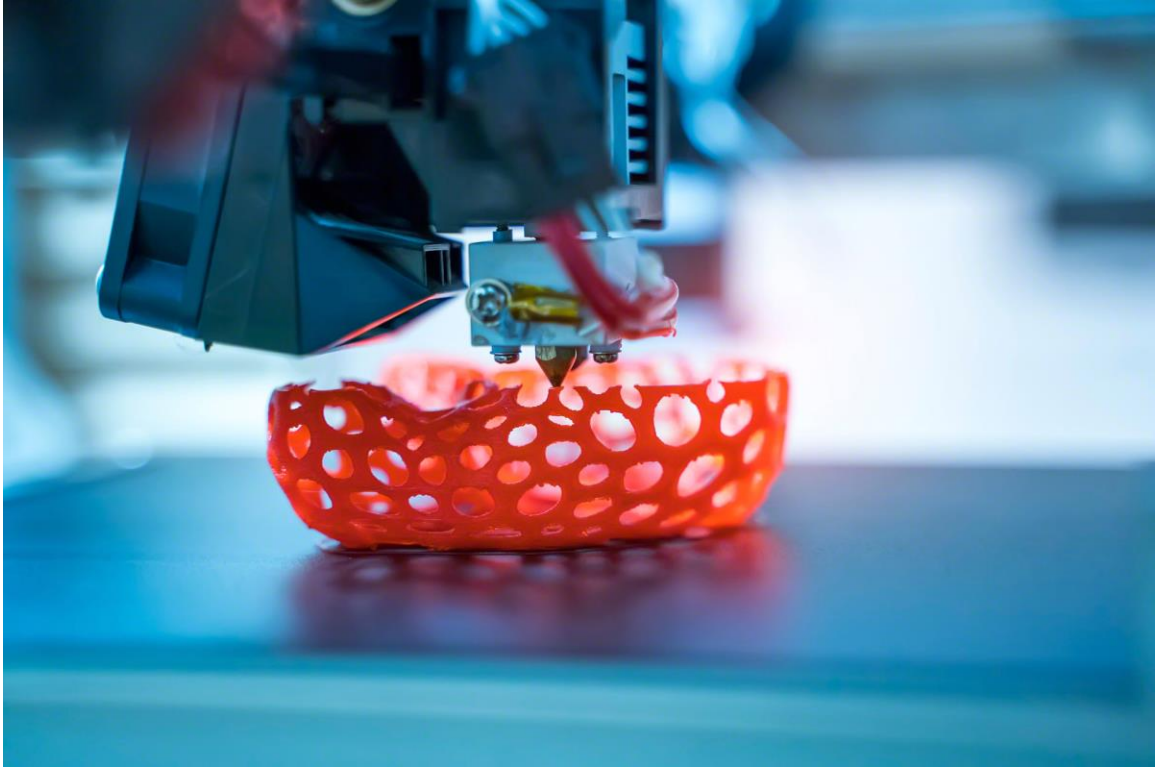


Figura 8 Representa el momento de impresión de un objeto.

La manufactura aditiva es un proceso de fabricación por adición de material en forma de capas, por información representada por geometría generada por computadora a través del código G 3D generado por un sistema CAD (*Computer Aided Design*). Este proceso aditivo permite fabricar componentes físicos a partir de varios materiales diferentes. El proceso es totalmente automatizado y relativamente rápida, en comparación con los métodos tradicionales.

Todos los sistemas de manufactura aditiva dependen de una representación geométrica tridimensional 3D.

1.4.1 Impresión FFF

Las impresoras de consumo FFF de bajo coste sirven como exposición inicial a la impresión 3D para ingenieros, diseñadores y otros profesionales, existe la posibilidad de una percepción negativa sobre la impresión 3D. Especialmente si no está a la altura de lo que esperan. El proceso de impresión 3D FFF que se comenzó a promocionar era en

realidad una versión muy simplificada. Y en lo que las empresas globales han confiado durante las últimas dos décadas para impulsar su proceso de fabricación era muy diferente.

1.4.2 Cámara calefactada vs superficie caliente

La **cámara de impresión en FDM** se mantiene a aproximadamente 90 °C para ABS (o más para materiales avanzados) y está completamente aislado del entorno ambiental, lo que permite que el filamento fluya desde un extrusor caliente a través de un entorno calentado hasta una plataforma de construcción en caliente. Consiguiendo mejores propiedades mecánicas, aumentando significativamente la fuerza de adhesión capa a capa y previniendo la deformación y el rizado durante la deposición del filamento.

Las impresoras **FFF no tienen cámara calefactora**, como resultado, el filamento de material atraviesa desde un extrusor caliente a través de un ambiente frío o calentado de manera desigual hasta una plataforma de construcción caliente. Dando como resultado el enfriamiento inmediato del plástico durante los procesos de extrusión cuando sale del cabezal de impresión, lo que afecta negativamente tanto las propiedades mecánicas como las tolerancias, y se observan defectos superficiales en las piezas. En última instancia, esto limita los plásticos que se pueden imprimir de manera efectiva, siendo PETG y PLA muy populares debido a su mínima contracción, pero fuera de estos materiales, los materiales más avanzados son muy difíciles de imprimir en algo menos que una máquina FDM. Tomado de (Diferencia entre impresión 3D FDM-FFF, 2020)

1.4.3 Filamentos de máxima calidad

El control de calidad de filamentos FDM es imprescindible, así como, tener el entorno controlado y tener una buena materia prima. Si bien en los filamentos FDM se tienden incrementar un poco los precios, existe una cantidad significativa de pautas estrictas de calidad y trazabilidad de las normas ISO que siguen estos fabricantes.

Al fijarnos en un filamento de impresión 3D de frente debe ser un círculo. Pero a lo largo de un tramo de filamento de la sección transversal puede cambiar de un círculo a un óvalo. Si el filamento es inconsistente a lo largo de su diámetro o longitud, esto cambiará

la velocidad de extrusión del material. Y dará como resultado en una mala calidad de la superficie, propiedades mecánicas y precisión de la pieza.

Una de las desventajas de los filamentos de bajo coste es la consistencia en el área de la sección transversal. Esta, a menudo, es bastante variable debido a estándares mucho más bajos de producción de filamentos para las impresoras FFF. Los fabricantes de filamentos FDM utilizan un láser como parte de un mecanismo de control de calidad. Esto garantiza el diámetro correcto, mientras que el proceso de control de calidad de los filamentos FFF suele ser mucho más largo.

Tomado de (Diferencia entre impresión 3D FDM-FFF, 2020)

1.4.4 Materia prima utilizada en el proceso FDM.

Los polímeros utilizados como materia prima comercial pueden ser en forma granulada (pellets), que poseen un costo menor al filamento y de la forma ya expuesta que es la más común en rollos de filamentos.

Algunos polímeros necesitan estar secos antes de ser utilizados, para evitar su degradado y la pérdida de propiedades como la adherencia entre sus capas o la cama de la impresora. El Nylon, ABS, Acrílicos y Policarbonato son ejemplos de materiales que su calidad final deben de gran medida de su estado de humedad, lo cual afecta en gran medida su acabado final e incluso puede obstruir el extrusor de la impresora. Tomado de (Cambala, 2022)

1.5 Softwares utilizados para el diseño.

Para el desarrollo del diseño tridimensional a utilizar antes de generar el código G para manufacturar el objeto físico se necesitan programas CAD como:

- AutoCAD Fusion
- Blender
- Adobe Illustrator
- SolidWorks

Estos programas son los más conocidos y las que mejores prestaciones presentan a la hora de realizar un trabajo de modelación 3D con alto nivel de profesionalidad.

Luego de terminar la modelación se debe codificar el diseño del objeto para que la impresora sea capaz de leer las coordenadas y parámetros utilizándolos para la conformación aditiva, se emplea para esta tarea varios programas, pero el más conocido e intuitivo es *Ultimaker CURA*.

1.6 Impresoras 3D

El uso de la impresión 3D se ha convertido en la característica más conocida de la manufactura digital. Esta permite producir un prototipo industrial de forma rápida, el fabricado del objeto o producto se posibilita en el menor tiempo posible según el material, con el avance en la ciencia y la tecnología muchas organizaciones e empresas están investigando dicha tecnología para desarrollar nuevas e innovadoras formas de fabricación de productos directamente de un modelo computacional, disminuyendo en gran medida tiempo, costo y cantidad de operación en comparación con los procesos ya existentes y consolidados.

Las impresoras 3D son máquinas con el objetivo de crear productos innovadores en el tiempo menor posible, diferenciado se de las máquinas actuales convencionales. En sus inicios se utilizaban en las industrias, siendo sus primeros pasos en la industria militar y aeroespacial, luego de su expansión y aceptación se buscó rápidamente modelos de escritorios para la adquisición de licencias particulares. Tomado de (Cambala, 2022)

1.6.1 Filamentos utilizados para impresión 3D

Los filamentos 3D son los principales insumos utilizados en la impresión 3D. Estos son producidos en forma hilo que se enrolla en un carrete. Los diámetros de los filamentos son fabricados de dos medidas fundamentales: 1.75 mm y 2mm. Entre los materiales de los filamentos más utilizados tenemos: PLA (ácido poli lático), ABS (acrílico butadieno estireno), PETG (polietileno de etileno glicol), NYLON, TPE (elastómero termoplástico), TPU (poliuretano termoplástico), TPC (copoliéster termoplástico) y PC (policarbonato).

El PLA y el ABS son los polímeros más utilizados en la manufactura aditiva, debido a sus propiedades mecánicas, físicas, químicas, procesabilidad, bajo costo en comparación con los otros polímeros de características semejantes.

El Poli (Ácido Láctico) – PLA es de los principales biopolímeros debido a sus características biodegradables y compatibilidad biológica, y a que presenta en sus propiedades mecánicas un elevado módulo de elasticidad, rigidez, transparencia, comportamiento termoplástico, biocompatible. Su principal mecanismo de degradación es mediante la hidrólisis, seguido por ataques bacterias sobre residuos fragmentados. En condiciones normales el PLA mantendrá su masa molecular y propiedades físicas durante años.

En la primera etapa de obtención de este polímero consiste en la producción de ácido láctico a partir de una fuente de carbono. El ácido láctico de naturaleza renovable contiene almidón de azúcar y mediante un proceso de sinterización de ácido láctico se produce el PLA. (figura9) (Cambala, 2022)

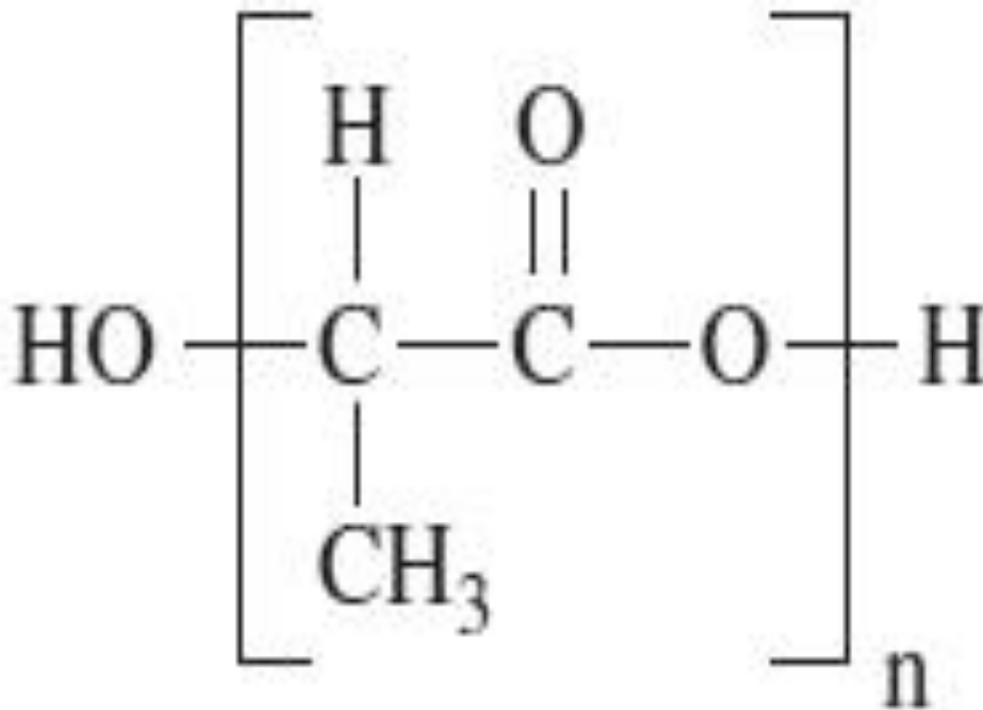


Figura 9 Composición química del Ácido Láctico.

1.6.2. Características de los filamentos.

Tomada de (Abax3Dtech, 2020)

Cada filamento cuenta con características mecánicas diferentes, las cuales son importante conocer para elegir el material al cual se acople mejor a las necesidades del objeto a imprimir. Existen varios parámetros por los cual se diferencian entre ellos los más comunes son:

- Facilidad de impresión
- Calidad de impresión
- Tensión máxima
- Elongación a rotura
- Resistencia a impactos
- Adherencia entre capas
- Resistencia al calor

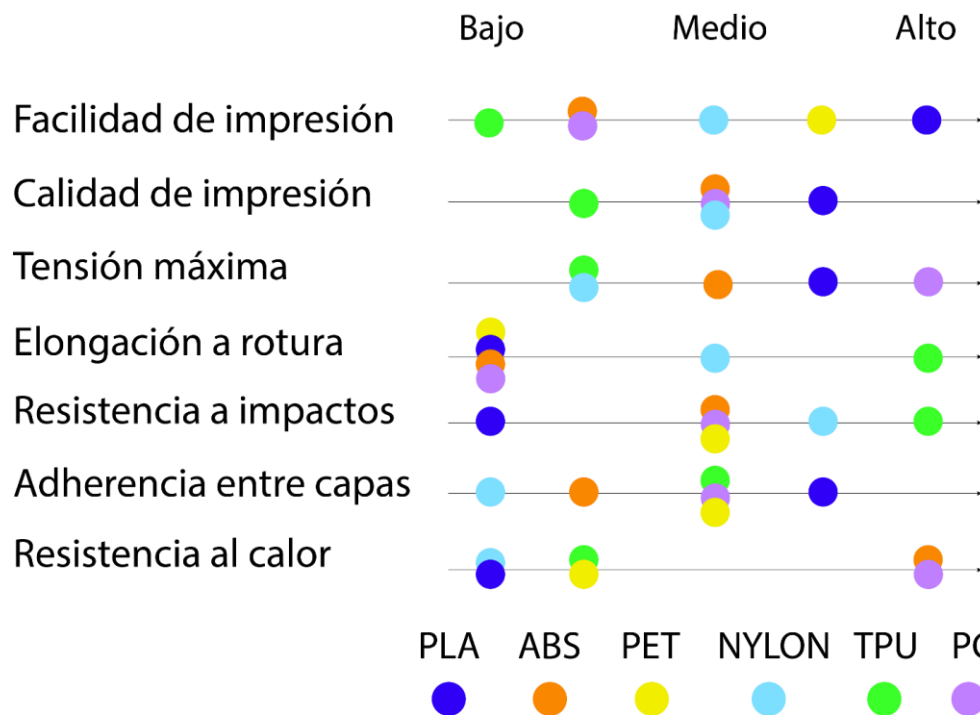


Figura 10 Tabla de comparativa de distintos filamentos. Tomada de (Abax3Dtech, 2020)

1.6.3 Ventajas y desventajas de los materiales para filamentos. PLA (Ácido poliláctico)

Ventajas

- Termoplástico biodegradable
- Económico
- Biocompatible
- Inoloro
- Puede ser post-procesado con papel de lija y pintado con acrílicos.
- Buena resistencia a los rayos UV

Desventajas

- Poca resistencia a la humedad

- No puede ser pegado con facilidad

PLA



Figura 11 PLA características.

ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)

Se escoge generalmente por encima del PLA cuando se requiere una resistencia más alta de la temperatura y una mayor dureza.

Ventaja

- Puede ser post -procesado con acetona para acabado más brillante
- Puede ser post- procesado con papel lija y acrílicos
- La acetona también puede utilizarse como pegamento
- Buena resistencia a la abrasión

Desventaja

- Sensible a los rayos UV
- Olorosa mientras se está imprimiendo
- Posibles emisiones elevadas de humo

ABS



Figura 12 ABS características.

PET

Ventaja

- Permiso sanitario (aprobado por la FDA)
- Gran resistencia a la humedad

- Gran resistencia a los químicos
- Reciclable
- Buena resistencia a la abrasión
- Puede ser post-procesado con papel de lija
- Fácil para pegar

Desventaja

- No presenta desventajas importantes



Figura 13. PET características.

Nylon

El nylon posee excelentes características mecánicas y tiene la particularidad de ser la mejor resistencia de impacto para un filamento no flexible. La adherencia de la capa puede ser un problema.

Ventaja

- Buena resistencia a los químicos

Desventajas

- Muy poca resistencia a la humedad
- Posibles emisiones elevadas de humo



Figura 14. Características.

TPU

TPU se utiliza sobre todo para los trabajos flexibles, pero su resistencia frente a las pruebas de alto impacto puede prestarse para otros usos.

Ventaja

- Buena resistencia a la abrasión.
- Buena resistencia a la gasolina y a la grasa

Desventajas

- Dificultades para post procesado
- No puede ser pegado con facilidad

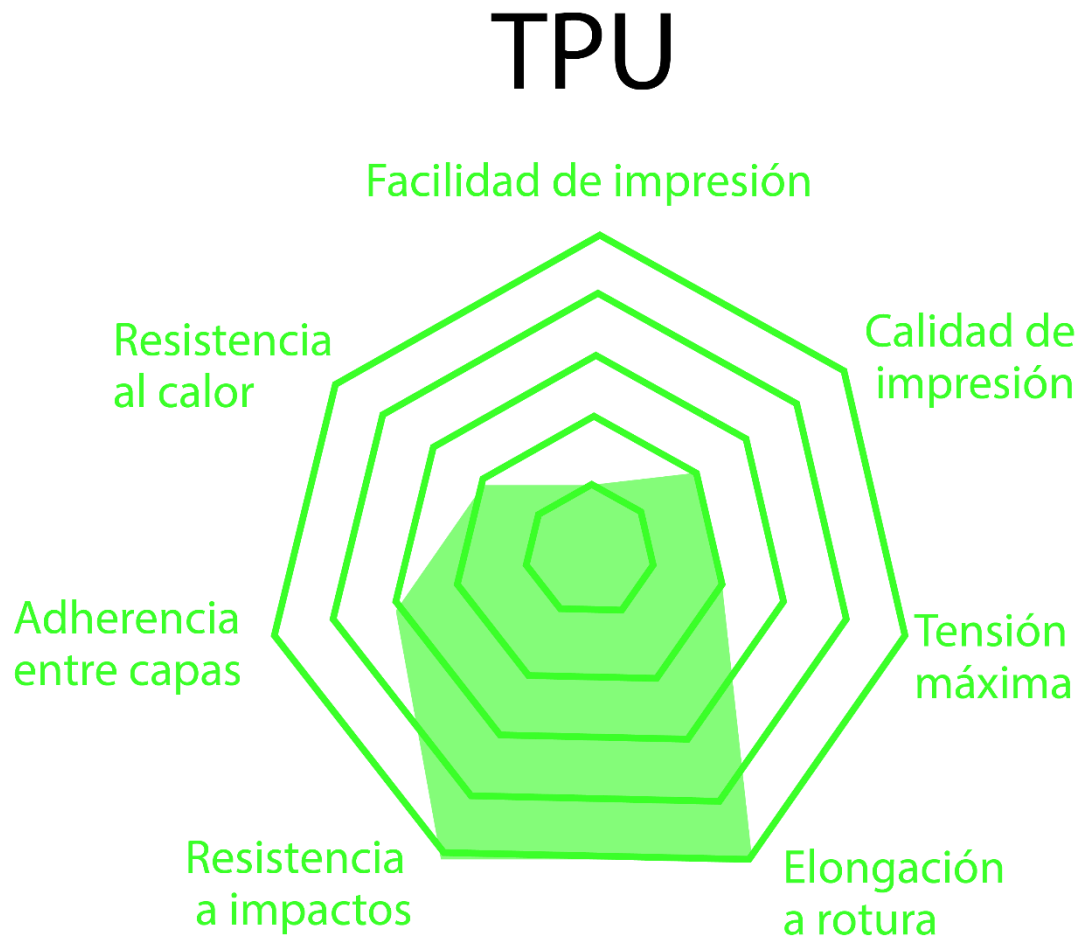


Figura 15. TPU características.

PC

El PC es el material más fuerte de todos, y puede ser una alternativa interesante frente al ABS pues las características son bastantes familiares.

Ventajas

- Puede ser esterilizado
- Facilidad para ser post procesado

Desventaja

- Es sensible a los rayos UV



Figura 16. PC características.

Conclusiones Parciales.

1. Como se pudo apreciar en el capítulo 1, la evolución de los espejuelos remonta a la antigüedad de la humanidad, hoy en día se desarrollan nuevas tecnologías como la manufactura aditiva, que permiten el diseño personalizado, lo cual constituye una ventaja para el usuario. Durante el estudio se pudo observar que existe una gama de materiales que permiten diferentes propiedades, tema que en la actualidad se continúa desarrollando.

CAPÍTULO II. DISEÑO Y PROCESO.

Se analizará las características de la impresora WANHAO Duplicator 6 y se dará a conocer el proceso de diseño desde la obtención de las dimensiones, proceso de diseño digital, impresión aditiva, pos-procesamiento y la obtención del producto final. Ver (figura 17)

2.Impresora. Características.WANHAO DUPLICATOR 6



Foto 17 Impresora WANHAO Duplicator 6 Tomada de (Wanhao, Wanhao D6, 2020)

B3. Duplicator 6 at a glance



Foto 18 Partes de la impresora WANHAO Duplicator 6. Tomada de (Wanhao, WANHAO D6, 2020)

Tabla 1 Especificaciones de la Duplicator 6

Impresión		Dimensiones Físicas	
Tecnología de impresión	Fabricación por fusión de filamento (FFF)	Dimensión del marco	X 34.8 cm Y 26.4 cm Z 43.0 cm
Volumen Útil	20x20x17.5 cm		
Resolución de capas	Ultra alto 20micron Alto 60micron Medio 100micron Bajo 200micron	Con todas las piezas unidas y el tubo guía de filamento de altura máxima.	X 36.0 cm Y 44.0 cm Z 48.0 cm
Precisión de posición	X 12.5micron Y 12.5micron Z 5micron	Caja de envío	X 46.0 cm Y 46.0 cm Z 55.0 cm
Diámetro del filamento	1.75 mm	Peso	13.9 kg
Diámetro de la boquilla	0.4 mm	Peso total de envío	17.0 kg
Velocidad de impresión	30 mm/1-300mm/s	Temperatura	
Velocidad de viaje	30 mm/1-300mm/s	Operación a temperatura ambiente	15°-32° c
Software		Temperatura de almacenamiento	0°-32° c
Software incluido	Cura-WANHAO EDITION	Temperatura de operación de boquilla	180°-260° c
Tipo de archivo	STL/OBJ/DAE/AMF	Temperatura de la cama	50°-100° c
Soporte	WINDOWS (XP 32bit/7+0 Linux (12.04+) Mac OS X (10.6 64bit+)		
Electricidad		Sonido	
AC entrada	100-240 v ~4 AMPS 50-60 HZ 221 watt max	Ruido de funcionamiento medio	49 dBa

Poder requerido	24 V DC & 9.2AMPS		
Conectividad	Estándar-simple impresión por SD- card USD (firmaware)		

Tabla 1. Especificaciones de la impresora WANHAO D6 (Wanhao, WANHAO D6, 2020)

2.1 Material a utilizar

El material para utilizar es PLA, blanco de 1.75mm de diámetro de filamento, cuyo costo es de 15 dólares el kilogramo, por su bajo costo, resistencia a las temperaturas y facilidad de impresión se consideró como el ideal para el desarrollo de las armaduras.

2.2 Metodología para diseño y fabricación de las armaduras.

Para la fabricación de las gafas primero un especialista clínico le realiza un diagnóstico al paciente que cubra el modelo que se ajuste mejor a sus necesidades médicas buscando la geometría adecuada para este. Después se pasa a tomar las dimensiones del paciente para el diseño de las armaduras apoyándose en la norma establecida. Estas medidas pasan al grupo de fabricación aditiva donde se diseña las armaduras y se elige el material para su impresión FFF. Al terminar de ser diseñada en el software *solidworks* se importa como un archivo. *stl* para programar su código G-code que es el lenguaje que lee la impresora. En este último proceso se apoya en el software libre *Ultimaker Cura 5.1* donde se ajustan los parámetros ideales para una impresión de alta calidad que cumpla con las propiedades buscadas en el producto final saliendo el archivo en el lenguaje de códigos conocido como *G-code* el cual se introduce en la impresora a la hora de imprimir.

Al finalizar la impresión se le realiza un control de calidad y se rectifican las medidas para comprobar su correcta impresión. Si todo da correcto se pasa el producto al área de pos-procesado para dar el acabado final y rectificar algún imperfecto de impresión siguiendo el área de pintado. Luego se entrega a los técnicos de la óptica donde se le ponen los cristales con las medidas de los pacientes.

2.2.1 Normalización.

La normalización de estos aspectos se encuentra en normas internacionales en el campo de instrumentos de óptica y óptica oftálmica. Para España, Reino Unido y Francia está reflejada en la norma UNE-EN-ISO-8624:2002 que incluye lo fundamental de su normativa sistema de medidas, la terminología, y las monturas de armaduras aplicable a los frentes para que sean simétricos. Esta normativa es de aplicación internacional por lo que le referenciamos y aplicamos (ETPCBA, n.d.)

2.2.2 Coherencia de la norma utilizada con medidas faciales estimadas en dos casos de estudio.

Aplicar la norma UNE-EN-ISO-8624:1996 según el sistema Boxing es un requisito indispensable para que esta armadura se ajuste a las normas de calidad requeridas, sin embargo, los valores que le darán forma a esta armadura van a depender del tipo de rostro y sus dimensiones según la edad. Tomado de (ETPCBA, n.d.)

Se escogen dos ejemplos correspondientes a 2 niños con grupos etéreos de 2 y 7 años respectivamente que según la bibliografía presentan diferencias faciales que no solo se relacionan con los valores numéricos, sino que están relacionados con características propias de la edad.

Estas características se citan apoyados en los criterios reflejados en el manual básico para la estructuración de rostros.

Características de los tipos de rostros de los casos seleccionados.

Característica de la cabeza de un niño hasta 2 años.

Las características de la estructura del rostro del niño de hasta dos años varían mucho de las del hombre mayor.

- a. La frente es alta, despejada, con escaso cabello arriba y a los lados.
- b. Las cejas, se hallan en el centro de la altura de la cabeza.

- c. Los ojos del niño aparecen más separados, proporcionalmente, que los ojos del hombre.
- d. Entre ojo y ojo existe una distancia mayor que la de un mismo ojo. Los ojos del niño son grandes. El factor <ojos grandes> en el niño, viene determinado por el tamaño del iris y la pupila.
- e. En la cabeza del niño los ojos se hallan más abajo del centro de su altura.
- f. Las orejas son proporcionalmente mayores y se hallan situadas más abajo
- g. Aparecen más visibles los orificios de la nariz.
- h. La barbilla es redonda, formando una curva poco pronunciada en el centro. Los maxilares no están desarrollados.
- i. La nariz es pequeña y respingona.

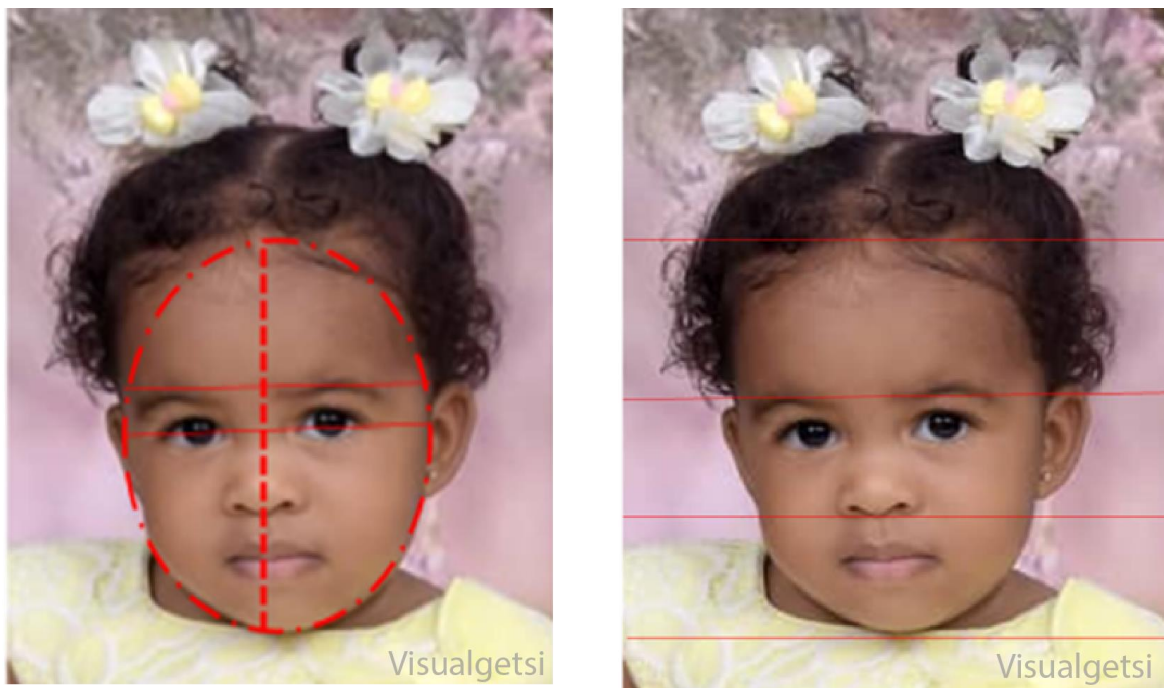


Figura 19. Características de la cabeza de una niña de 2 años.

Características de la cabeza de un niño 7 años.

A esta edad el crecimiento de la cabeza es evidente y comienzan a apreciarse cambios sustanciales:

- a. El cabello ha crecido mucho, hasta el punto de invadir parte de la frente y de las sienes.
- b. La mandíbula está ya más desarrollada y, como consecuencia de ello, la cara resulta más alargada que a los dos años
- c. Los ojos y las cejas, estas últimas más pobladas, se han desplazado hacia arriba.
- d. Nariz, boca y orejas se hallan, también, situadas más arriba.
- e. Sigue, sin embargo, la forma curvada de la mandíbula. Nótese las coincidencias en la imagen.



Figura 20. Características de la cabeza de un niño de 7 años.

Rostro de un niño de 7 años.

El conjunto facial es tridimensional por lo que trabajar con las medidas en varios planos nos puede aportar datos de importancia en el momento de concebir las armaduras.

En la imagen se muestran medidas faciales en una vista frontal que siguen la misma dinámica a las descritas por autores como (Salvadó 2001) en el capítulo de diseño de monturas. En esta vista frontal con saetas negras y líneas rojas (Martín, 2022)

Tabla 2 Medidas faciales frontales. Vista frontal.

Siglas	Medidas frontales principales
DT	Distancia temporal
DE	Distancia esfenoidal
DIP	Distancia Inter pupilar
AFN	Ángulo nasofrontal derecho
Siglas	Medidas frontales relativas al plano de la armadura
h	Altura nasal
n	Ancho nasal

Siglas	Medidas faciales frontales complementarias
LC	Línea del cantus
C	Altura de las cejas
P	Altura de pómulos
LP	Línea pupilar

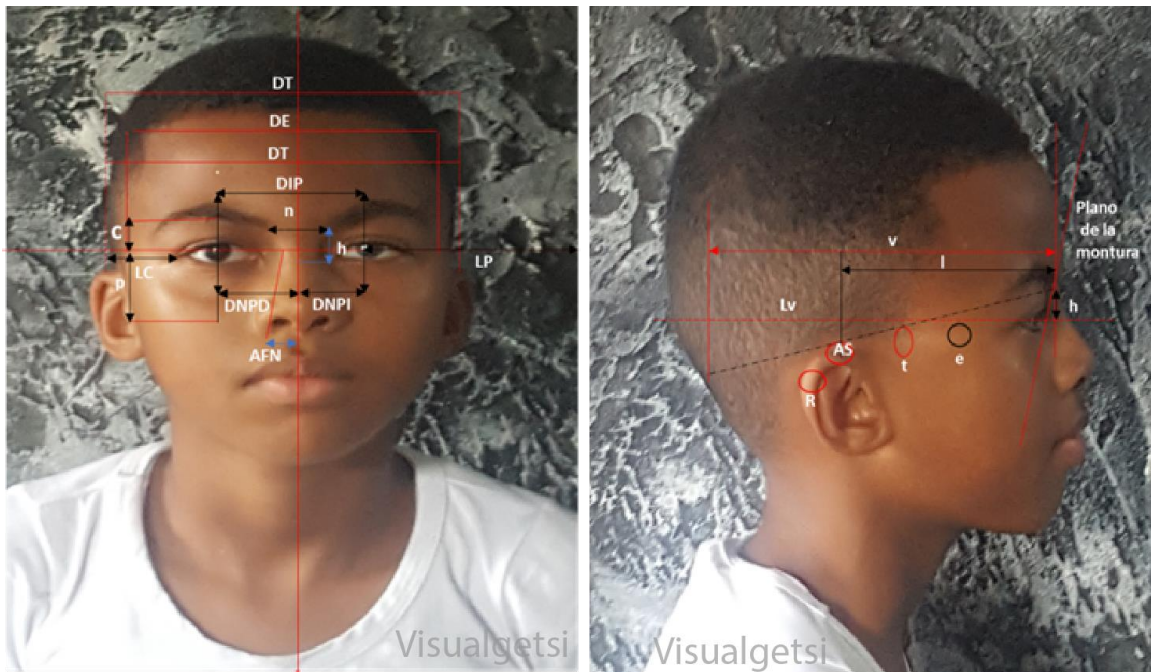


Figura 21. Ejemplificación de la norma a la hora de tomar medidas.

Tabla 3 Medidas faciales de perfil. Vista de perfil.

Siglas	Medidas de perfil
AS	Punto auricular superior
R	Punto de peñasco
t	Apófisis temporal
e	Apófisis esfenoidal
Lv	Línea Visual
V	Longitud total de la varilla (nominal)
l	Longitud de la varilla

Fuente: disponible (ETPCBA, n.d.)

Quedan descritas de forma gráficas estas medidas. Las mismas pueden ser tomadas de forma manual mediante el uso de una regla y otros instrumentos de utilización en la consulta de optometría. Con vistas a mejorar la sensibilidad de estas mediciones y teniendo en cuenta estas medidas como marco de referencia se propone utilizar la técnica de procesamiento de imagen.

2.2.3 Sistema Boxing características.

De los sistemas de medidas existentes normalizados tomamos el sistema Boxing por ser utilizado por más frecuencia por los fabricantes de armaduras, según autores como Salvadó. F, es un sistema que hace referencia a medidas generales externas del calibre y su posición relativa, ver figura 21.

Sistema Boxing según norma UNE-EN-ISO-8624:1996

Teniendo en cuenta medidas como calibre de la lente, su ancho y altura para conformar un área rectangular que proporciona referencia.

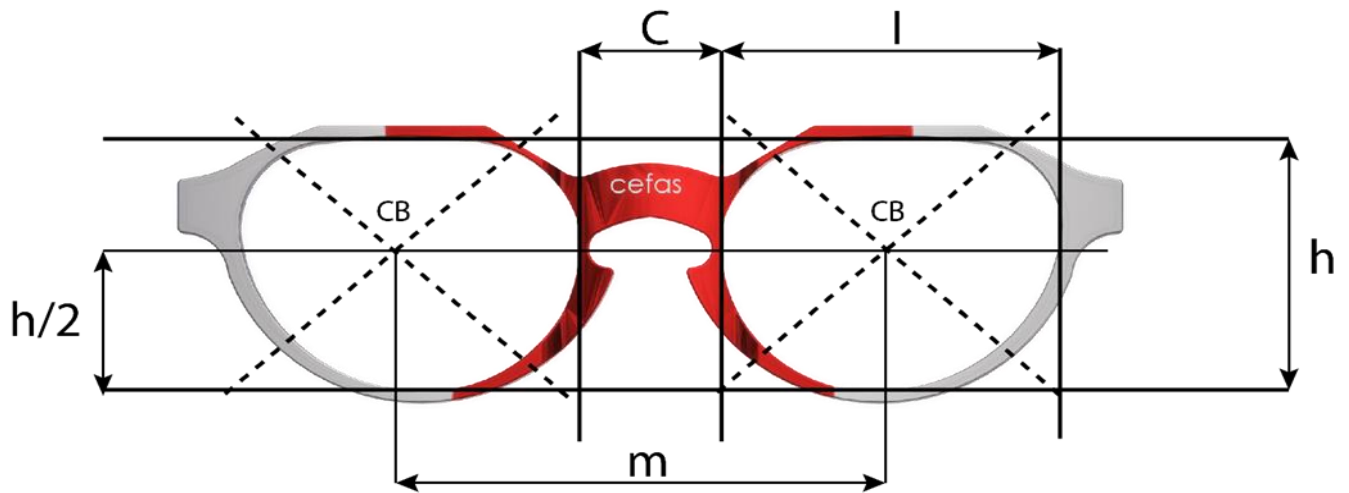


Figura 22. Dibujo de las medidas de la norma UNE-EN-ISO-8624:1996 según el sistema Boxing para monturas de gafas. Tomadas de (ETPCBA, n.d.)

Sistema Boxing, ecuación de simetría:

$$m = I + C$$

m-distancia entre centros

I-ancho máximo del calibre

C-distancia con el calibre

2.3 Diseño digital de la armadura. Metodología.

Luego de tener los datos de los pacientes proporcionados por las medidas dadas por un profesional se pasan estos datos a un programa de diseño en este caso a *SolidWorks* dando paso al diseño 3D de las gafas.

2.4 Pasos para la metodología de diseños a seguir en *Solidworks*.

1. Diseñar en 2D el contorno de las gafas con las medidas proporcionadas y acotar la figura. Para esto se traza una línea de construcción vertical que pase por el punto centro del plano frontal, luego se diseña la parte izquierda de los contornos de la armadura y se va acotando cada segmento hasta completar la mitad de esta. Con esto se consigue una perfecta simetría ya que se utiliza la herramienta espejo y asistida por la línea de construcción se generará de forma automática la parte

derecha de esta, teniendo conformado el plano 2D de los contornos de la armadura.

2. Se utiliza la herramienta de **extruir** para darle grosor tridimensional a la armadura hasta alcanzar el valor del grosor deseado para esta.
3. Para crear los agujeros de los lentes se diseña su contorno en 2D al igual que el paso 1 y se utiliza la herramienta **extruir corte** en la modalidad *through all* para general área de los cristales manteniendo un equilibrio en las propiedades mecánicas de la figura (ejemplo no cortar la figura en zonas críticas o dejar zonas más finas que puedan ser propicias a ruptura por su geometría).
4. Para generar la ranura donde descansan los lentes se diseña un aro con la geometría exacta de los lentes y se extruye el corte en la modalidad de *one-direction*, centrando está en el medio de la armadura, cortando así una ranura interna donde descansarían los cristales dentro de la armadura.
5. Diseñar en 2D la geometría de las bisagras. Para mayor exactitud en este paso se traza en el centro de la figura una línea de construcción y se utiliza la herramienta espejo para generar la bisagra en el otro extremo de la armadura con todas las coordenadas idénticas a la diseñada.
6. Se **extruye** las bisagras para generarlas en 3D.
7. Se posicionan los agujeros de centro en las bisagras diseñando dos cilindros asistidos por la herramienta espejo donde luego se utiliza la herramienta de **extruir corte** para generar estos agujeros.
8. Para finalizar se aplica la herramienta de redondeo en la figura para dar suavidad y apariencia final en los lugares estimados.

Los pasos para el diseño de las varillas son utilizando estos mismos pasos y herramienta para ambas varillas derecha e izquierda. Estudiado y tomado de (SolidWorks, 2022)

2.5 Selección de los parámetros a utilizar para generar el G code.

Antes de iniciar con la selección de los parámetros es importante conocer bien a fondo las capacidades de la impresora a utilizar, las exigencias de posición del objeto a imprimir y características del filamento. Ya teniendo dominado estos pasos siempre se debe asegurar

el diámetro de la boquilla en caso de que fuera cambiada y no se estropee por error en los parámetros seleccionados. (Ultimaker, 2019)

Ultimaker Cura 5.1

Calidad

- Altura de capa: 0.2mm
- Altura de capa inicial: 0.32mm
- Ancho de línea: 0.44 mm

Paredes

- Grosor de líneas de pared: 0.8mm
- Recuento de líneas de pared: 3
- Alineación de costura en Z: especificada por el usuario
- Posición de costura en Z: posterior
- Preferencia de esquina de costura: ocultar costura
- Superior o inferior
- Capas superiores: 4
- Capas inferiores: 3
- Patrón superior/inferior: zigzag

Relleno

- Densidad de relleno: 100%
- Patrón de relleno: giroide
- Conectar líneas de relleno: activado
- Porcentaje de superposición de relleno: 5.0%
- Relleno antes que las paredes: activar

Material

- Temperatura de impresión: 200 c
- Temperatura de impresión de la capa inicial: 210 c

- Temperatura de la placa de impresión: 60 c
- Flujo: 100%

Velocidad

- Velocidad de impresión: 20 mm/s
- Velocidad de relleno: 30 mm/s
- Velocidad de pared exterior: 15 mm/s
- Velocidad de pared interior: 30 mm/s
- Velocidad de capa inicial: 10mm/s
- Velocidad de desplazamiento: 120mm/s
- Velocidad de impresión de la capa inicial: 10mm/s

Desplazamiento

- Habilitar la retracción: activada
- Retracción en el cambio de capa: activado
- Distancia de retracción: 4.5mm
- Modo peinado: no el forro
- Salto en Z en la retracción: activada
- Altura del salto en Z: 0.2mm

Refrigeración

- Activar refrigeración de impresión: activada
- Velocidad del ventilador: 100%

Soportes

- General soportes: activada
- Colocación del soporte: en todos sitios
- Angulo de voladizo del soporte: 50grados
- Adherencia de la placa de impresión
- Tipo de adherencia de la placa de impresión: balsa
- Cámara de aire de la balsa: 0.3mm

Estudiado y tomado los parámetros estimados de (Ultimaker, 2019)

2.6 Código G

El *G-code* es un lenguaje en formato de texto, es el fichero que nos entrega el software de laminado en este caso *Ultimaker Cura 5.1* que ordena a la impresora 3D que realice un movimiento lineal, mientras indica la cantidad de material específico a depositar en las coordenadas indicadas. Tomado de (Automation, n.d.)

2.7 Proceso de impresión

Al terminar de imprimir las gafas el primer paso ya sea impresa con una capa de adherencia de Balsa o Falda se procede a separarla de esta capa con la ayuda de una herramienta metálica plana o simplemente con las manos en el caso de poder ser así de la impresora. Luego el técnico debe eliminar todos los soportes con ayuda de una cuchilla o diversas herramientas como pinzas hasta dejar solamente el producto deseado libre. Con la ayuda de un pie de rey se pasa a verificar todas las medidas revisando el plano proporcionado por el diseñador para controlar una impresión correcta.

2.8 Pos-procesamiento

El pos-procesamiento consiste en una secuencia de rectificaciones al producto para dar la calidad de terminación deseada.

1. Retirar zonas de soportes y marcas de la balsa que se encuentren aun en la superficie o huecos de las gafas.
2. Con la ayuda de una placa térmica con la forma deseada de las gafas y asistido por aire a color se molde la forma buscada de los ángulos de la armadura y el doble de las varillas
3. Con la asistencia de un Dremell maquinar el producto de forma tal que se deje lo más cerca de su forma deseada utilizando puntas como, cierra, brocas, lijas y puntas de redondeo.
4. Aplicar con una herramienta de calor propulsada por aire varias pasadas simples sobre toda la superficie sin llegar a deformar la pieza, esto mejora la sensación al

tacto del material eliminando microfibras que quedan de la impresión y sellando con el mismo polvo dejado por los procesos anteriores de las microgrietas.

5. Lijar con una hoja de lija P-120-150 con la mano para poder controlar con mayor exactitud el lijado en zonas sensibles o de redondeo (repetir las veces que se estime necesarias)
6. Lijar con lija de agua de grano fino (crea una micro capa de pasta del mismo sedimento desprendido por el mismo material al ser lijado con la lija húmeda)
7. Dar una pasada lenta a temperatura aproximada a 45-50 grados de aire caliente para acabado final solidificando el sedimento.

CONCLUSIONES PARCIALES

La metodología expuesta permitirá el desarrollo de casos de estudios que posibiliten corregir y modificar la misma. Este capítulo puede formar parte de la propuesta de proyecto para la fabricación de armaduras por métodos de manufactura aditiva.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1 Variantes de Armaduras confeccionadas.

En el desarrollo se confeccionaron y probaron 4 tipos de armaduras para un análisis de sus propiedades mecánicas para el día a día. Una de las variaciones más significativas entre ellas fue su sistema de bisagras y una de las partes más críticas del diseño de estas, por su complejidad y especificaciones a tener en cuenta tanto por el filamento utilizado como por las características de impresión de la impresora en sí.

Tipo A

Modelo bisagra común, consiste en el sistema de bisagra de unión por tres partes donde tiene apoyo exterior en la armadura y la pata cuenta con un apéndice que se sitúa dentro de estos apoyos uniéndose por un pasador y creando una bisagra de tres soportes exteriores en la armadura y central en las varillas

Este modelo resulto ser muy frágil en las uniones debido al poco espacio y por ende poco grosor de las bisagras siendo poco funcional.



Figura 23



Figura 24

TIPO B

Modelo insercion, este modelo la varillas se implementaba en el aerea interna de la armadura, dando la impresión que fuera una sola pieza, su union como la anterior era mediante un pasador que fijaba ambas partes. Este modelo era mas fuerte y resistente que el anterior y le brindaba a la varilla un angulo mayor a 90 grados lo que le ofrecia menor posibilidad de roptura al ser esta sometidas a distintas fuerza, pero a su vez eran mas incomodas al utilizar y no tenian un cierre presiso a la hora de cerrarse para efectuar un guardado.

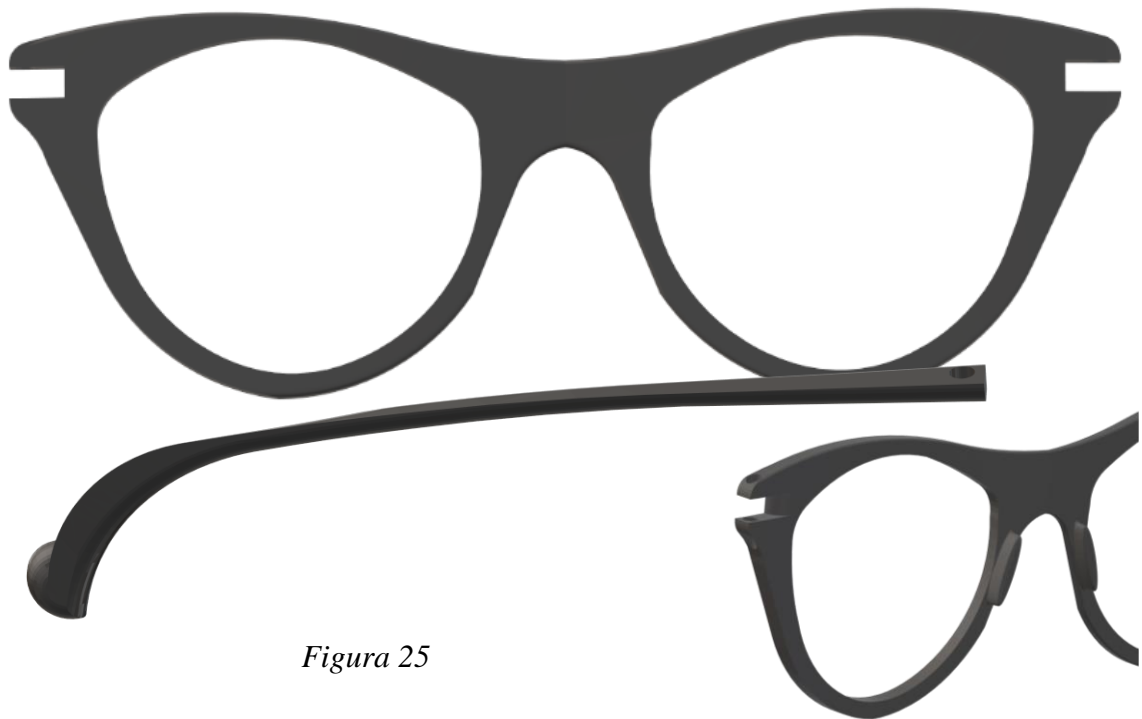


Figura 25

TIPO C

Modelo directo, este no precisaba de un pasador a diferencia de los anteriores y daba la posibilidad de desarme simple para guardado que podía ser realizado por el mismo usuario de forma rápida y segura, en la misma geometría de la varilla constaba con una protuberancia cilíndrica que realiza la función del pasador sobre una unión única en la armadura. Este modelo consta con buena resistencia mecánica funcional, y un movimiento correcto y limpio, pero debido a las características del filamento no era un producto funcional a largo plazo ya que el PLA se erosionaba con el movimiento llegando al punto de que las varillas se desacoplaban por sí mismas.



Figura 26

TIPO D

Modelo final, este fue diseñado con la unión de toda la experiencia positiva acumulada con los diseños anteriores, presenta la movilidad correcta del sistema de bisagra común, la practicidad de no llevar un pasador extra ya que la unión mecánica es entre la varilla en forma de pinza y una única protuberancia en la armadura dando espacio a esta ser diseñada más gruesa. Este modelo presenta buenas propiedades mecánicas, visualmente atractivo, cómodo debido a su geometría y duradero al tiempo.



Figura 27

3.2 Forma del cálculo utilizada para obtener el costo de fabricación aditiva.

Para el cálculo aproximado del costo de fabricación se realizaron algunas aproximaciones que se muestran a continuación:

- Para el cálculo de la amortización se estimó un costo de la impresora de 600 USD y se convirtió a moneda nacional con la tarifa de empresa. Se consideraron 288 días de trabajo en un año y un tiempo de amortización de 3 años.
- El tiempo estimado de operación de un técnico por cada pieza es de 30 minutos, en este rango temporal se contempla la copia de *G-code* a la memoria de almacenamiento *SD-Card* de la impresora, revisión de la impresora, cambio de filamento en caso de ser necesario, calentamiento de la boquilla y la cama de la impresora y limpieza del filamento, primeros cinco minutos de impresión.
- El costo de filamento fue calculado con un precio de compra de 1kg de filamento a 15 *dólares*, para un cálculo más exacto se tomó el valor del dólar estadounidense (USD) con respecto a la moneda nacional (CUP) por la tasa nacional de empresa donde 1USD=24CUP, dando un costo de compra de 1kg de filamento PLA básico a 360 CUP.
- Para el cálculo de la tarifa de pago de corriente eléctrica por kw/h fijo se utilizó un valor estimado promedio según de la Gaceta Oficial de la República de Cuba que aplica para empresas de baja intensidad de consumo eléctrico de 5 CUP el kwh
- El costo de producción se determina por la ecuación (1.1). En el caso del trabajo fue calculado para una pieza de cada variante analizada.

$$C_p = C_a + C_s + C_f + C_e \quad (1.1)$$

- C_p -Costo de producción (CUP).
- C_a - Costo de Amortización de la impresora (CUP).
- C_s -Costo de salario del técnico (CUP)
- C_f -Costo del filamento (CUP)

- C_e -Costo de electricidad (CUP)

La amortización de la impresora se determina teniendo en cuenta que el costo aproximado es de 600 euros, equivalente a 14,400.00 CUP. El tiempo de amortización se establece en tres años, por lo que dividiendo el costo de la impresora entre 6,048 horas laborales que tienen los tres años y multiplicándolo por el tiempo de fabricación podremos estimar el costo de amortización para cada pieza. Ver tabla 5. Para calcular el costo de salario se parte de que un salario promedio de un técnico especializado es equivalente a 4200 CUP al mes. Mensualmente se trabaja 190.6 h, lo que equivale a 22 CUP/h. Si el tiempo de trabajo del técnico por cada pieza es de 30 min, tendríamos un costo de salario equivalente a 11 CUP por cada pieza ($C_s = 11.00$ CUP). El costo del filamento se estima a partir del gasto de filamento para cada variante y el valor del costo de un kilogramo de PLA (360 CUP), los resultados se muestran en la tabla 5. Para el costo de energía se parte del consumo de la impresora *Wanhao D6*, según el fabricante 221w, equivalente a 0.221Kw. El costo estimado de un Kwh es de 5 CUP, en la tabla 5 se muestran los resultados del Costo de energía (C_e).

Tabla 4. Datos para el cálculo de los costos de producción para cada modelo

Modelo	Tiempo de Impresión (h)	Gasto de filamento (Kg)	Consumo (Kwh)
Tipo A	5.68	0.051	1.26
Tipo B	2.55	0.019	0.56
Tipo C	4.55	0.049	1.01
Tipo D	2.58	0.021	0.57

Tabla 5. Resumen de los costos para cada modelo. (C_s se considera fijo tomando el valor de 11 CUP)

Modelo	C_a	C_s	C_f	C_e	C_p
Tipo A	13.63	11	18.36	6.30	49.29
Tipo B	6.12		6.84	2.80	26.76
Tipo C	10.92		17.64	5.05	44.61
Tipo D	6.19		7.56	2.85	27.60

En las secuencias de tablas anteriores se pueden observar datos reales de la evolución y reducción del costo de producción final sin llegar a afectar al producto, disminuyendo su tiempo de impresión y cantidad de filamento utilizado hasta alcanzar un producto factible para su producción y de calidad industrial, siendo el prototipo D a pesar de no ser el prototipo más barato de producir si es el de mejor relación calidad precio, ya que sus propiedades mecánicas, acabado y geometría son superiores a las del prototipo B por lo cual es de mejor resultado y el caso de estudio a realizar con pacientes reales.

3.2.1 Comparación con producto de importación según costo primario

Tabla 6 comparación de costos

CEFAS GLASSES	27.60CUP	Producto nacional
Amazon GLASSES	91CUP	+ Importación

Figura 28. Marcos de gafas precio Amazon.



listo para enviar ⓘ

Marco de gafas para niños, montura de gafas para bebés, china

Muestra disponible • Servicio integral

★★★★★ 4.0 (1 comentarios) · 3 pedidos

3,80 US\$

Pedido mín.: 15 Unidades

3,70 US\$

≥300 Unidades

3.3 Caso de estudio. Toma de medidas

Se desarrollo la variante para un el niño de 7 años, como caso de estudio.

Tabla 6 valores de medición de un niño de 7 años.

Siglas	Medidas frontales principales	Valores
DT	Distancia temporal	120 mm
DE	Distancia esfenoidal	110 mm
DIP	Distancia Inter pupilar	60
AFN	Ángulo naso frontal derecho	37 grados
Siglas	Medidas frontales relativas al plano de la armadura	
h	Altura nasal	10 mm
n	Ancho nasal	10 mm

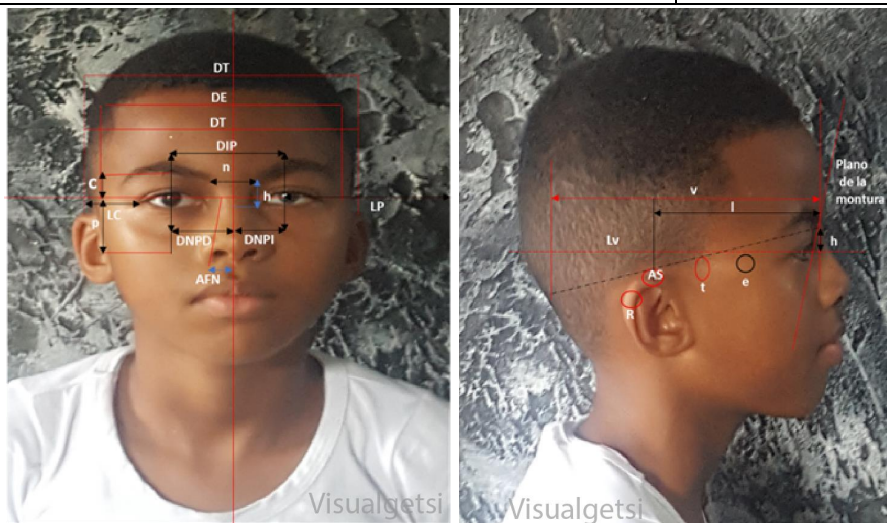


Figura 29, niño de 7 años parámetros de medición.

3.4 Pasos para el diseño del caso de estudio.



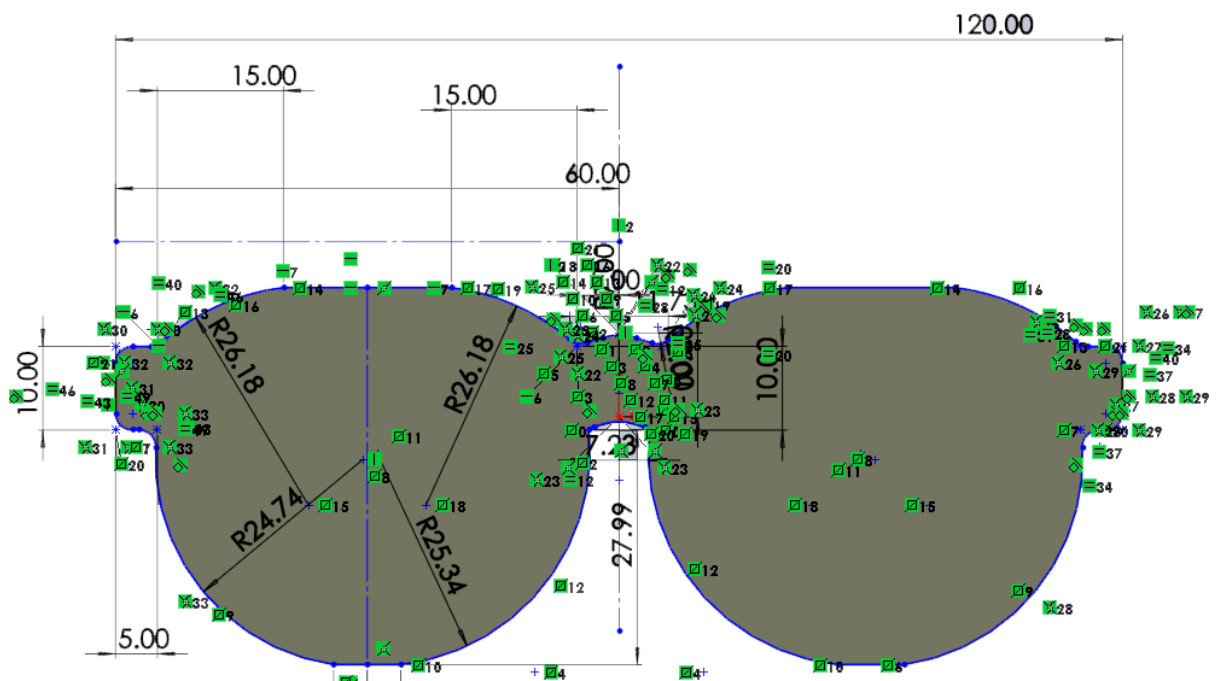
Figura 30

Diseño en *Solidworks*.

PASOS:

Diseñar en 2D el contorno de las gafas con las medidas proporcionadas y acotar.

Figura 31.



- Extruir hasta el valor del grosor deseado para la armadura.
- En este caso se utilizó como valor ideal 5mm.

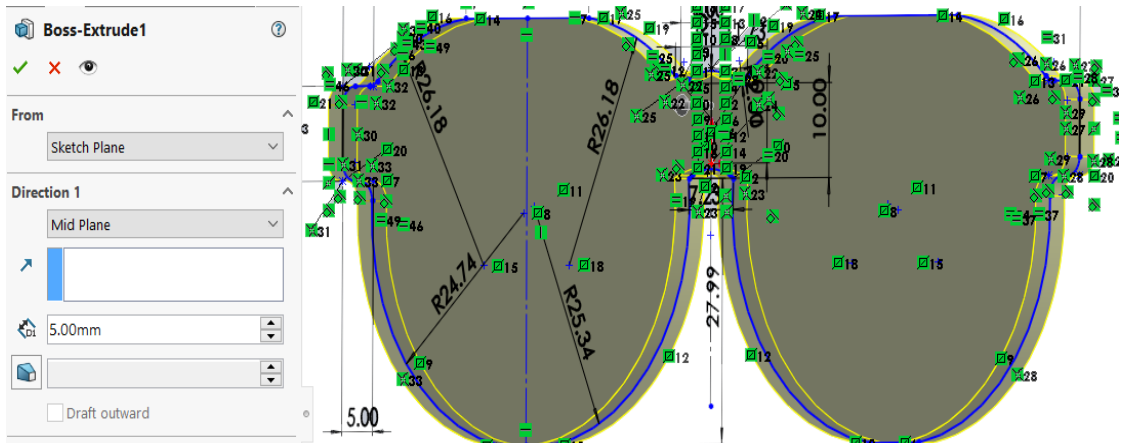


Figura 32

- Cortar es área de los cristales manteniendo un equilibrio en las propiedades mecánicas de la figura (ejemplo no cortar la figura en zonas críticas o dejar zonas más finas que puedan ser propicias a ruptura por su geometría).

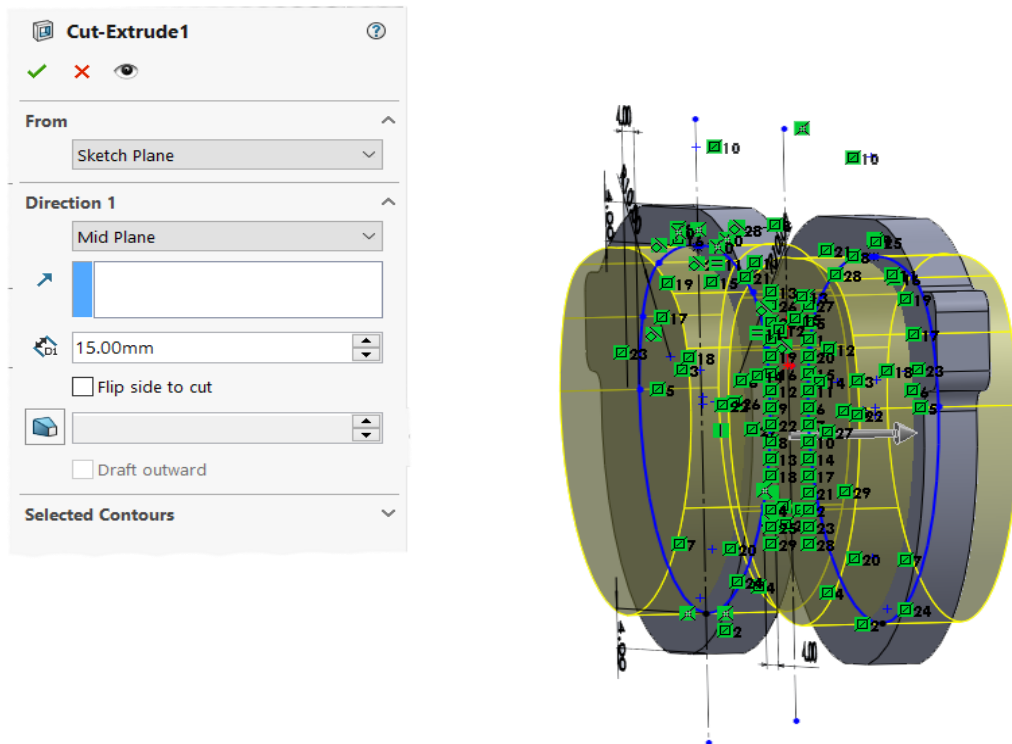


Figura 33

- Cortar una ranura interna donde descansaran los cristales dentro de la armadura.

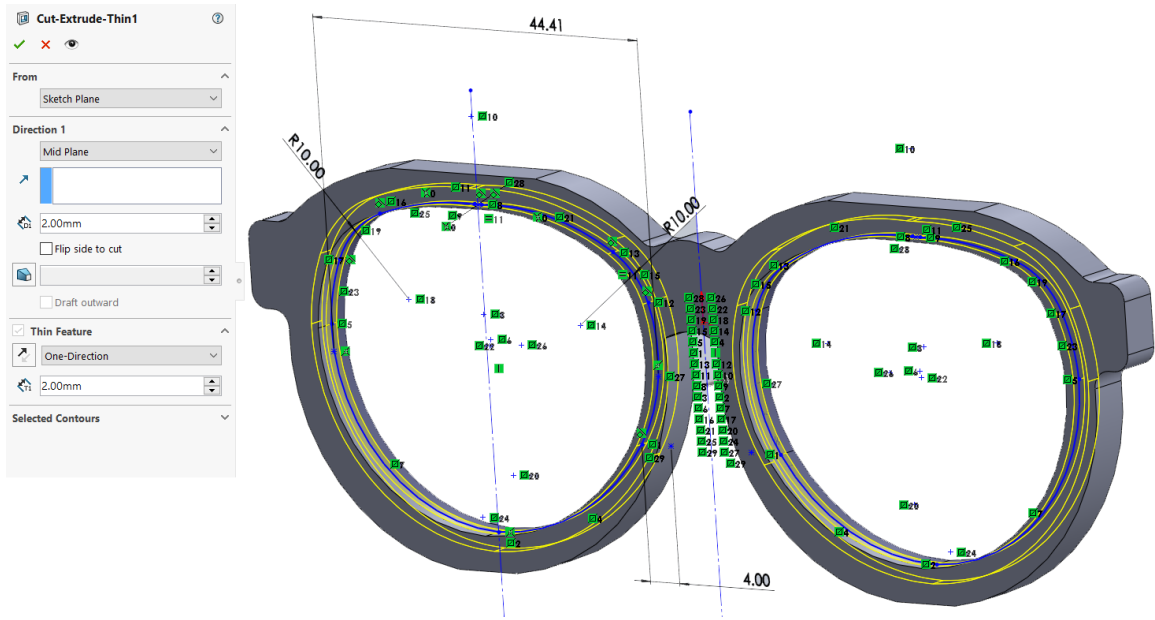


Figura 34

- Diseñar en 2D la geometría de las bisagras.
- Para mayor exactitud en este paso se traza en el centro de la figura una línea de construcción y se utiliza la herramienta espejo para generar la bisagra en el otro extremo de la armadura con todas las coordenadas idénticas a la diseñada.

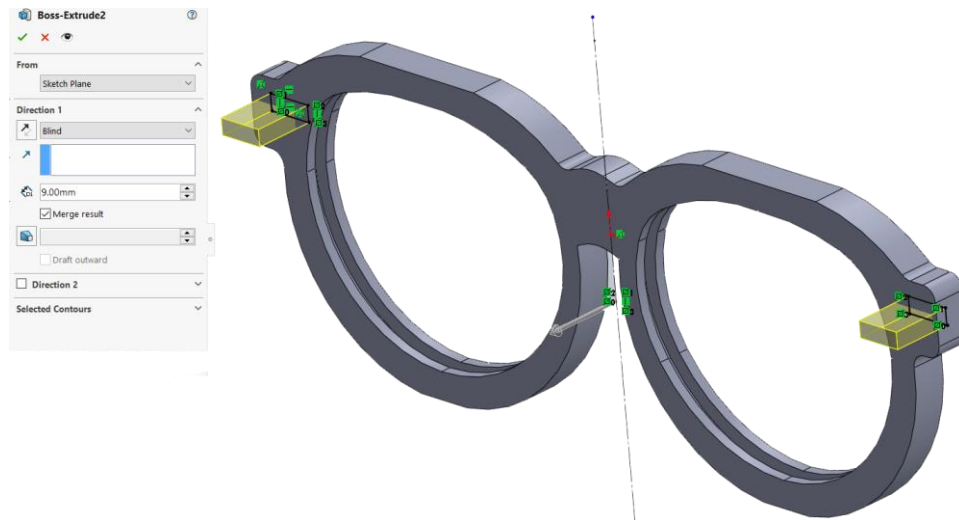


Figura 35

- Se le dio una dimensión de 9mm.

- Se extruye las bisagras para generarlas en 3D.

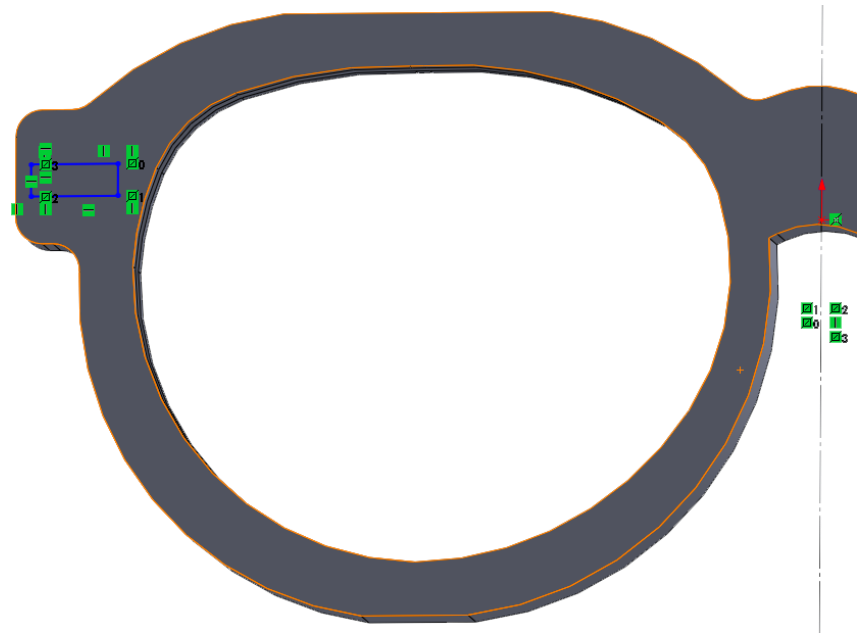


Figura 36

- General los agujeros de centro en las bisagras. Se crea dos cilindros con medidas especificadas por el diseñador y luego se utiliza la herramienta de corte para generar estos.

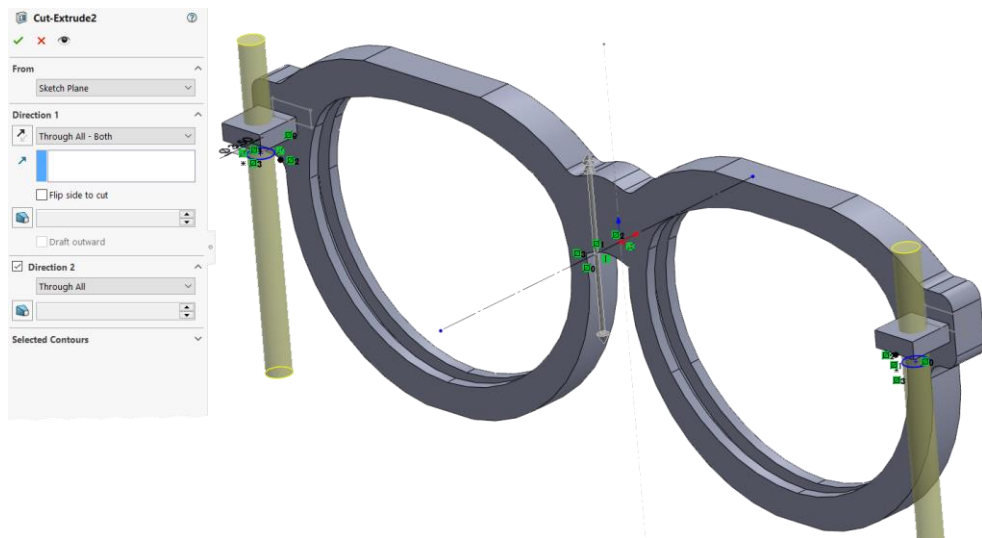


Figura 37

- Aplicar redondeo en la figura para dar suavidad y apariencia final



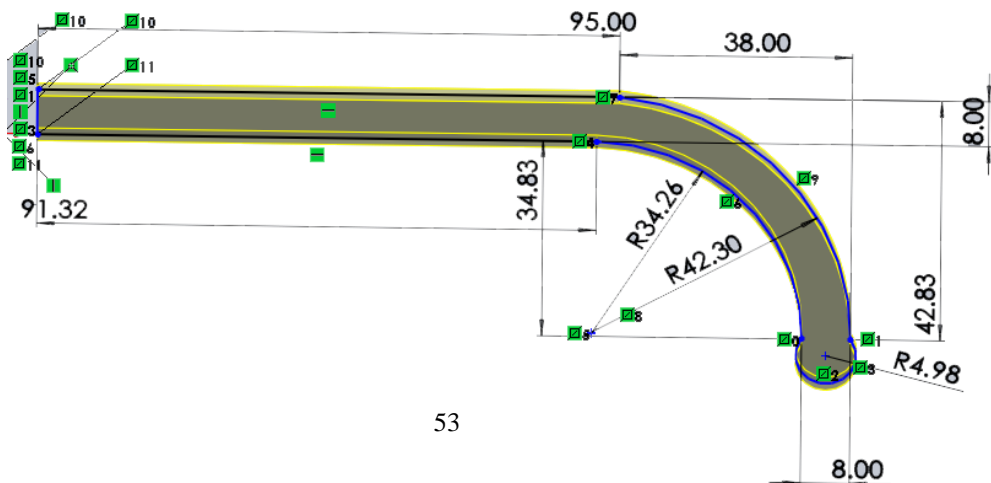
Figura38

PASOS PARA DISEÑAR LAS VARILLAS.

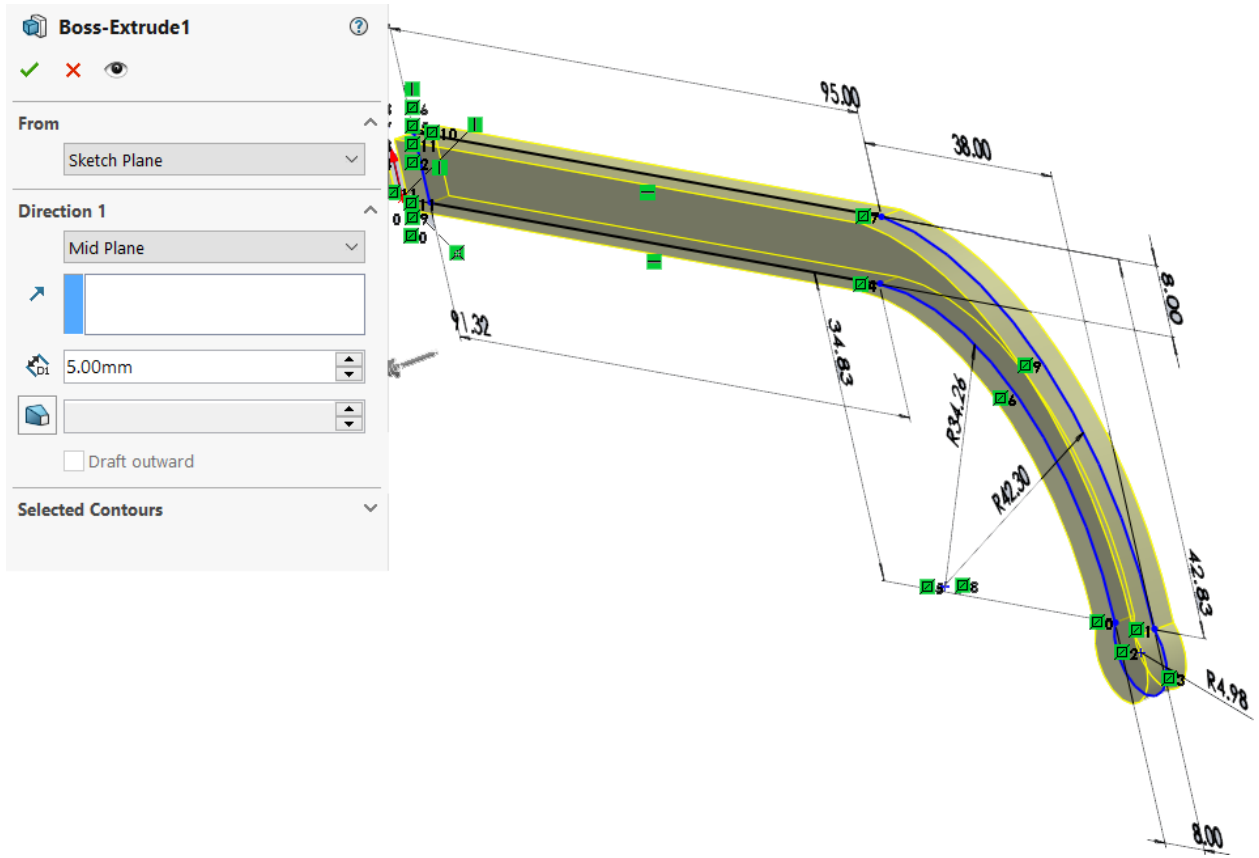


Figura 39-42

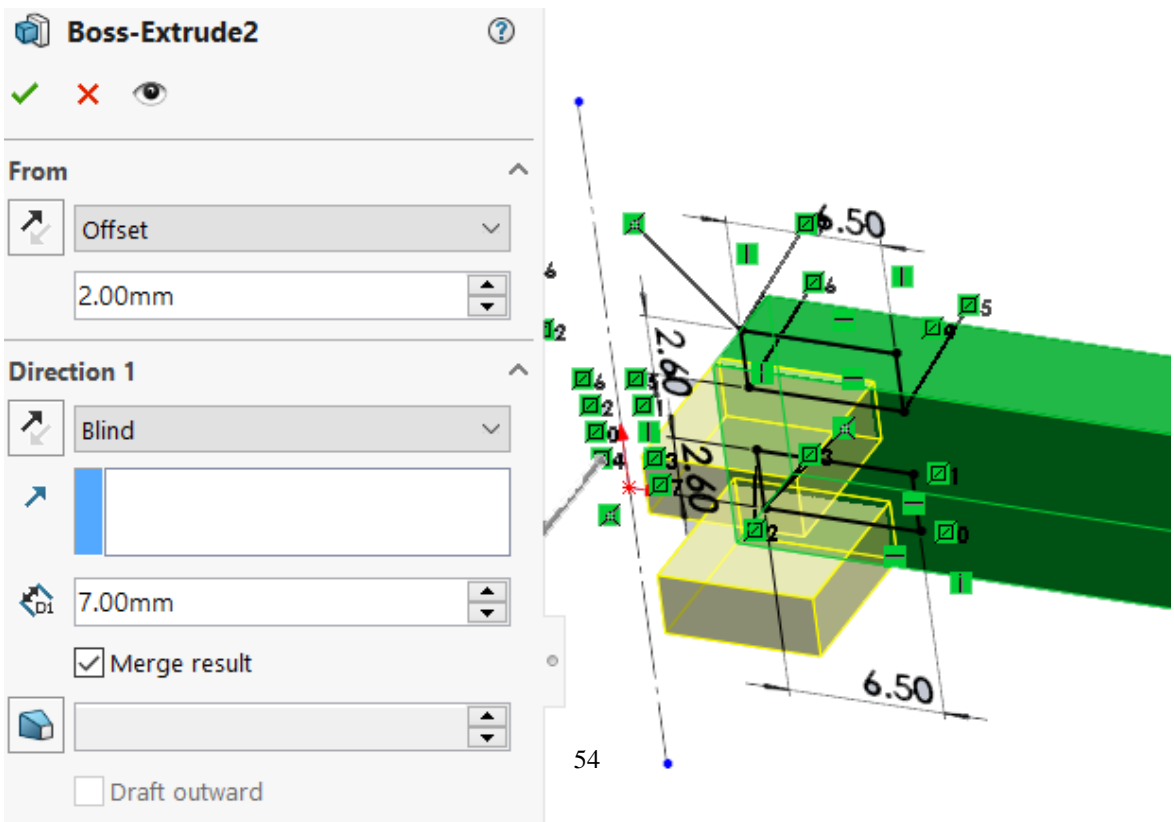
- Diseñar la varilla con los datos proporcionados en un plano 2D



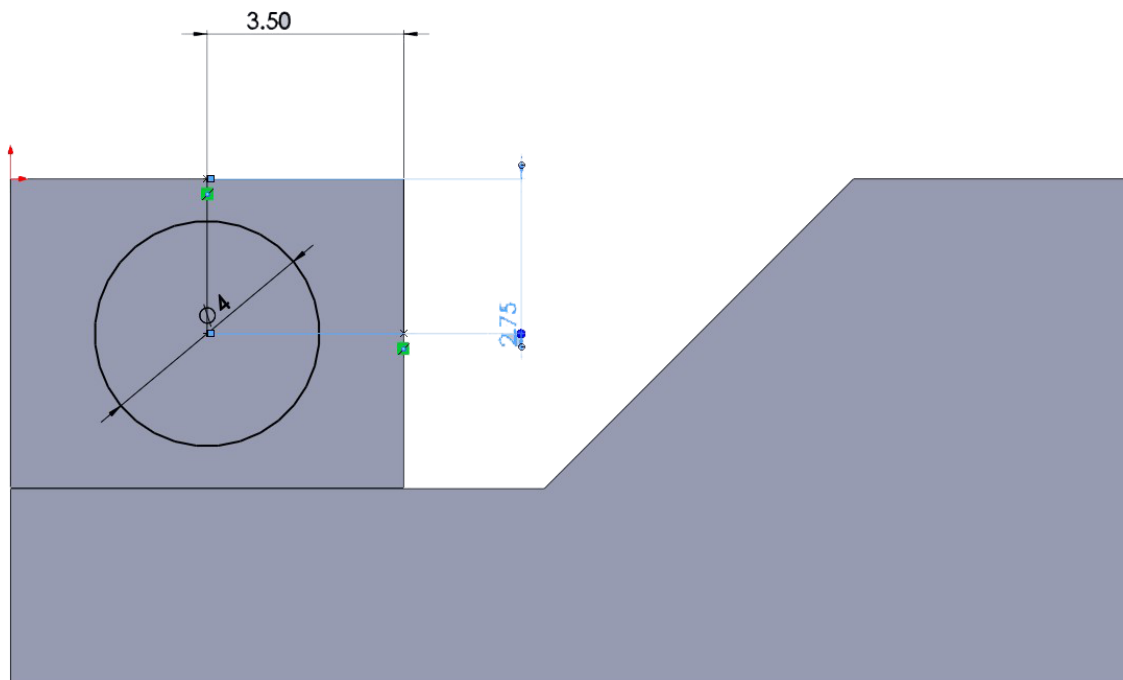
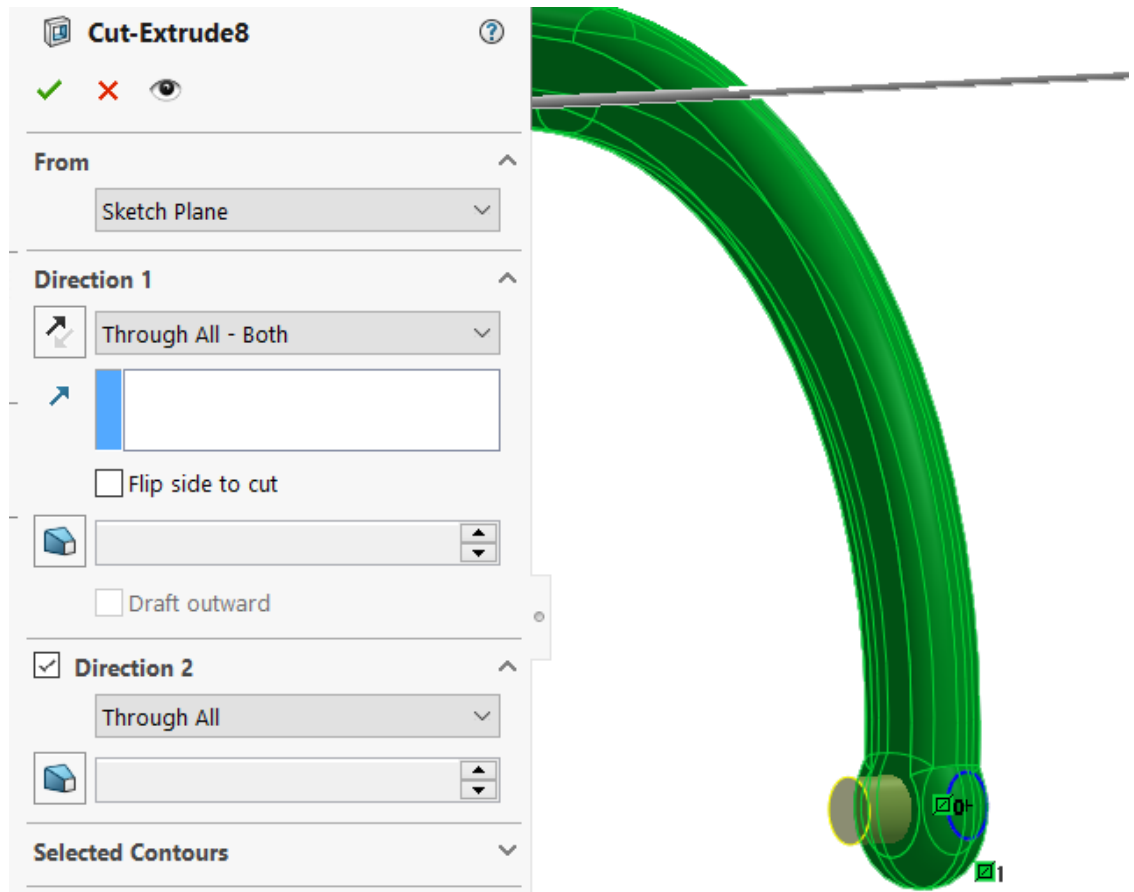
- Extruir.



- Diseñar y general en 3D los soportes de las bisagras.



- General y extruir los dos puntos de anclaje.
- Crear el agujero y cortar la figura donde se colocará la liga de ajuste.



- Redondeo en los lugares ideales para mejorar la comodidad del usuario y su sensación al tacto



CONCLUSIONES PARCIALES

Se observa 4 tipos de variantes de diseño que se fueron desarrollando desde el principio de la investigación, de una forma más visible se puede observar sus diferencias ventajas y carencias y el desarrollo de los pasos de diseño del capítulo anterior desarrollado con la variante final.

CONCLUSIONES GENERALES.

Los objetivos trazados fueron cumplidos para lo que se desarrollaron 4 variantes finales con distintas geometrías que tienen cuenta aspectos importantes de resistencia y de impresión aditiva, cada una buscaba solucionar algún problema, evolución del modelo anterior o rectificar fallas. Finalmente se llega a la variante 4, la cual cumplió las expectativas buscadas en el proyecto, abriendo un nuevo camino a seguir para las ópticas cubanas y la industria 4.0 en Cuba, siendo más barata su fabricación, permitiendo diseños personalizados y más amigables con el medio ambiente, reduciendo, en gran medida, el costo de adquisición de la población, las importaciones y la garantía de existencia en el mercado nacional.

RECOMENDACIONES GENERALES.

Se recomienda continuar perfeccionando la geometría y regímenes de impresión de forma que se puedan desarrollar otras variantes que mejoren la calidad del producto. Esto permitiría llevar el proyecto a escala industrial con una correspondiente respuesta a la disminución de importaciones. Por otra parte, se debe pasar a incluir otros materiales más resistentes que permitan una mayor durabilidad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- Abax3Dtech. (2020). *Características de los filamentos*. Retrieved from <https://abax3dtech.com>
- Automation, H. (n.d.). *Qué son los códigos G*. Retrieved from <https://www.haascnc.com>
- Cambala, A. C. (2022). *Design Social: Construção de Armações Femininas para uma Identidade africana*.
- Creativemaket. (2018). *Geometria del rostro*. Retrieved from <https://www.creativemaker.com>
- Diferencia entre impresión 3D FDM-FFF*. (2020). Retrieved from <https://www.masterc3d.es/blog/diferencias-entre-una-impresora-3d-fdm-fff/>
- ETPCBA. (n.d.). *Capítulo 19. Diseño de Monturas ETPCBA*. Retrieved from <https://www.etpcba.com.ar>
- Fuegirola, B. (2019). *Componentes de los espejuelos*. Retrieved from <https://www.opticabalbuenaafuegirola.com>
- Geographic, N. (2020). *Un invento revolucionario en la Edad Media*. Retrieved from <https://historia.nationalgeographic.com>
- Historia de las gafas de sol y su evolución*. (2017). Retrieved from <https://medicaloptica.es>
- Leonardo. (1990). *Del Vecchio*.
- Letiamo. (n.d.). *Medidas simples con tarjetas*. Retrieved from <https://www.letiamo.es.com>
- Letiamo. (n.d.). *Significado de los numeros en las varillas*. Retrieved from <https://www.letiamo.es.com>
- Martín, D. Y. (2022). *Manual técnico-funcional para diseño e impresión 3D de prototipos de monturas que gestiona el sistema Visualgesti*.
- SmartBuyGlasses, 2. (2021). *Materiales de los lentes*. Retrieved from <https://www.gafasworld.com>
- SolidWorks. (2022). *Solidworks*. Retrieved from <https://www.solidworks.com.es>
- Ultimaker. (2019). *Ultimaker Cura: Powerful, easy-to-use 3D printing software*. Retrieved from <https://ultimaker.com>
- Vecchio, L. D. (1990). *Del Vecchio, 1990*. Retrieved from *Del Vecchio, 1990*.
- Wanhao. (2020). *Wanhao D6*. Retrieved from <https://www.wanhao.com>
- Wanhao. (2020). *WANHAO D6*. Retrieved from <https://www.wanhao.com>

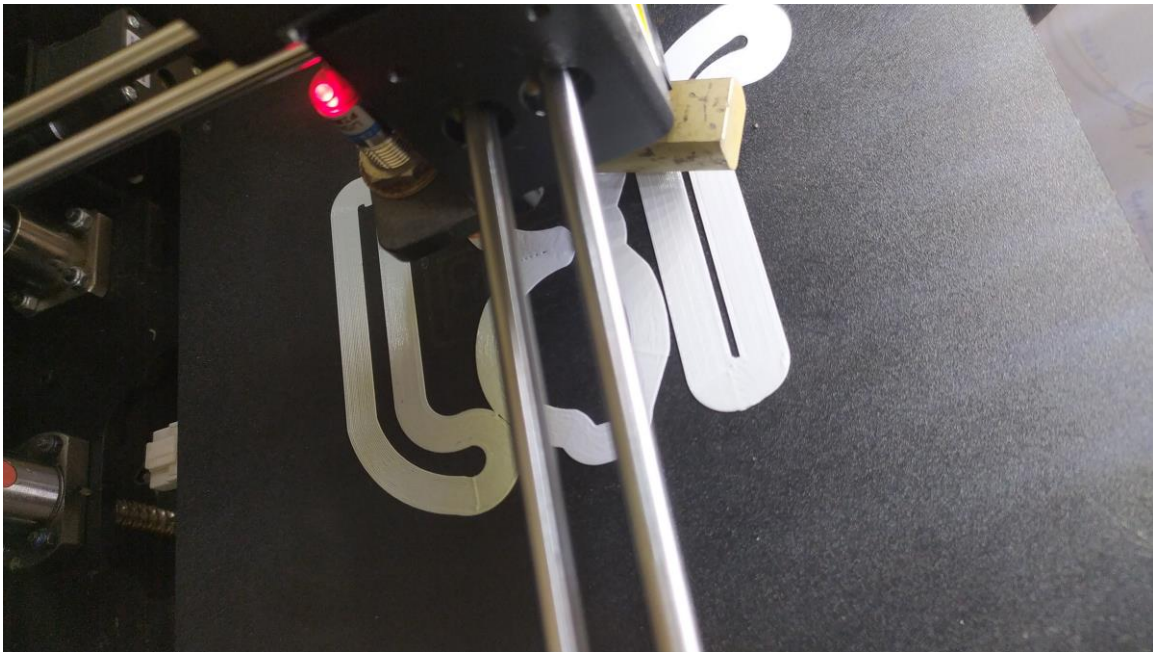
ANEXO



Balsa o Raft



Herramientas para trabajo de desmonte de la impresión



Proceso de impresión



Prueba en el paciente (niño de 7 años.)