UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTRUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS CON MANUFACTURA ADITIVA PARA LA BASE DE MOVILIZACIÓN SUR

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: GEOVANNY BENJAMIN MALDONADO SEAS

TUTOR: ING. LUIS MARCELO LÓPEZ LÓPEZ, Ph.D

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Geovanny Benjamin Maldonado Seas con documento de identificación N° 0106178122 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 2 de febrero del 2023

Atentamente,

Geovanny Benjamin Maldonado Seas
0106178122

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Geovanny Benjamin Maldonado Seas con documento de identificación N° 0106178122, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Construcción de envases plásticos con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 2 de febrero del 2023

Atentamente,

Geovanny Benjamin Maldonado Seas
0106178122

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Marcelo López López con documento de identificación N° 0102906971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación:CONSTRUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS CON MANUFACTURA ADITIVA PARA LA BASE DE MOVILIZACIÓN SUR realizado por Geonanny Benjamin Maldonado Seas con documento de identificación N° 0106178122, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 2 de febrero del 2023

Atentamente,

Ing. Luis Marcelo López López MSc Ph.D
0102906971

Dedicatoria

Geovanny

El presente proyecto de titulación está dedicado a mi familia, que ha sido mi apoyo, motivación y ejemplo a seguir para poder alcanzar las metas y objetivos que me he propuesto, dando lo mejor y haciendo las cosas bien, este logro es netamente para mi padre Benjamín y mi madre María, quienes con su cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional me han permitido llegar a cumplir otro de mis objetivos trazados, siempre estuvieron conmigo siendo ese motor en mi vida, esto se los dedico con todo mi corazón.

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mis amigos que han estado acompañándome y apoyándome para superar todo tipo de circunstancias en cada paso del camino universitario.

Finalmente, dedico esta meta cumplida a las personas que me guiaron durante el proceso.

Agradecimientos

Geovanny

Agradezco principalmente a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta tan anhelada y por brindarme salud, fuerza e impartirme sabiduría a lo largo del proceso.

Agradezco profundamente a mi familia que siempre me han brindado cariño y apoyo incondicional durante cada una de las etapas de mi formación, especialmente a mi padre Benjamín y a mi madre María por estar siempre a mi lado y dispuestos a apoyarme incondicionalmente, guiarme y enseñarme en cada situación de mi vida y carrera universitaria, a mis hermanos Michelle y Darwin que siempre estuvieron a mi lado y fueron un impulso para seguir adelante en mi carrera universitaria. Doy gracias por todo lo que han hecho por mí, me faltarían palabras para expresar mi fraterno y sincero agradecimiento, agradezco por cada conversación, por cada consejo y por cada enseñanza.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y especialmente a los docentes y colaboradores de la carrera de Ingeniería Mecánica, en especial al Ing. Christian Cobos y el Ing. Cesar Paltán por ser parte del proceso de formación que recibí con amabilidad, respeto y profesionalismo, que hicieron posible completar esta etapa profesional.

Agradezco al Ing. Luis López por apoyarme como docente y como amigo dentro de este proyecto de titulación por su paciencia y dedicación en el desarrollo del mismo, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias que fueron una gran enseñanza, no únicamente para el proyecto de titulación, sino para toda la etapa universitaria y futura vida profesional.

Este documento fue realizado enteramente en LaTeX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana II
Certificado de dirección del trabajo de titulación III
Dedicatoria IV
Agradecimientos V
Resumen XIII
Abstract XIV

1. Introducción **1**

2. Problema **2**
2.1. Antecedentes 2
2.2. Descripción del problema 2
2.3. Importancia y alcances 3
2.4. Delimitación 3
2.4.1. Espacial o geográfica 3
2.4.2. Temporal 4
2.4.3. Sectorial o institucional 4
2.5. Problema General 4
2.6. Problemas Específicos 4

3. Objetivos **5**
3.1. Objetivo General 5
3.2. Objetivos Específicos 5

4. Hipótesis **6**
4.1. Hipótesis General 6
4.2. Hipótesis Específicas 6

5. Marco Teórico **7**
5.1. Cantimplora 7
5.2. Materiales para la fabricación de cantimploras 8

5.2.1. Metal 8
5.2.2. Plástico 8
5.3. Materiales utilizados para la impresión 3D por FDM 9
5.3.1. Ácido Poliláctico (PLA) 9
5.3.1.1. Estructura molecular del PLA 9
5.3.1.2. Propiedades del PLA 10
5.3.2. Poliuretano termoplástico (TPU) 10
5.3.2.1. Estructura molecular del TPU 11
5.3.2.2. Propiedades del TPU 11
5.4. Manufactura aditiva 12
5.4.1. Extrusión de Material 13
5.4.2. Componentes principales de la impresora Ultimaker S5 15
5.4.3. Proceso de impresión 17
5.4.3.1. Principales parámetros en la impresión FDM 19
5.5. Propiedades mecánicas 24
5.5.1. Ensayo de tracción 24
5.5.2. Ensayo de compresión 24

6. Marco metodológico **26**
6.1. Metodología de la Investigación 26
6.2. Metodología del proceso 26
6.2.1. Parámetros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión. 27
6.2.1.1. Parámetros del material 27
6.2.1.2. Parámetros del diseño 29
6.2.1.3. Parámetros de la impresora 30
6.2.2. Propuesta de diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 31
6.2.2.1. Diseño del cuerpo de la cantimplora 31
6.2.2.2. Diseño del asa de la cantimplora 34
6.2.2.3. Diseño de la tapa de la cantimplora 35
6.2.3. Elaboración con manufactura aditiva de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 36
6.2.3.1. Parámetros de la impresora para la construcción 36
6.2.3.2. Parámetros de impresión para la construcción 36
6.2.3.3. Parámetros del material para la construcción 37
6.2.4. Evaluación del diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 37
6.2.4.1. Construcción del envase plástico (cantimplora) 37

6.2.4.2. Evaluación del envase plástico (cantimplora) 38

7. Resultados **49**

7.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño y la construcción del envase plástico 49

7.1.1. Material de los elementos 49

7.1.2. Dimensiones de los elementos 49

7.2. Propuesta del diseño del envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 51

7.3. Elaboración con manufactura del envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 52

7.4. Evaluación del diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión 53

7.4.1. Evaluación a la resistencia a la compresión 54

7.4.2. Evaluación a la resistencia a la tracción 56

8. Conclusiones **59**

9. Recomendaciones **60**

Referencias 64

ANEXOS 65

Lista de Tablas

5.1. Propiedades mecánicas y físicas del PLA 10
5.2. Propiedades mecánicas y físicas del ABS 12
5.3. Componentes de la impresora 16

6.1. Propiedades mecánicas del PLA estándar 28
6.2. Datos técnicos de la impresora Ultimaker S5 30
6.3. Parámetros del funcionamiento de la impresora Ultimaker S5 36
6.4. Configuración de impresión 36
6.5. Data de los materiales 37
6.6. Parámetros iniciales en el ensayo de tracción 40
6.7. Configuración de la máquina Metro Com engineering s.p.a 45

7.1. Material de elaboración de la cantimplora 52
7.2. Resultados del ensayo de compresión al cuerpo de la cantimplora 54
7.3. Resultados del ensayo a compresión 55
7.4. Resultados del ensayo de tracción 56

9.1. Matriz de consistencia 66

Lista de Figuras

2.1. Universidad Politécnica Salesiana 3

5.1. Cantimploras 8
5.2. Estructura molecular del PLA 9
5.3. Estructura molecular del TPU 11
5.4. Ejemplo de impresión 3D 13
5.5. Impresión 3D por FDM 14
5.6. Proceso de impresión 3D 15
5.7. Impresora Ultimaker S 15
5.8. Impresora Ultimaker S5 vista frontal y lateral 16
5.9. Proceso de impresión 17
5.10. Flujo del trabajo de impresión 18
5.11. Calidad de impresión 19
5.12. Espesor de pared de impresión 20
5.13. Espesor de pared de impresión 20
5.14. Tipo de soporte 21
5.15. Soportes que tocan la mesa 22
5.16. Soportes que tocan la mesa 22
5.17. Proceso a desarrollar para este trabajo 25

6.1. Proceso a desarrollar para este trabajo 27
6.2. Diseño de la cantimplora a construir 30
6.3. Dimensiones del cuerpo de la cantimplora 31
6.4. Dimensiones de los refuerzos del cuerpo de la cantimplora 32
6.5. Diseño del refuerzo 33
6.6. Dimensiones del asa de la cantimplora 34
6.7. Dimensiones de la tapa de la cantimplora 35
6.8. Diseño del refuerzo 37
6.9. Diseño del refuerzo 38
6.10. Probetas para ensayo de tracción según la Norma ASTM D638 39
6.11. Puesta a punto de la máquina de ensayos Zhimadzu 40
6.12. Ensayo de tracción de la probeta 1 de PLA 41

6.13. Ensayo de tracción de la probeta 2 de PLA 42
6.14. Ensayo de tracción de la probeta 1 de NinjaFlex 43
6.15. Ensayo de tracción de la probeta 2 de NinjaFlex 44
6.16. Máquina de ensayos Metrro Com engineering s.p.a 45
6.17. Puesta a punto de la máquina de ensayos Zhimadzu 46
6.18. Ensayo de conpresión en la máquina de ensayos Metro Com engineering s.p.a 47
6.19. Envases comprimidos 48

7.1. Dimensiones del cuerpo de la cantimplora 49
7.2. Dimensiones de la tapa y asa de la cantimplora 50
7.3. Diseño de los elementos de la cantimplora a construir 51
7.4. Diseño del refuerzo 51
7.5. Cuerpo de la cantimplora 52
7.6. Cantimplora finalizada 53
7.7. Elementos de la cantimplora 54
7.8. Gráfica de esfuerzo – deformación del ensayo a compresión 55
7.9. Curva esfuerzo – deformación de la Probeta 1 de PLA 56
7.10. Curva esfuerzo – deformación de la Probeta 2 de PLA 57
7.11. Curva esfuerzo – deformación de la probeta 1 de NinjaFlex 57
7.12. Curva esfuerzo – deformación de la probeta 2 de NinjaFlex 58

Resumen

Este trabajo se sitúa en la construcción de una cantimplora con la ayuda de la manufactura aditiva partiendo de parámetros iniciales establecidos por un modelo original donde, se analizaron las variables de impresión de la máquina, el material y el diseño del envase. También se realizó un análisis de resistencia a la compresión de los dos envases y ensayo a la tracción a los materiales utilizados para la construcción.

Palabras clave: Manufactura aditiva, cantimplora, envase, compresión, tracción.

Abstract

This work is based on the construction of a canteen with the aid of additive manufacturing starting from initial parameters established by an original model where the variables of machine printing, the material and the design of the container were analyzed. An analysis of the compressive strength of the two containers and tensile testing of the materials used for the construction was also carried out.

Keywords: Additive manufacturing, canteen, container, compression, tensile.

.

1. Introducción

El ser humano soporta, mayor falta de líquido que la de alimentos sólidos, y durante toda su existencia ha procurado tener la bebida al alcance de su mano por la importancia de estar bien hidratados; para ello, una buena cantimplora será siempre nuestro aliado perfecto, la misma es un recipiente (no es una botella) que se emplea para el transporte y conservación del agua, habitualmente en viajes, excursionismo, vida militar y trabajos de campo (Aquae Fundación, 2022; Blancar, Choplin, Mbaye, y Olivereau, 2019; Wikipedia, 2022).

La manufactura aditiva o impresión 3D fundamentada en la segmentación por hilo fundido ha generado gran expectativa en el mundo hoy en día, por la facilidad de desarrollo de estructuras a partir de diseños computacionales de toda índole, abiertos a sus propios campos técnicos que ha generado un sin número de aplicaciones ahorrando tiempo y dinero en comparación a otras tecnologías. Dentro del rango tecnológico, la Impresión 3D abarca a un sin número de áreas, entre las que destacan la industria aérea, automotriz, espacial, médica, naval y mecánica, que incursionado en la creación de modelos físicos en función a las necesidades que cada industria presenta con base en su funcionalidad del modelo de producción (Echeverría, 2021; Manoj y cols., 2020; Zhen, 2017).

Para el proceso de impresión es fundamental conocer las propiedades y características tanto físicas como químicas del material con el que se va a trabajar, cada material cuenta con condiciones específicas con base en su aplicación y las condiciones bajo las cuales se van a someter. Los datos relevantes relacionados con propiedades de materiales utilizados en impresión 3D, por lo tanto, el presente trabajo desarrolla el análisis, bajo ensayos de compresión sustentada bajo la norma UNE en ISO 604 y verificado en función a sus resultados con el envase original otorgado de la institución (Echeverría, 2021; Manoj y cols., 2020).
.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En envases donde las paredes son lisas y no están dotadas de un asa de sujeción, no permite una manutención correcta del envase, como en el caso de las cantimploras utilizadas por el ejército ecuatoriano, por lo que están sometidas a impactos por golpes y caídas, además en ocasiones están sometidas a presiones por parte de equipos militares (armas, calzado, munición, etc.) y el peso del propio cuerpo humano. El problema también se presenta en la proximidad del tapón de cierre y la boca del envase, donde se da origen a un riesgo de ruptura de los mismos, sobre todo en los puntos de unión con el propio envase al no estar perfectamente calculadas para resistir el peso del envase lleno y esfuerzos que se generan por la propia actividad militar. En vista de que el ejército nacional necesita los implementos para la preparación de la juventud ecuatoriana en simulaciones de rescate, abastecimiento, transporte y seguridad, es necesario la adquisición de estos implementos o repuestos, lo cual presenta problemas por el presupuesto destinado y su aprobación en relación con el tiempo, por lo que muchas de las actividades los militares cumplen sus actividades sin abastecimiento de agua, lo que causa problemas en el rendimiento y salud. Se presenta el problema porque en el país no se construye cantimploras por su baja demanda; donde un molde por soplado tiene una inversión muy costosa, además de que el envase tiene un espesor de 3 mm y tiene una gran resistencia a impactos sin que se deforme.

2.2. Descripción del problema

Debido a que el ejército mantiene una gran cantidad de envases plásticos perdidos (cantimploras), otra cantidad que presentan roturas y otros sin sus respectivas tapas y asas, se ve en la necesidad de dar de baja los mismos, sin tener la posibilidad de reemplazar las piezas defectuosas porque no existe un proveedor nacional que distribuya estas partes con la calidad requerida. La necesidad de construir cantimploras, en donde se implementará los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica y la aplicación de tecnología moderna para la producción que garantice sus propiedades mecánicas con una excelente duración y resistencia a todo tipo de ambiente extremo es prioritario para el ejército nacional, por lo que se vuelve fundamental presentar una alternativa de manufactura aditiva para la producción de los envases y sus repuestos de alta calidad como alternativa que garantice la

calidad exigida y además permita reducir los elevados costos de adquisición y accesibilidad inmediata, de manera que los militares puedan tener el adecuado abastecimiento del producto y puedan realizar con normalidad todas sus actividades.

2.3. Importancia y alcances

En la producción de envases plásticos (cantimploras) como principal característica se tiene la alta resistencia a la compresión para brindar un producto de alta confiabilidad al momento que el ejército realice sus actividades normales y sus prácticas de supervivencia en ambientes extremos, además de tener una opción de manufactura para su elaboración y reposición de alguna de sus partes en un tiempo corto de manera que no afecte a la programación de movilización de las tropas establecida por el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas por falta de su equipamiento básico.

2.4. Delimitación

El problema de estudio del trabajo de titulación se delimitó en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El trabajo de titulación se lo desarrollo en la Universidad Politécnica Salesiana de la Ciudad de Cuenca, campus El Vecino (ver Figura 2.1), donde el diseño del envase junto con las impresiones 3D se los realizaron en los laboratorios ubicados en el edificio Juan Bottasso y Cornelio Merchán.

Figura 2.1

Universidad Politécnica Salesiana.

Nota: En la Figura se observa la Politécnica Salesiana de la ciudad de Cuenca [Disponible en: https://www.google.com/; Accedido el: 14 de noviembre del 2022].

La caracterización mecánica de las probetas de los dos materiales (PLA y NinjaFlex) de impresión se lo realizó en los laboratorios de investigación coordinados por el Grupo de Investigación GiMaT "Grupo de Investigación en Materiales y Nuevos Procesos de Manufactura".

2.4.2. Temporal

El desarrollo del trabajo de titulación "Construcción de envases plásticos con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur" se lo desarrolló desde el mes de noviembre del 2022 hasta el mes de febrero del 2023 de acuerdo al cronograma planteado en el diseño de titulación propuesto, cumpliendo con la normativa (Resolución: N° 180-12-2015-11-20) que especifica que "El trabajo de titulación contempla un tiempo de 400 horas para todas sus actividades y en casos necesarios hasta un 10 % de horas adicionales".

2.4.3. Sectorial o institucional

El trabajo de titulación "Construcción de envases plásticos con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur", está dentro del sector industrial del plástico, específicamente en la manufactura de envases de plásticos con diferentes procesos de transformación polimérica aplicada a sistemas productivos, considerando que "Las impresoras 3D industriales han existido desde la década de 1980 y se han utilizado ampliamente para la creación rápida de prototipos y de investigación (Odremán, 2014)".

2.5. Problema General

- ¿Es posible construir cantimploras con manufactura aditiva para la base de Movilización Sur?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?
- ¿Es viable proponer el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?
- ¿Es factible elaborar con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?
- ¿Es posible evaluar el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?

3. Objetivos

Para la construcción de cantimploras con manufactura aditiva que cumplan con las propiedades físicas requeridas por el ejército y específicamente por la Base de Movilización Sur se planteó los siguientes objetivos, general y específicos, que garantizaron la culminación del proyecto con los resultados requeridos y en el tiempo establecido.

3.1. Objetivo General

- Construir cantimploras con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.
- Proponer el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.
- Elaborar con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.
- Evaluar el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.

4. Hipótesis

Es evidente que de carácter tentativo se planteó unas hipótesis afirmativas a los objetivos (general y específicos) propuestos para dar inicio a la investigación (hipótesis a priori) en la fase del diseño del trabajo de titulación y lógicamente antes de la obtención y análisis de los datos.

De este modo, las hipótesis se consideraron ciertas, hasta analizar los datos obtenidos, permitiendo elaborar un envase resistente que fue corroborado con pruebas mecánicas que validan su funcionalidad.

4.1. Hipótesis General

- Se construirá cantimploras con manufactura aditiva para la base de Movilización Sur.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se establecerá los parámetros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.
- Se propondrá el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.
- Se elaborará con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.
- Se evaluará el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.

5. Marco Teórico

Este punto se centra en las definiciones y conceptos más importantes relacionados con la construcción de cantimploras mediante la ayuda de la manufactura aditiva, así como los métodos que se utilizaron a la hora de construir el envase. De igual manera se abordó de forma general la resistencia a la compresión del envase elaborado.

5.1. Cantimplora

La cantimplora es un envase utilizado para llevar bebidas, existen desde la antigüedad y fueron elaboradas de diferentes materiales como barro o restos de frutos secos como calabazas que contenían un orificio de entrada y salida, les ponían unas asas o cuerda para llevarlas colgadas al hombro o a la cintura, como lo hacían los legionarios romanos. También se fabricaban en botas de cuero o en metal, más tarde, surgieron las cantimploras de vidrio, que preservaban mejor las propiedades de la bebida; dada su fragilidad, se llevaban en cestos de mimbre o cubiertas con tela y se cerraban con tapones de corcho, comúnmente se utilizan para llevar líquidos a lugares donde no se tiene acceso a agua potable, como por ejemplo, caminatas, camping, deportes de montaña. Se caracterizan por ser ligeras, resistentes y fáciles de destapar. Usualmente, son productos que se pueden encontrar en el mismo lugar o en un kit de sobrevivencia. Son los preferidos para fines militares o para acampar (Aquae Fundación, 2022; Aravena, 2020; Greve, 2018). Según la Real Academia Española (2019) y Perez (2023) "la cantimplora es una noción cuya raíz etimológica se encuentra en la lengua catalana. El término, de acuerdo al diccionario de la Real Academia Española (RAE), alude a un recipiente metálico de forma aplanada que se reviste de un material aislante y se utiliza para el traslado de una bebida (Pág. 1)".

La Figura 5.1 presenta unas cantimploras modernas utilizadas en la actualidad.

Características más comunes de una cantimplora:

- Cierre hermético para evitar las fugas.
- Forma ergonómica y son ultraligeras.
- Resistentes al desgaste, arañazos, impermeables y duraderas.

- Tienen el orificio de llenado y vaciado grande, tardas menos tiempo en tenerla completamente llena o vacía en poco tiempo.

Figura 5.1

Cantimploras.

a) Plástico **b)** Metal

Nota: En la Figura se observan dos cantimploras construidas de diferente material, plástico y metal [Disponible en: https:// www.google .com/search? q=cantimplora s&tbm=i sch&ved= 2ahUKEw jUwunpzPX 8AhUWHd8K HSiWC5IQ2; Accedido el: 1 de febrero del 2023].

5.2. Materiales para la fabricación de cantimploras

Existen muchos materiales que se destacan en la fabricación de cantimploras, a continuación, se presentan dos materiales más comunes al momento de construirlas:

5.2.1. Metal

Se recomienda que sean construidas principalmente de acero inoxidable, ya que es antibacteriano y no presenta sabor con el tiempo. El aluminio también es muy popular, pero podría cambiar el sabor del agua después de unas cuantas horas de almacenamiento en el envase (Aquae Fundación, 2022; Greve, 2018).

5.2.2. Plástico

Uno de los principales factores para su uso es que son muy económicas por su producción en masa y muy ligeras en el momento de transportar, aunque son más susceptibles a los golpes, gozan de gran duración. Se recomiendan para climas fríos en los que una cantimplora de metal puede congelar el agua; una de plástico la mantendrá en perfecto estado. Hay que evitar su contacto con el calor, ya que no es el mejor aislante térmico (Aquae Fundación, 2022; Greve, 2018).

5.3. Materiales utilizados para la impresión 3D por FDM

La impresión 3D utilizando el modelado Fused Deposition Modeling (FDM) requiere un filamento de material que mantenga un diámetro constante para evitar dificultades con el flujo de material según Cobos (2014). Las bobinas de filamento comerciales varían en diámetro de 1,75 mm a 3 mm, y los materiales a utilizar son el PLA y el TPU (Macas y Pilko, 2016).

5.3.1. Ácido Poliláctico (PLA)

De acuerdo a Sicnova (2022) de la industria de impresión 3D, el PLA se considera como un filamento:

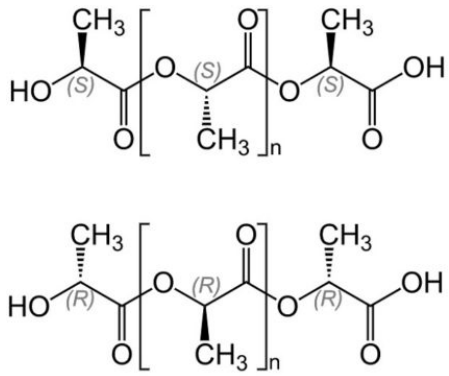
> De los más utilizados tanto en la impresión 3D industrial como en las impresoras domésticas. Lejos de ser un material plástico de producción tradicional o altamente contaminante, el PLA es un filamento más respetuoso con el medio ambiente ya que no requiere de recursos finitos como el petróleo.

5.3.1.1. Estructura molecular del PLA

El PLA (Ácido Poliláctico) es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico como se observa en la Figura 5.2, se puede obtener de dos formas: químicamente o biotecnológicamente. La producción química se basa en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico para producir lactonitrilo, que se hidroliza para producir ácido láctico. La parte biotecnológica se basa en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por parte de microorganismos (Serna y Albán, 2011).

Figura 5.2

Estructura molecular del PLA.



Nota: En la Figura se observa como esta compuesta la estructura quimica del PLA (Velasque y Julio, 2012).

El PLA se puede producir por polimerización por condensación directamente a partir de su ácido láctico, que se produce por fermentación de glucosa a partir de fuentes de carbohidratos como el maíz, la caña de azúcar, el trigo y las papas (Auras, Lim, Selke, y Tsuji, 2011).

La biodegradación del PLA se basa en la presencia de microorganismos que residen en la superficie del polímero y son capaces de secretar enzimas que rompen el polímero en pequeños fragmentos; La invasión de la superficie depende de factores como la tensión superficial, la porosidad, la textura de la superficie y la accesibilidad de la cadena de polímeros. Las condiciones necesarias para que se produzca la biodegradación son: presencia de microorganismos, oxígeno, humedad, nutrientes minerales, temperatura de 20 a 60 ºC según el tipo de microorganismos y pH de 5 a 8 (Serna y Albán, 2011).

5.3.1.2. Propiedades del PLA

El PLA como polímero ofrece muchas propiedades mecánicas y químicas; Destacamos principalmente su biocompatibilidad y sus buenas propiedades barrera (Flores, 2015).

Tabla 5.1

Propiedades mecánicas y físicas del PLA

Propiedades mecánicas y físicas del PLA	
Módulo elástico	3 – 4 GPa
Alargamiento a la rotura	2 – 5%
Resistencia mecánica a la flexión	100 MPa
Resistencia mecánica a la tracción	27 – 41 MPa
Temperatura de transición vítrea	60 – 70 °C
Temperatura de fusión	170 – 200 °C

Nota: En la Tabla 5.1 muestra las propiedades físicas y mecánicas del PLA, la información a sido tomada de Flores (2015).

5.3.2. Poliuretano termoplástico (TPU)

El TPU (poliuretano termoplástico) es un polímero flexible con buenas propiedades físicas, alta estabilidad térmica y buena resistencia química. Este material impreso en 3D fue desarrollado para imitar las propiedades del caucho al combinar resistencia con alta flexibilidad y durabilidad. El TPU tiene buenas propiedades abrasivas y es altamente resistente al desgaste y a las cargas dinámicas. Debido a esto, las piezas impresas en 3D en TPU se

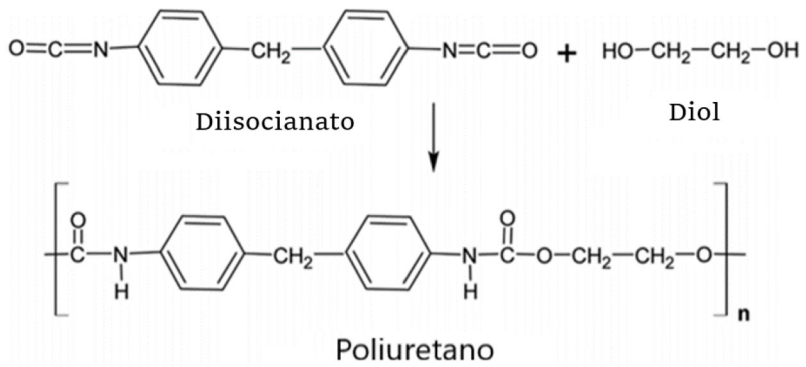
pueden comprimir, estirar y doblar fácilmente en un grado que otros materiales plásticos más comunes (ABS y PLA) no pueden. El recubrimiento en polvo de TPU produce piezas altamente detalladas y precisas con una excelente calidad de superficie. Otra ventaja de la impresión 3D de TPU es que es un dispositivo verdaderamente versátil, capaz de producir piezas elásticas, semirrígidas o rígidas que pueden soportar temperaturas de hasta 80 °C (Beamler, 2022).

5.3.2.1. Estructura molecular del TPU

El poliuretano termoplástico se obtiene de la reacción de polioles (de base poliéster, base poliéter o policarbonato), diisocianatos y dioles de cadena corta. A estos se les pueden sumar aditivos para lograr propiedades especiales. Con la combinación de todos los elementos se logra una amplia gama de durezas y propiedades mecánicas. Asimismo, el TPU tiene secuencias alternas de segmentos duros y blandos, algo que se traduce en una alta adaptabilidad. Al manipular la proporción de estos segmentos se obtienen distintas variedades de dureza. A más segmentos duros, el TPU será más rígido. (Synthesia Technology, 2023)

Figura 5.3

Estructura molecular del TPU.



Nota: En la Figura se observa como esta compuesta la estructura molecular del poliuretano termoplástico TPU (Quilla, 2021).

5.3.2.2. Propiedades del TPU

Estas propiedades han llevado a la creciente popularidad de la impresión 3D de TPU, ellos traen conducción de piezas de alta calidad en un entorno industrial. Hay una amplia gama de aplicaciones en las industrias automotriz, mecánica y aeroespacial. Dependiendo de

la aplicación, la velocidad de procesamiento de TPU puede ser de hasta el 100%. El material es adecuado para piezas de amortiguación, empuñaduras, sellos, ruedas, cubiertas de cables y sistemas duro-blando (Beamler, 2022).

- **Propiedades del TPU**

Tabla 5.2

Propiedades mecánicas y físicas del ABS

Propiedades mecánicas y físicas del TPU	
Dureza	92 - 98 Shore A
Elongación	$\geq$ 300
Módulo 100%	$\geq$ 7.0 Mpa
Módulo 300%	$\geq$ 15.0 MPa
Resistencia mecánica a la tensión	$\geq$ 24.0 MPa
Resistencia mecánica al rasgado	$\geq$ 60.0 N/mm

Nota: En la tabla 5.2 se puede encontrar las propiedades mecánicas y físicas obtenidas del TPU, la información a sido tomada de Suministro (2015).

5.4. Manufactura aditiva

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) ha definido la fabricación aditiva como el proceso de unificar materiales para crear objetos a partir de modelos digitales 3D, generalmente capa por capa, en lugar de un método de manufactura por desprendimiento de material. El término "Manufactura Aditiva" se utiliza de manera oficial en la industria, sustituyendo a otros como: procesos aditivos, fabricación aditiva, manufactura aditiva por capas, técnicas aditivas, manufactura por capas, manufactura rápida, y fabricación de forma libre (Wohlers, 2012). La fabricación aditiva es un proceso que utiliza datos de modelos tridimensionales para crear objetos capa por capa, a diferencia de los métodos de procesamiento tradicionales; con base en el análisis del impacto social, económico y ambiental que en los últimos años se ha realizado, este proceso se considera un desarrollo tecnológico trascendente impulsado por la disminución de costos de los equipos de impresión, que la hace accesible para usos industriales y domésticos (Arcos y Diosdado De la Peña, 2017; Wohlers, 2012). Los comienzos de la Manufactura Aditiva moderna se encuentran en la década de los años 50´s, aunque sus raíces se asocian a la topografía y la foto escultura, procesos con una antigüedad mayor a 100 años y catalogados como acercamientos a la construcción de objetos mediante la

unión secuencial de figuras en dos dimensiones (León, Guillermo, y González, 2020; Wohlers, 2012; Wohlers, Bourella, Beaman, Leub, y Rosenc, 2009).

Figura 5.4

Ejemplo de impresión 3D.

Nota: En la Figura se observa la impresión de elementos mecánicos con gran presición dimensional. Fuente: https://formlabs.com/es/blog/materiales-impresion-3d/.

5.4.1. Extrusión de Material

Según indica Moreno (2014):

> Es indudable que las impresoras 3D han venido para quedarse, cada vez se habla más de ellas, su rápida evolución hará que un día sea tan común como tener una impresora de papel. Pero, ¿Qué es la impresión 3D? es un proceso que convierte gráficos 3D en objetos físicos, este proceso es similar al de imprimir sobre un papel, de ahí el concepto de "imprimir en 3D", la diferencia principal es que en vez de imprimir sobre un plano se crea un objeto tridimensional. Existen tres métodos para crear impresiones 3D: por compactación, por adición o de inyección de polímeros y estereolitografía (Pág. 1).

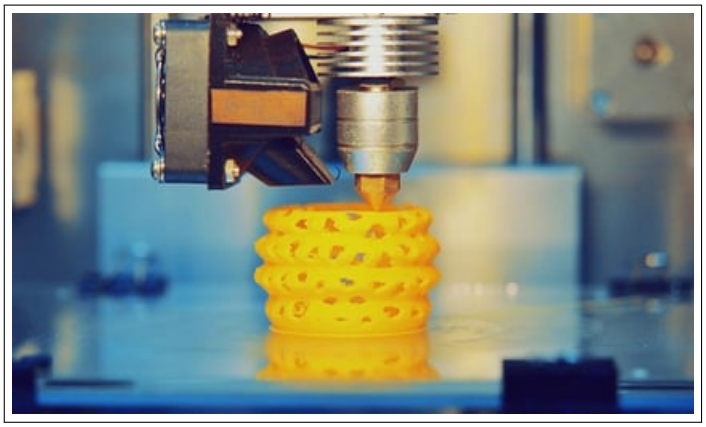
Para este trabajo de titulación el material que sale del cabezal del extrusor se aplica capa por capa hasta completar la pieza. Es uno de los sistemas más populares en escuelas y oficinas por su bajo costo y portabilidad, además permite imprimir en una amplia gama de colores y el producto final tiene buenas propiedades estructurales. Los materiales utilizados son filamentos y gránulos termoplásticos (FFF) así como fluidos especiales en jeringas. Esta categoría incluye los siguientes procesos según Orozco (2022):

- FFF: Fabricación por filamento fundido.

- FDM: Modelado por deposición fundida.

Figura 5.5

Impresión 3D por FDM.



Nota: En la Figura se observa como trabaja una impresora 3D en el modelado por deposición fundida (Susana, 2017).

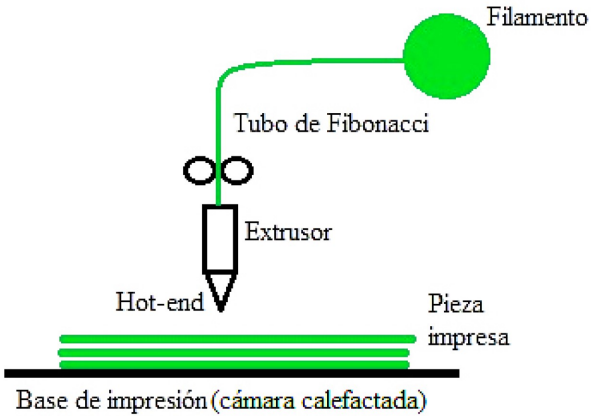
Según Chia y Wu (2015) como Cano y Serrano (2021) indican que:

> La técnica de impresión 3D por FDM consiste en la deposición capa por capa de material polimérico fundido, una encima de otra, hasta completar la pieza diseñada. Es decir, consiste en la utilización de un filamento polimérico, que se encuentra en una bobina, y se funde, a medida que va pasando por el extrusor, cuando alcanza el punto de fusión. El extrusor se desplaza en los ejes X e Y con el fin de ir dando forma a cada una de las capas que se van formando. A su vez, la cama se mueve en el eje Z, descendiendo un nivel cada vez que se ha formado una nueva capa, más concretamente, el extrusor es la pieza donde se produce el calentamiento del filamento hasta la temperatura de fusión para poder formar la pieza diseñada, proceso también denominado de extrusión. Esta parte de la impresora 3D consta a su vez de una serie de componentes, como el motor de extrusión, encargado de proporcionar la potencia para arrastrar el filamento y fundirlo para poder depositarlo capa a capa en la cama, es decir, el lugar de la impresora 3D donde la pieza se deposita que puede estar calefactado o no. Además, la impresora 3D consta de una polea y una palanca, que, gracias a sus dientes, presionan el filamento y lo arrastran hasta la punta del extrusor (o hot-end en inglés). Así mismo, el sistema dispone de un ventilador, que permite refrigerar el extrusor, y del tubo de Fibonacci, que se encuentra en la entrada del extrusor e

impide que se produzcan roturas en el filamento. Por último, en la salida, como se ha comentado, se encuentra el hot-end, que es la pieza encargada de fundir el material polimérico para poder extrudirlo.

Figura 5.6

Proceso de impresión 3D.



Nota: La Figura presenta un esquema de impresión 3D capa por capa (Cano y Serrano, 2021).

5.4.2. Componentes principales de la impresora Ultimaker S5

La impresora con tecnología FDM es capaz de realizar impresiones en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador, descargado de internet o de un escáner 3D. Se ha utilizado en la prefabricación de piezas o componentes en sectores como la arquitectura y el diseño industrial, esta impresora se detalla en la Figura 5.7 y 5.8

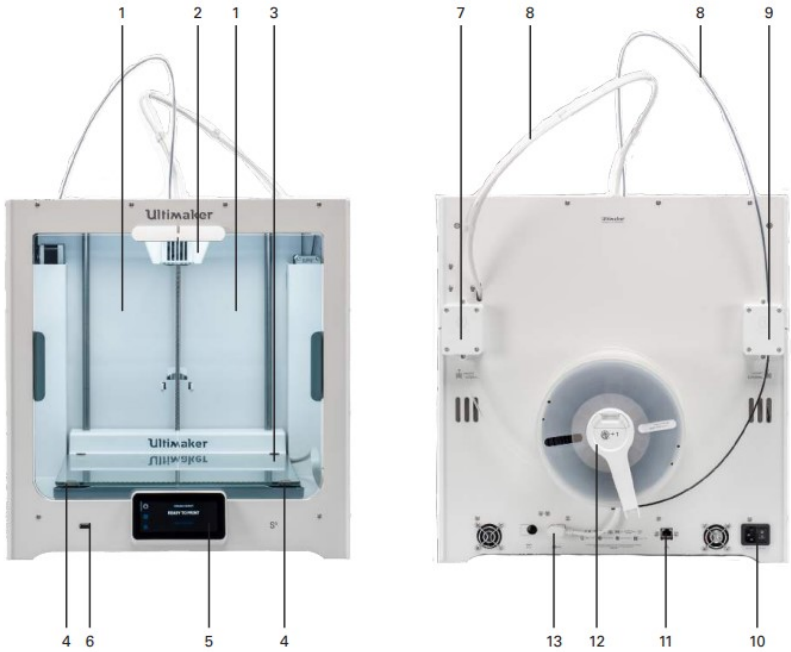
Figura 5.7

Impresora Ultimaker S5.

Nota: En la Figura se observa la impresora Ultimaker S5. (Manualslib, 2018).

Figura 5.8

Impresora Ultimaker S5 vista frontal y lateral.



Nota: En la Figura se observa la vista frontal y la vista lateral con sus respectivos componentes (Manualslib, 2018).

Tabla 5.3

Componentes de la impresora.

1	Puertas de vidrio	**8**	Tubos guías
2	Cabezal de impresión	**9**	Alimentador 1
3	Placa de impresión	**10**	Toma de alimentación e interruptor
4	Abrazaderas de la placa de impresión	**11**	Puerto Ethernet
5	Pantalla táctil	**12**	Soporte de bobina doble con cable NFC
6	Puerto USB	**13**	Toma NFC
7	Alimentador 2		

Nota: La Tabla presenta los principales componentes de la impresora 3D (Manualslib, 2018).

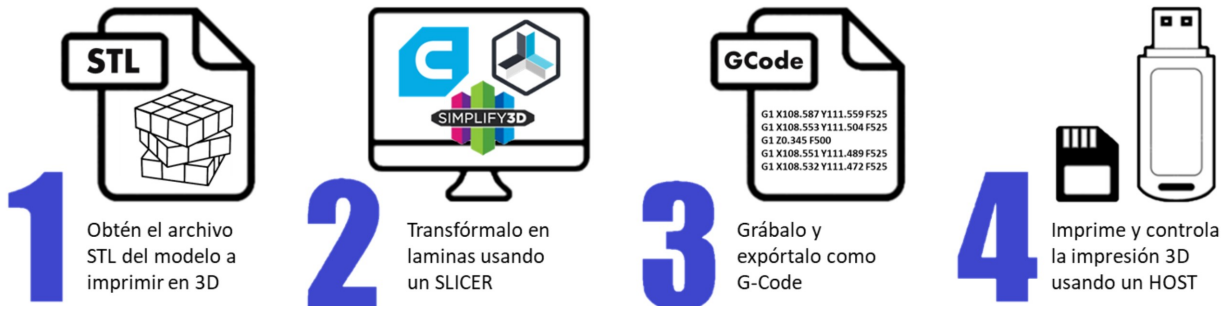
5.4.3. Proceso de impresión

De acuerdo a Creativo 3D (2023), donde indica que:

> Para realizar una impresión 3D lo primero, es procesar un archivo con extensión STL, conteniendo la información tridimensional del objeto a imprimir en 3D. Existen otros varios formatos de archivos de impresión 3D como OBJ, AMF, PLY y WRL, sin embargo, la mayoría de impresoras 3D funcionan con los archivos STL. La Figura 5.9 presenta de forma esquemática el proceso para realizar una impresión 3D de un elemento cualquiera, partiendo de un dibujo o de un modelo establecido.
>
> Los archivos STL definen la geometría de los objetos en 3D. Descomponen el objeto en una sucesión de triángulos de diferentes formas y tamaños que se adaptan exactamente a la geometría de sus contornos, dibujando así su estructura de forma tridimensional. Su resolución variará según el tamaño y la cantidad de triángulos que conforman el modelo, la cual es directamente proporcional al peso del archivo STL.

Figura 5.9

Proceso de impresión.



Nota: En la Figura se observa los pasos importantes que se deben realizar dentro de una impresión 3D a base de polímero (Creativo 3D, 2023).

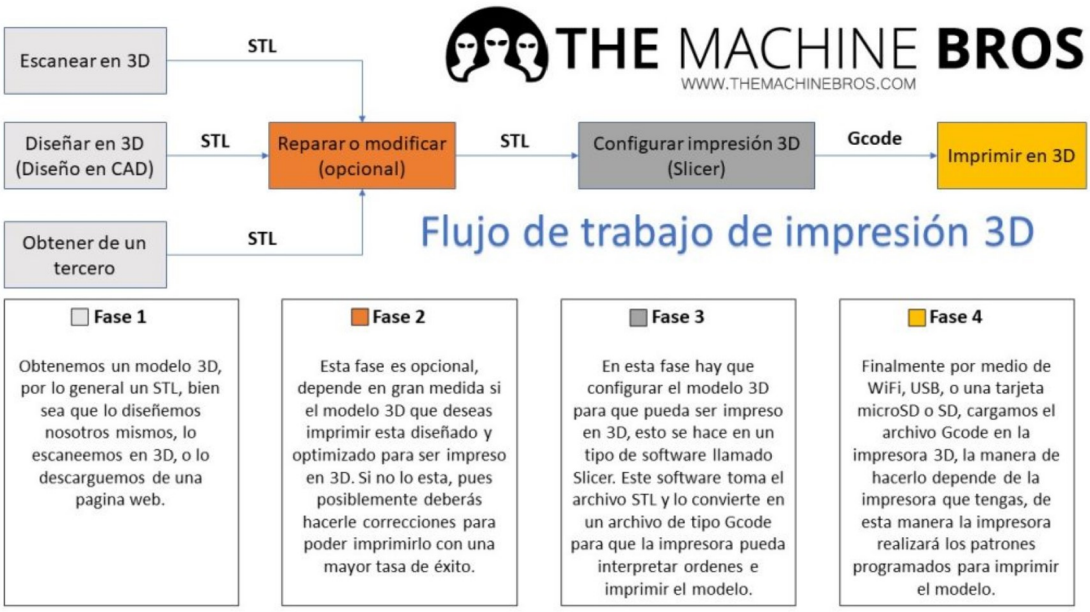
> Para que una impresora 3D pueda entender un archivo STL es necesario utilizar un "SLICER", que es un programa que transforma la información contenida en el archivo en instrucciones para la impresora 3D. En este proceso, el modelo en 3D se divide en láminas milimétricas, las cuales se transforman en información que la impresora 3D puede entender, para luego ser guardada en un archivo de formato "G-Code", el lenguaje de las impresoras 3D.

El G-Code contiene las instrucciones que describe el movimiento y las diferentes operaciones que la impresora 3D debe realizar para la construcción del modelo, entre ellas, específica la temperatura y donde posicionar el extrusor en el plano X-Y, el momento de cambiar de capa en el eje Z y la cantidad de filamento a extruir en cada paso de la impresión 3D. Se almacena en formato de texto, pero lo habitual es que se genere y visualice desde una aplicación de modelado 3D.

El proceso de impresión 3D también requiere de programas de control de impresión conocidos como "HOST de impresora", los cuales te permiten en tiempo real controlar y monitorear el estado de una impresión en curso y cambiar la configuración de la impresora 3D. Con frecuencia, el software dedicado para impresoras 3D integra las funcionalidades de un programa de corte (SLICER) y de HOST. Este software conecta tu PC y la impresora 3D generalmente vía USB y maneja todas las comunicaciones entre los dos dispositivos. Otra forma de enviar el G-Code es mediante la tarjeta SD interna de la impresora, evitando así posibles problemas de comunicación por USB. Finalmente, el firmware, el programa informático que controla los circuitos electrónicos de la impresora, ejecuta en secuencia las acciones de impresión 3D según las instrucciones contenidas en el G-Code.

Figura 5.10

Flujo del trabajo de impresión.



Nota: La Figura presenta el flujo de trabajo de impresión 3D (Cedeño, 2023).

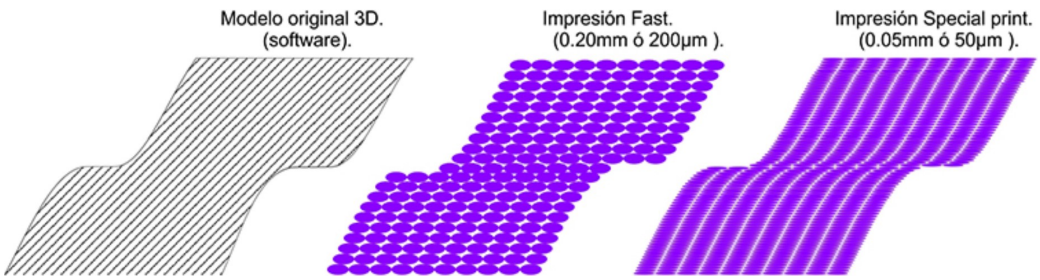
5.4.3.1. Principales parámetros en la impresión FDM

Para que una impresión en 3D sea exitosa y de excelente calidad se debe considerar lo que el Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS (2023) indica al momento de utilizar una impresora de FDM:

Calidad de impresión (Quality of print, Layer height): Ajusta el espesor de la capa de impresión, depende de las características de cada equipo y puede ajustarse libremente o por valores preestablecidos. Mientras más pequeña sea la medida de la capa, mayor será la resolución vertical (eje Z) de la impresión; sin embargo, esto afectará directamente el tiempo de impresión. Por ejemplo, la misma pieza impresa con una altura de capa de 0.10 mm tomará aproximadamente 2 veces más tiempo que impresa con una altura de capa de 0.20 mm (ver Figura 5.11).

Figura 5.11

Calidad de impresión.



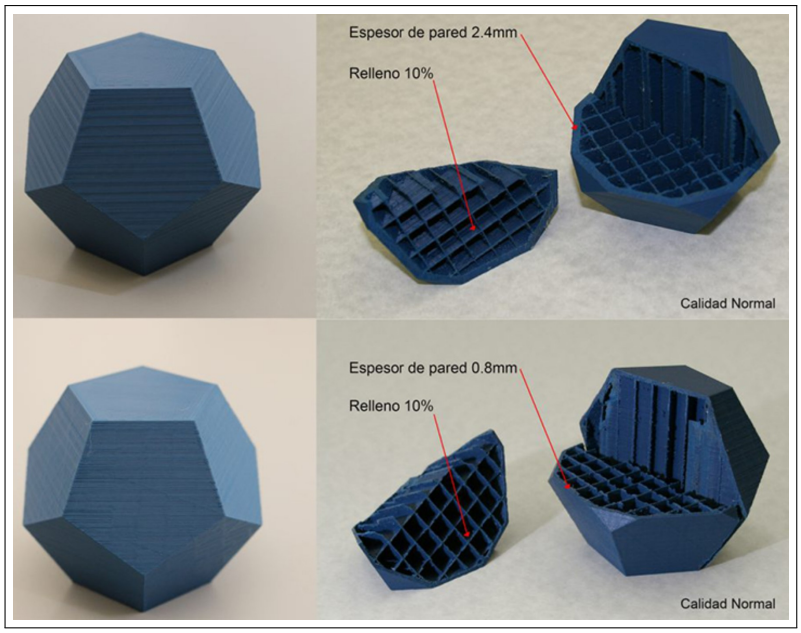
Nota: La Figura presenta diferentes medidas de capas impresas de forma esquemática, mientras menor sea la medida el acabado será mejor aunque el tiempo de impresión será mayor (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

Espesor de pared (Shell thikness (mm) , Wall thikness o Outer surface): Se refiere al espesor que tendrán las paredes del objeto impreso. En el caso de un objeto completamente «sólido», es común que la pieza no se imprima completamente sólida como se ve en la Figura 5.12, sino que se imprime un caparazón con una estructura interna. Éste parámetro controlará el espesor que tendrán las caras externas de la pieza impresa.

En el caso de objetos huecos, éste parámetro deberá ajustarse acorde al espesor de pared de dicho objeto, y de medir múltiplos del diámetro de la boquilla del extrusor (Comúnmente ese diámetro es 0.4 mm). Ej: En una pieza con paredes de 2.4 mm, el parámetro deberá ajustarse a 2.4mm, provocando que dicha pared quede totalmente sólida.

Figura 5.12

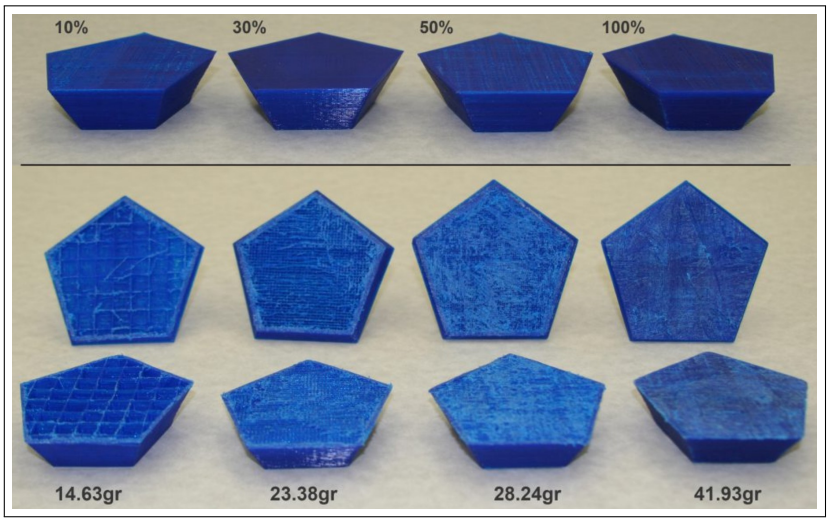
Espesor de pared de impresión.



Nota: La Figura presenta dos espesores de pared diferentes con el mismo porcentaje de relleno (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

Figura 5.13

Espesor de pared de impresión.



Nota: La Figura presenta dos espesores de pared diferentes con el mismo porcentaje de relleno (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

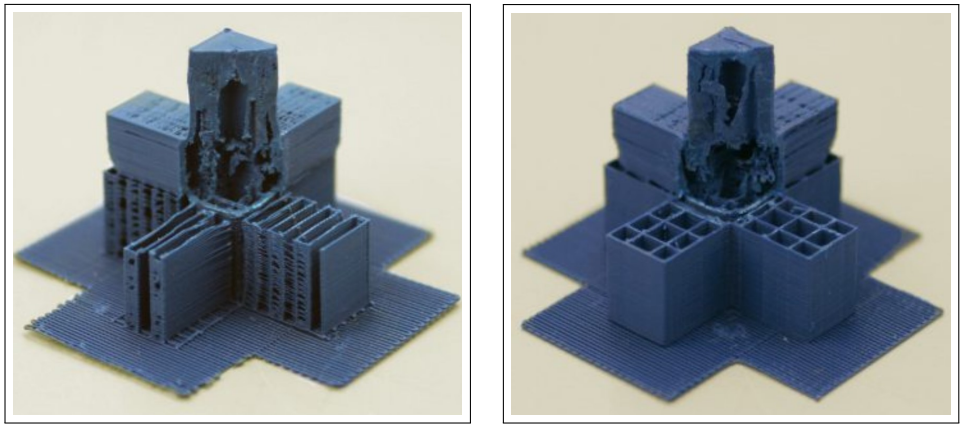
Densidad del relleno (Fill density (%) ó Infill density (%)): Se refiere al relleno que se utilizará como estructura interna en el caso de objetos completamente sólidos como se ve en la Figura 5.13, permitiendo ahorra material y disminuir el peso de la pieza. La impresora crea una retícula que dará fortaleza a la pieza, pero dejará espacios vacíos al interior del objeto. La densidad de dicha retícula se controla por porcentaje, 10 % equivale a que, de todo el volumen interno de la pieza sólo el 10 % tendrá material, 50 % equivale a que del volumen total, la mitad quedará vacía y la mitad tendrá material y 100 % equivale a que la pieza quedará totalmente rellena (sólida).

Tipo de soporte (Support type): Al momento de requerir soportes para poder imprimir la pieza, será necesario definir el tipo de soporte a utilizar, los más comunes son en líneas escalonadas o retícula (ver Figura 5.14).

- **Lines (Líneas escalonadas):** Sólo se crearán soportes en forma de líneas paralelas, con un espesor equivalente a la boquilla del equipo. Comúnmente estas líneas se orientan del frente hacia la parte posterior de la impresora.
- **Grid (Retícula):** Se crearán soportes en forma de retícula de cuadros con un espesor equivalente al de la boquilla del equipo.

Figura 5.14

Tipo de soporte.



(a) **(b)**

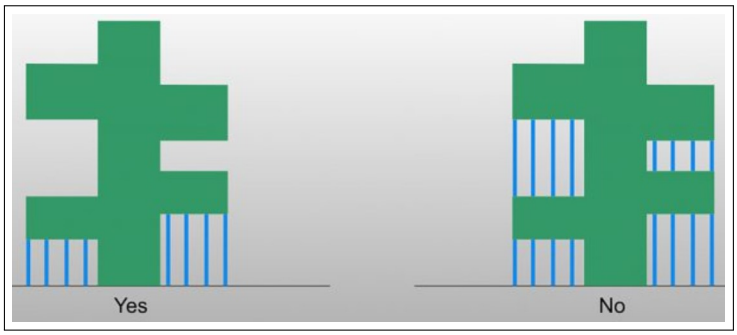
Nota: La Figura presenta dos tipos de soporte, **a)** un soporte de líneas escalonadas y **b)** un soporte de retícula a cuadros (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

En algunos equipos, existe una mayor cantidad de tipos de soporte, ser recomienda revisar cuál se ajusta más a las condiciones de la pieza a imprimir.

Creación de soportes que sólo tocan la mesa (Only create supports with direct touch to bed, Support placement o Support Everywhere): Controla si se crean soportes en todas las partes de la pieza que lo requieren o sólo en aquellas partes donde los soportes se construirán desde la base de impresión. Se debe considerar que los soportes que se crean sobre la pieza, no son muy estables y dañarán el acabado final, por lo que en este caso se recomienda revisar si la pieza puede imprimirse en otra posición (ver Figura 7.4).

Figura 5.15

Soportes que tocan la mesa.

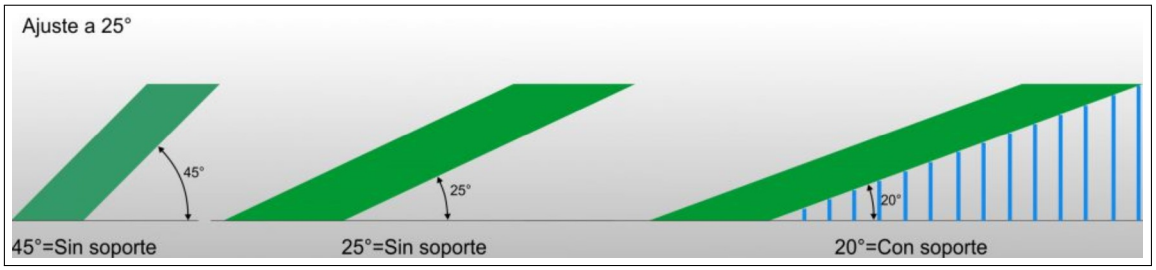


Nota: La Figura presenta la manera funcional de colocar un soporte en la mesa, un exceso causa un daño superficial (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

Ángulo de soporte (Create support from minimum angle, Overhang angle): Establece el ángulo de pared a partir del cual el software genera soportes. Dicho ángulo se mide de la mesa a la pared y si es menor al establecido en éste rubro, el software agregará soporte. Para PLA el ángulo máximo recomendado es 45° y para ABS 40°, pero puede variar dependiendo de la pieza (ver Figura 5.16).

Figura 5.16

Soportes que tocan la mesa.



Nota: La Figura presenta los ángulos para generar los soportes, depende del diseño de cada pieza (Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS, 2023).

Espacio entre líneas de soporte en X y Y (Distance between suports and model in X,Y axes, Support X/Y distance): Es un pequeño espacio que se deja entre el soporte y la pieza en los ejes X y Y, con el fin de que pueda desprenderse fácilmente.

Espacio entre soporte y pieza en Z (Distance between suports and model in Z, Support Z distance): Es un pequeño espacio que se deja entre el soporte y la pieza en el eje vertical Z, con el fin de que pueda desprenderse fácilmente.

Densidad de soporte (Support density (%)): Controla la densidad o cantidad de soporte a construir dentro del área que requerirá soporte. Normalmente no se utilizan porcentajes mayores al 20 % debido a que será muy difícil desprender el soporte de la pieza.

Base del modelo (Model based, Build plate adhesion, Raft): Establece el tipo de base que se construirá para la pieza. La base sirve para agregar área de contacto entre la mesa de impresión y la pieza, haciendo que sea más difícil desprenderla y por lo tanto evitando problemas en la impresión. La opción de «none», hace que la pieza se imprima sin una base, y es una buena opción para piezas cuya parte inferior es amplia y tendrán una amplia zona de contacto con la mesa de impresión. Existen varios tipos de base, dependiendo del software, los más comunes són: Skirt, Brim y Raft.

Densidad de la base (Brim, Raft o Skirt density): Controla la densidad de material que llevará la base, dejando pequeños espacios vacíos.

Capas en la parte superior o inferior del modelo (Number of full layers on the top of the model, Top/Bottom thiknes, Top/Bottom solid layers) : Se refiere al espesor que tendrán las caras horizontales del modelo en su parte superior. Esta opción varía la rigidez de dichas caras. En el caso de piezas huecas, este espesor debe coincidir con el espesor de pared de la pieza. (Pág. 1-3)

5.5. Propiedades mecánicas

5.5.1. Ensayo de tracción

Cuando se habla de una prueba de tracción usualmente nos referimos a un ensayo que se realiza en una máquina que permite medir la deformación y la fuerza aplicada a una probeta fabricada con el material que se desea ensayar. Si la prueba se realiza correctamente, permite conocer las propiedades mecánicas fundamentales del material las cuales son de vital importancia en el diseño. "Utilizando sistema estandarizados de ensayo, la prueba se puede convertir en un criterio de aceptación o rechazo de un producto después de establecer si el material posee determinadas propiedades mecánicas y tendrá un buen comportamiento durante el tiempo de servicio. Existen muchos ensayos en los que la prueba se realiza directamente en la pieza determinada para poder reproducir exactamente las condiciones de carga reales del elemento.

Norma ASTM D63

El ensayo de tracción de plásticos según la norma ASTM D638 proporciona las propiedades mecánicas más importantes del material, como la tensión de tracción, el alargamiento, el módulo de tracción, la resistencia a la tracción, el límite elástico y el punto de fractura (Zwick Roell, 2023). En las pruebas de tracción, se determinan las propiedades mecánicas principales del material de moldeo o las muestras extraídas del componente en un punto determinado, estas características son:

- Resistencia a la tracción: Fuerza asociada a la sección inicial de la probeta.
- Deformación: Alteración de la longitud de medición referida a longitud original.
- Módulo de tracción: Pendiente de una curva en el diagrama de tensión-deformación.
- Límite elástico: Esfuerzo y deformación en el punto de la curva con gradiente cero.
- Punto de ruptura: La tensión y deformación en el momento de rotura de la probeta.
- Coeficiente de Poisson: relación negativa entre la deformación transversal y la extensión longitudinal.

5.5.2. Ensayo de compresión

Indicar el comportamiento de un material o envase cuando está sometido a una carga de compresión a una velocidad uniforme y baja. De este ensayo se obtiene la fuerza que soporta la muestra antes de deformarse hasta un valor determinado (fijada por convenio o por el cliente). Sirve para estimar la carga de apilado que puede soportar el envase. Unidades, kN.

Norma aplicable: ISO 604 (Plásticos) (Moscato y cols., 2016).

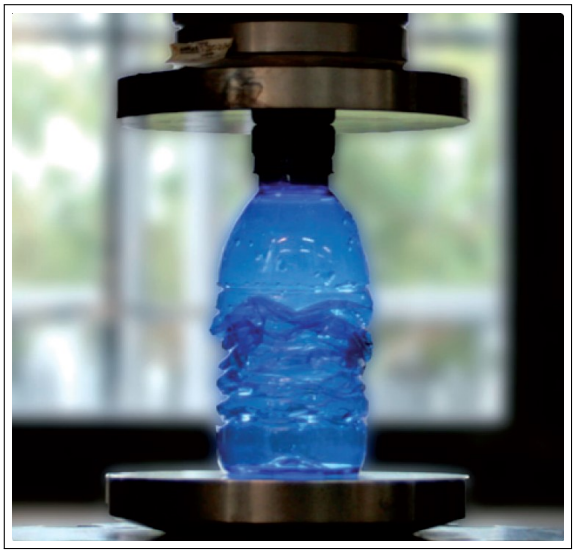
UNE EN ISO 604 (Plásticos)

Esta norma internacional especifica un método para determinar las propiedades de compresión de los plásticos bajo condiciones definidas donde se define un espécimen de prueba estándar, pero su longitud se puede ajustar para evitar que se deforme bajo carga afectando los resultados. Se incluye una gama de velocidades de prueba con este método se utiliza para investigar el comportamiento a la compresión de los especímenes de prueba y para determinar la resistencia a la compresión, módulo de compresión y otros aspectos de la relación tensión/deformación a la compresión bajo las condiciones definidas. El método se aplica a la siguiente gama de materiales (Acosta, Ramón, y Helguero, 2021):

- Materiales termoplásticos de moldeo y extrusión rígidos y semirrígidos, incluidos los compuestos rellenos y reforzado, por ejemplo, con fibras cortas, varillas pequeñas, placas o gránulos además de tipos sin relleno; rígido y semirrígido.
- Materiales de moldeo termoendurecibles rígidos y semirrígidos, incluidos compuestos rellenos y reforzados; rígido y semirrígido lámina termoestable.
- Polímeros de cristal líquido termotrópicos.

Figura 5.17

Ensayo de compresión sobre botella.



Nota: En la Figura se observa una botella plastica comprimida.(AINIA Centro Tecnológico Agroalimentario, and AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico, 2021).

6. Marco metodológico

El trabajo de titulación planteó para su desarrollo una metodología de investigación de acuerdo a la procedencia de sus datos para enmarcar su enfoque, tipo y alcance, además planteó una metodología de proceso donde sé específica el procedimiento a seguir de manera sincronizada para alcanzar cada objetivo planteado.

6.1. Metodología de la Investigación

Descripción del método de investigación.

ENFOQUE:

INVESTIGACIÓN MIXTA

Cualitativa: Análisis del acabado superficial del envase de acuerdo a los requerimientos solicitados.

Cuantitativa: Análisis de los resultados de las propiedades mecánicas del envase.

TIPO:

APLICADA:

A la construcción de envases plásticos con manufactura aditiva.

ALCANCES:

① **EXPLORATORIO**

Identifica parametros iniciales
Pruebas exploratorias de impresión

② **DESCRIPTIVO**

Aplica conceptos teóricos de selección de materiales y procesos de manufactura

③ **CORRELACIONAL**

Asocia las dimensiones de la variable herramientas de integración de estudio y sus relaciones con la variable de cultura organizacional

④ **EXPLICATIVO**

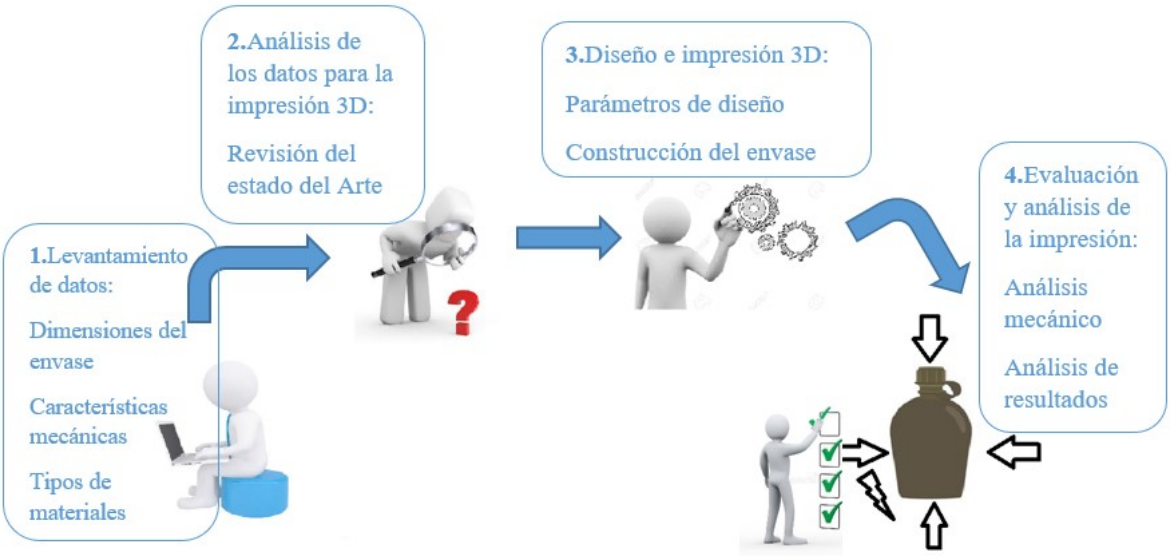
Entender el nivel de influencia de cada una de las dimensiones en la variable dependiente

6.2. Metodología del proceso

En la figura 6.1 se presenta el proceso a seguir para el desarrollo del trabajo de titulación, desde el levantamiento de datos hasta la evaluación del envase ya construido.

Figura 6.1

Proceso a desarrollar para este trabajo.



Nota: En la Figura se observa una síntesis del proceso a desarrollarse a lo largo del proyecto.

6.2.1. Parámetros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.

Para establecer los parámetros iniciales para el diseño y la construcción del envase plástico, se consideró los siguientes aspectos:

6.2.1.1. Parámetros del material

<u>Parámetros del filamento PLA estándar</u>

El PLA estándar es un filamento PLA básico de nivel de entrada. Está disponible en una amplia selección de colores y utiliza únicamente resina PLA virgen NatureWorks Ingeo 4043d. Sin rellenos ni camillas significa una experiencia de impresión 3D más predecible. Debido a que no usa rellenos (Bohórquez y José, 2020).

Propiedades del PLA estándar

- El rango de temperatura de impresión está entre (190-220)ºC. La temperatura a la cual se debe imprimir, debe estar entre las dos; aunque la temperatura óptima de impresión (depende de cada extrusor), suele estar entre (198-210).

- Presenta una resistencia mecánica baja, es decir, se trata de un material frágil a la vez duro. Esto implica que, una vez impresa la pieza, no es muy aconsejable realizar tratados mecánicos sobre ellas (taladros y lija.). No obstante, se pueden realizar con sumo cuidado y sin aplicar demasiado esfuerzo sobre las mismas.
- En referencia a la temperatura, cualquier objeto o pieza impresa en PLA se vuelve endeble a temperaturas en torno a (60-70).
- Según sea la marca del filamento, este puede presentar un aspecto translúcido u opaco. El paso de la luz a través de la pieza se reduce cuando el grosor de la misma va aumentando.
- El PLA dispone de filamentos de entre 1,75 mm o 3 mm para la impresión 3D.
- Presenta un olor agradable y no tóxico, puesto que, el PLA se fabrica a partir de maíz. Esto lo hace ideal para impresiones en hogares y sobre todo en entorno frecuentado por muchas personas (Bohórquez y José, 2020; Molina y Jaime, 2016).

Tabla 6.1

Propiedades mecánicas del PLA estándar

Propiedades mecánicas y características	**Impresión 3D**	
	Valor típico	**Método de ensayo**
Módulo de elasticidad a la tracción	2346.5 MP	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	49.5 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	45.6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	3.30 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	5.20 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	103.0 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	3150.0 MPa	ISO 178
Resistencia a prueba de impacto ($23°C$)	5.1 kJ/m^2	ISO 180
Contracción	2 – 5 %	
Color	22 colores bases	Depende proveedor
Diámetro	Indefinidos	Depende proveedor

Nota: La Tabla presenta las principales propiedades y características del PLA de forma general, las específicas de un material depende de cada proveedor (Manualslib, 2018).

Parámetros del filamento NinjaFlex

El filamento flexible NinjaFlex lidera la industria con una flexibilidad y longevidad superiores en comparación con los materiales que no son de poliuretano. Hecho de un material especial de poliuretano termoplástico (TPU) formulado, resistente a la abrasión, por lo que puede ser expuesto a temperaturas extremadamente altas, con una apariencia exterior de alta calidad, no contiene químicos tóxicos. Esta tecnología patentada contiene una baja adherencia, fácil de alimentar textura (Moscato y cols., 2016).

Propiedades del NinjaFlex

- La composición principal del NinjaFlex es a base de un poliuretano termoplástico (TPU). Con esto se obtiene este nuevo filamento que da como resultado objetos impresos en 3D flexibles, elásticos y con una alta calidad de impresión.
- El NinjaFlex dispone de filamentos de entre 1,75 mm o 3 mm para la impresión 3D.
- En cuanto a las características técnicas del producto, NinjaFlex es un filamento de dureza Shore de aproximadamente 85 A.
- El NinjaFlex presenta una excelente resistencia a la abrasión, por lo que puede ser expuesto a temperaturas extremadamente altas. En este aspecto, se aconseja una temperatura del extrusor de entre 210 y 230º y una temperatura de la plataforma de impresión 3D de entre 30-40º(Moscato y cols., 2016).

6.2.1.2. Parámetros del diseño

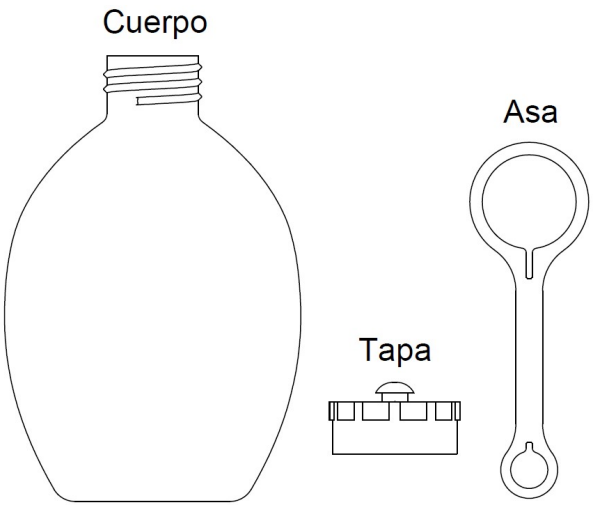
Luego del levantamiento de datos y la revision del estado del arte se toma en cuenta los siguientes parámetros de diseño, de manera que cumplan con las exigencias solicitadas por el ejército, en donde el envase cuenta con las siguientes partes:

- **Tapa:** Del mismo material del cuerpo de la cantimplora, debe ser resistente a impactos y a los efectos del medio ambiente.
- **Cuerpo:** Debe soportar impactos provocados por caídas, aplastamiento y proyecciones de cuerpos extraños.
- **Asa:** Debe ser flexible para poder desmontar la tapa del cuerpo y mantenerlas a la vez siempre unidas.

Se debe considerar que la cantimplora fue diseñada para transportar una capacidad determinada de líquido (600 ml). La Figura 6.2 presenta las partes de la cantimplora.

Figura 6.2

Diseño de la cantimplora a construir.



Nota: En la Figura se observa las partes que conforman la cantimplora, empezando por la izquierda se tiene el cuerpo del envase, la tapa y el asa, las mismas que fueron fabricadas con diferentes materiales.

6.2.1.3. Parámetros de la impresora

Los parámetros de la impresora permitió establecer las restricciones que tiene la misma para la calidad y acabados de impresión, a continuación la Tabla 6.2 presenta algunos datos técnicos de la máquina impresora Ultimaker S5.

Tabla 6.2

Datos técnicos de la impresora Ultimaker S5.

Parámetros de la impresora Ultimaker S5	
Tecnología	3 – 4 GPa
Diámetro del filamento	3 mm
Temperatura de la placa de impresión	20 - 140
Diámetro de la tobera	0.25 mm, 0.4 mm, 0.8 mm
Tiempo de calentamiento de la tobera	2 min
Calificación de alimentación	500 W

Nota: La Tabla presenta los principales datos técnicos de la impresora Ultimaker S5 para la impresión 3D (Manualslib, 2018).

6.2.2. Propuesta de diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

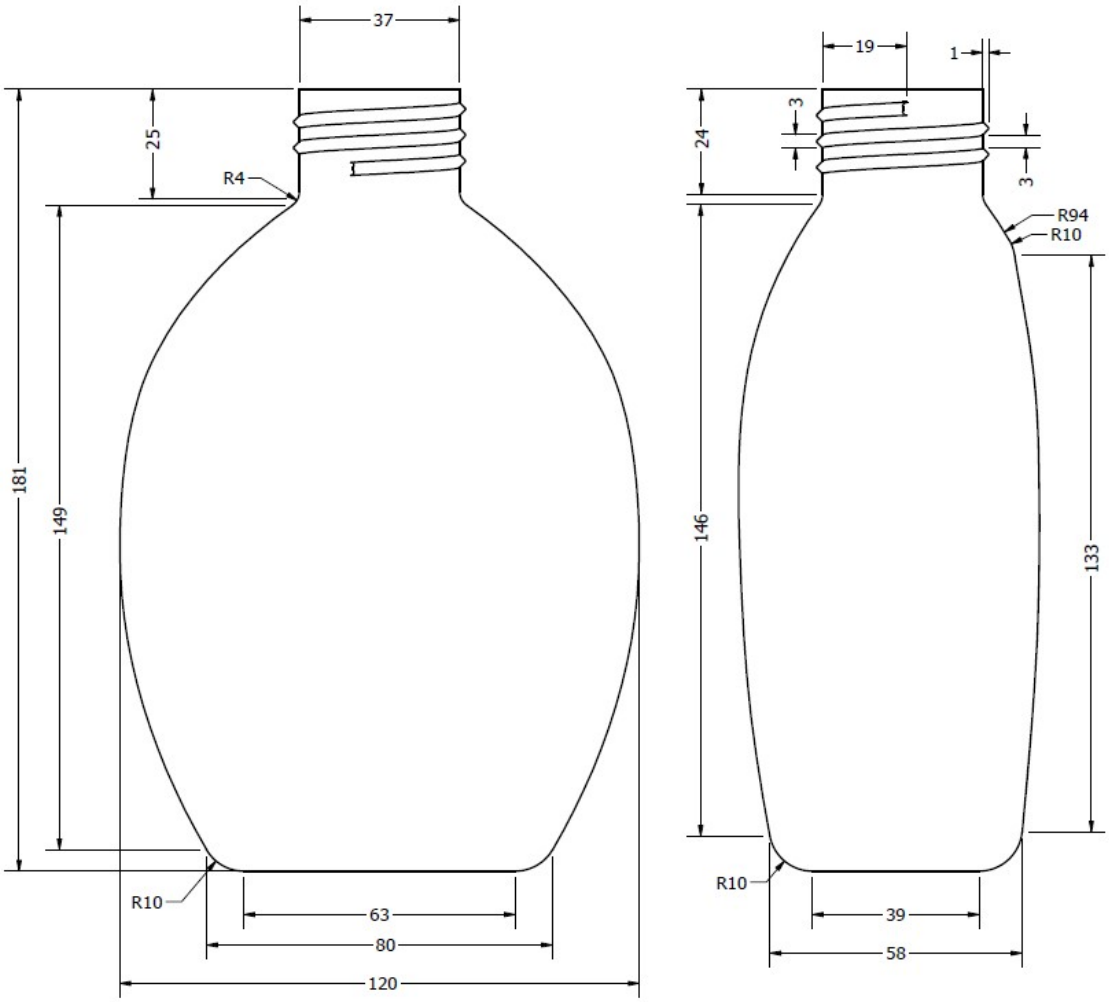
6.2.2.1. Diseño del cuerpo de la cantimplora

A continuación se presenta el diseño propuesto del cuerpo de la cantimplora de acuerdo al envase modelo, considerando la contracción del material (PLA) se establecieron las dimensiones, como se presenta a continuación en la Figura 6.3.

Medidas longitudinales	5 % de contracción
Medidas transversales	2 % de contracción

Figura 6.3

Dimensiones del cuerpo de la cantimplora.

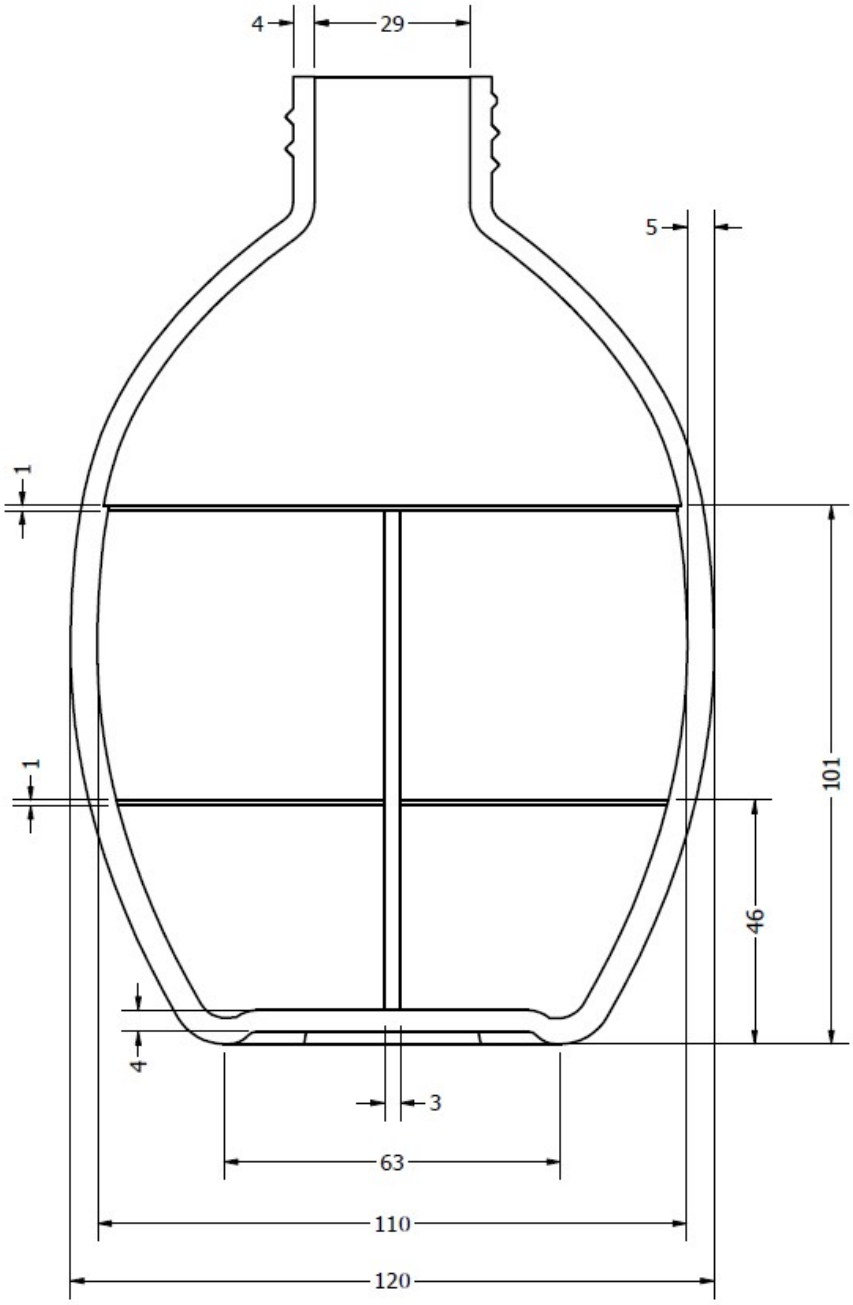


Nota: En la Figura se observa el cuerpo de la cantimplora en donde estan acotadas sus dimensiones en milímetros (mm).

La Figura 6.4 presenta los refuerzos o nervios interiores propuestos en el diseño dentro de la cantimplora donde alcanzan una distancia de 101 mm en su sección longitudinal con una altura de 2.5 mm como se observa en la Figura 6.5 con el detalle de la altura del nervio.

Figura 6.4

Dimensiones de los refuerzos del cuerpo de la cantimplora.



Nota: En la Figura se observa los refuerzos de la cantimplora en donde estan acotadas sus dimensiones en mm.

Para la elección de los nervios interiores en el diseño se consideró los requisitos estéticos solicitados y propios de una cantimplora:

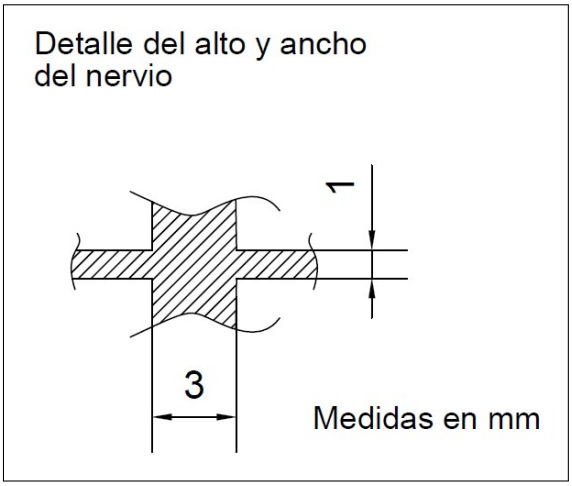
- Totalmente lisa en su parte exterior
- Color verde oscuro
- Dimensiones de sus componentes (repuestos)
- Forma del envase

Todo esto con el fin de tener un envase agradable al tacto, liviano y sin embargo resistente, además poseer un alto valor de reconocimiento por su duración a ambientes extremos de uso, aplicando la técnica correcta de dimensionamiento para obtener un equilibrio en el funcionamiento del envase (Schau y Krones, 2011).

El refuerzo fue diseñado con bordes redondeados para evitar filos vivos que favorezcan la proliferación de bacterias y además su altura está en relación con el espesor del envase, donde publicaciones como Wikiversidad (2021) manifiestan que los cambios de espesor generan tensiones internas en el material, alteran los procesos normales de transformación con respecto a los tiempos de producción, la productividad de la mano de obra, la calidad y rentabilidad, entre otras consideraciones.

Figura 6.5

Diseño del refuerzo.



Nota: La Figura presenta el detalle de la forma del refuerzo con sus medidas. El refuerzo no debe de exceder el espesor de la pared de la botella para evitar problemas en el enfriamiento y rechupes en la superficie.

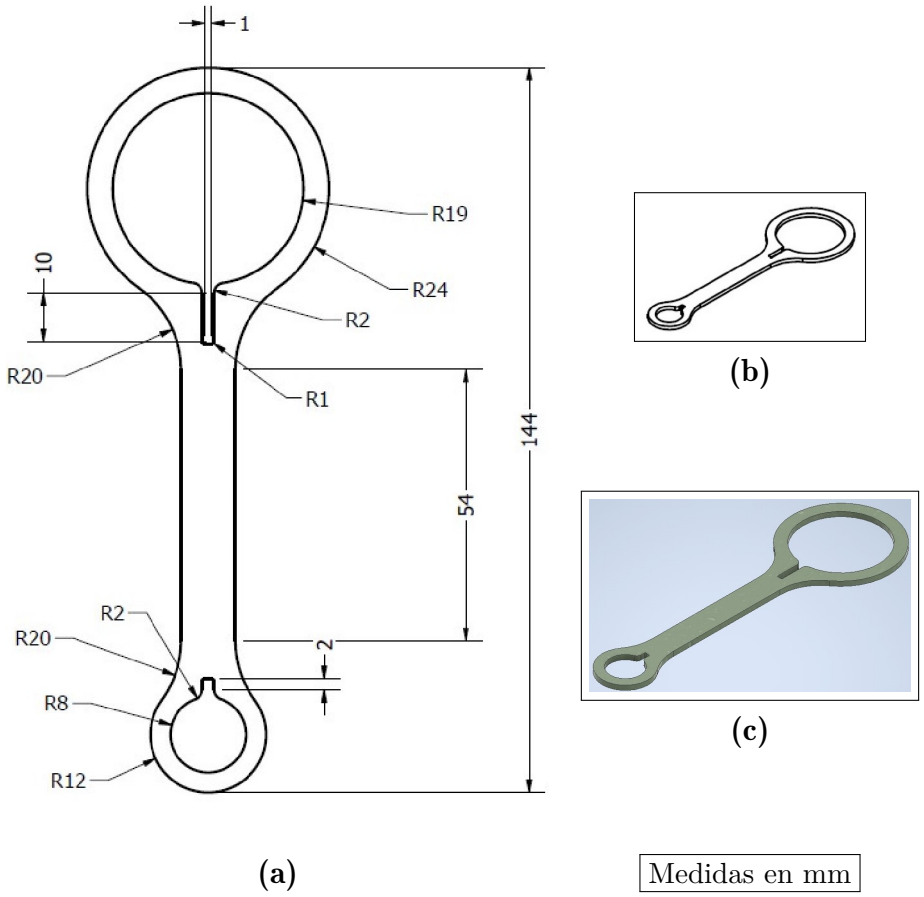
6.2.2.2. Diseño del asa de la cantimplora

A continuación se presenta el diseño propuesto del asa de la cantimplora de acuerdo al envase modelo, considerando la contracción del material (NinjaFlex) se establecieron las dimensiones, como se presenta a continuación en la Figura 6.6.

Medidas longitudinales	1 % de contracción
Medidas transversales	1 % de contracción

Figura 6.6

Dimensiones del asa de la cantimplora.



Nota: En la Figura se observa: (a) las dimensiones del asa, (b) la perspectiva del asa, y (c) el diseño del asa en 3D.

El diseño del asa considera la forma original del modelo base que permite el remplazo de la misma en caso de rotura. Las dimensiones de los canales sufren un cambio de medidas en su ancho de 1.5 mm a 1 mm, debido a que el material a utilizar es más flexible y permite un mejor anclaje y desmontaje con el cuerpo de la cantimplora.

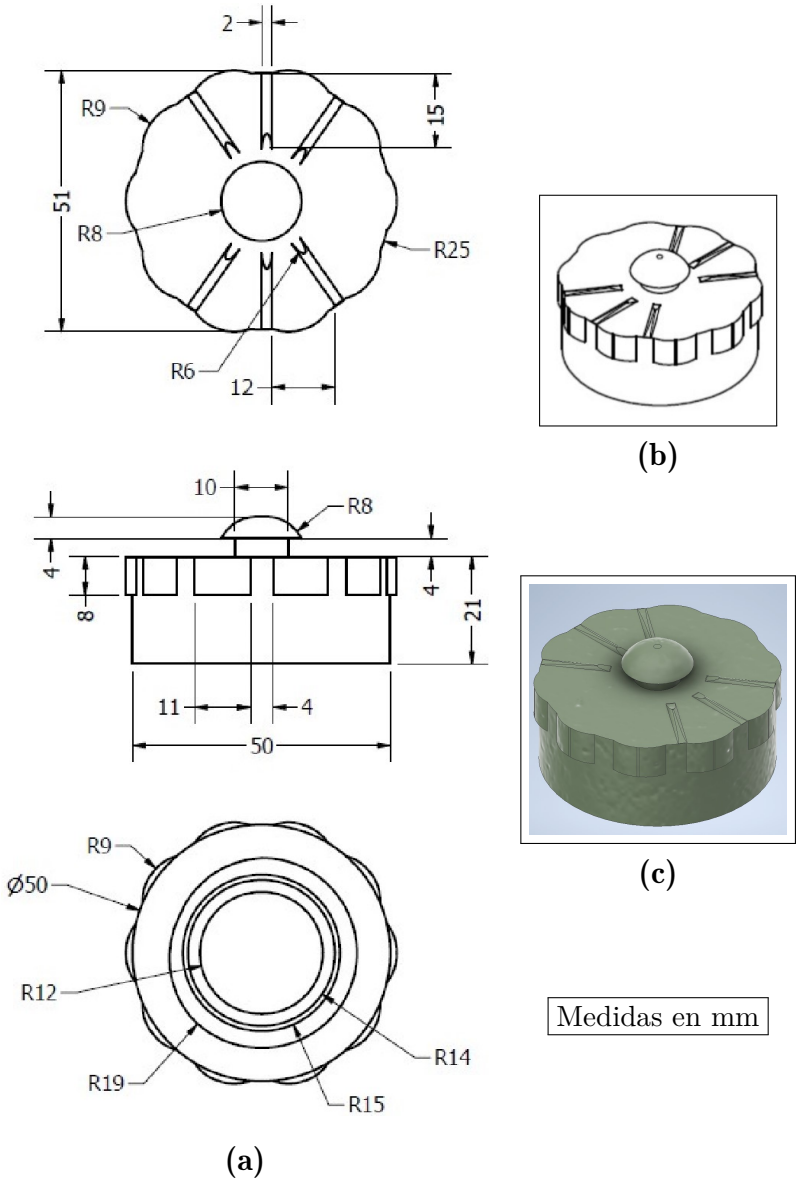
6.2.2.3. Diseño de la tapa de la cantimplora

A continuación se presenta el diseño propuesto de la tapa de la cantimplora de acuerdo al envase modelo, considerando la contracción del material (PLA) se establecieron las dimensiones, como se presenta a continuación en la Figura 6.7.

Medidas longitudinales	2 % de contracción
Medidas transversales	2 % de contracción

Figura 6.7

Dimensiones de la tapa de la cantimplora.



Nota: En la Figura se observa: (a) las dimensiones de la tapa, (b) la perspectiva de la tapa, y (c) el diseño de la tapa en 3D.

6.2.3. Elaboración con manufactura aditiva de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

A continuación se presentan los parámetros utilizados en la elaboración de cantimploras con impresión 3D para obtener una curva de aprendizaje y optimizar el proceso.

6.2.3.1. Parámetros de la impresora para la construcción

la Tabla 6.3 presenta los parámetros que se configuraron en la impresora Ultimaker S5 para la elaboración del cuerpo, asa y tapa de la cantimplora. Los parámetros definidos tienen relación con el material de impresión.

Tabla 6.3

Parámetros del funcionamiento de la impresora Ultimaker S5.

Parámetros del funcionamiento de la impresora	
Velocidad de impresión	24 mm^3/s
Temperatura de boquilla	180 - 280 °C
Diámetro de boquilla	0.25 - 0.4 - 0.6 - 0.8 mm
Altura desde la base a la boquilla	0.2 mm
Temperatura de la base	20 - 140 °C

Nota: La Tabla presenta los principales parámetros del funcionamiento de la impresora Ultimaker S5 para la impresión 3D.

6.2.3.2. Parámetros de impresión para la construcción

A continuación, en la Tabla 6.4 se indican los principales parámetros que se consideraron para lograr una impresión exitosa y de buena calidad al utilizar una impresora de FDM. Los parámetros en la impresión FMD para cada elemento de la cantimplora.

Tabla 6.4

Configuración de impresión.

Configuración de impresión	**Cuerpo**	**Tapa**	**Asa**
Número de paredes externas	6	4	4
Número de paredes internas	6	4	4
Patrón de relleno	Triangular	Triangular	Triangular
Diferencia entre capas	0.15 mm	0.2 mm	0.2 mm
Densidad	100%	20%	15%

Nota: La Tabla presenta la configuracion de los principales parametros de la impresión 3D para cada uno de los elementos de la cantimplora.

6.2.3.3. Parámetros del material para la construcción

La Tabla 6.5 presenta los datos generales de los materiales utilizados para la elaboración de los elementos de la cantimplora.

Tabla 6.5

Data de los materiales.

Material	Color	Bobina	Diámetro del filamento	Casa comercial	Precio
PLA PRO	Verde	1kg	3 mm	MAKER GROUP	$48.16
NinjaFlex TPU	Negro	1 kg	3 mm	MAKER GROUP	$50.40

Nota: La Tabla presenta de forma general los datos técnicos de los materiales utizados en la impresión 3D de los elementos de la cantimplora.

6.2.4. Evaluación del diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

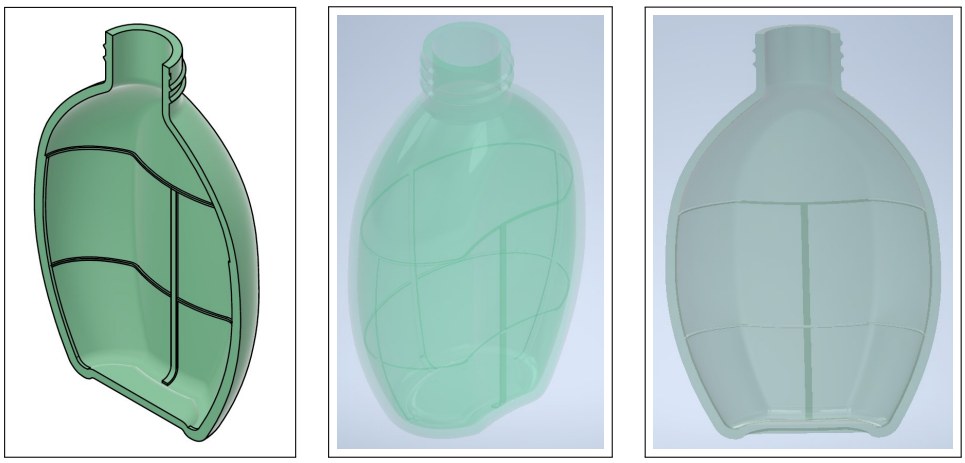
Consideraciones utilizadas en la construcción del cuerpo y su evaluación.

6.2.4.1. Construcción del envase plástico (cantimplora)

Para la construcción del cuerpo de la cantimplora se consideró las paredes del envase que deben ser lisas y no contener ninguna filtración de líquidos y los refuerzos para su resistencia.

Figura 6.8

Diseño del refuerzo.

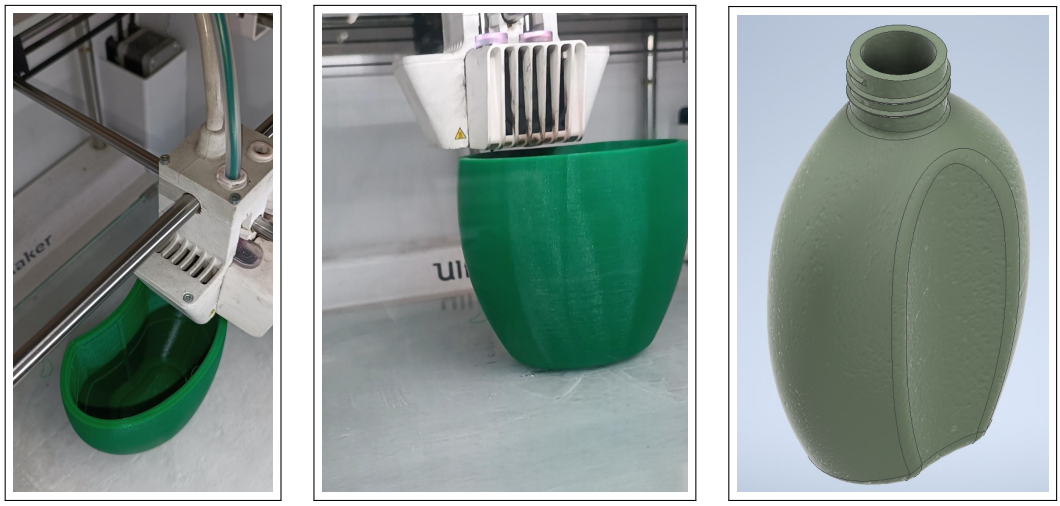


Nota: En las Figuras se observan los nervios colocados en el cuerpo de la cantimplora como refuerzos para aumentar la resistencia a la compresión.

En la Figura 6.9 se observa la etapa de impresión del cuerpo de la cantimplora con el material polimérico PLA.

Figura 6.9

Diseño del refuerzo.



Nota: En la Figura se observa el proceso de impresión desde la base del cuerpo del envase hasta su acabado final.

6.2.4.2. Evaluación del envase plástico (cantimplora)

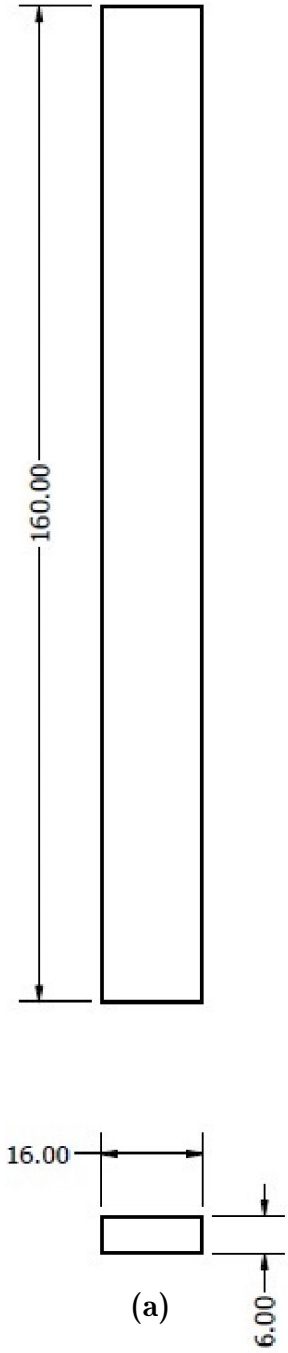
Ensayo de tracción del material PLA y NinjaFlex

Uno de los aspectos evaluados, es la resistencia a la tracción del material con los que fueron fabricados cada uno de los elementos de la cantimplora que son el cuerpo, asa y la tapa. Todos os ensayos fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM D638 "Métodos de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos", en una máquina de ensayo universal de marca Shimadzu. La impresión de las probetas fueron realizadas con el mismo lote de material utilizado en las probetas y cumplen con las mismas características como fueron impresos los elementos de la cantimplora y que se detallan en la Tablas 6.3, 6.4 y 6.5 de la sección 6.2.3.

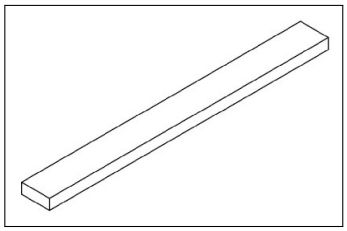
La tasa de prueba de la cruceta (es decir, prueba de tracción a velocidad constante) se fijó en 3, 10 y 50 mm/min y la salida de los ensayos de tracción se registró como la carga de tracción uniaxial frente a la elongación (cambios de longitud), que se transforman en curvas de esfuerzo y deformación (Anónimo, 2010).

Figura 6.10

Probetas para ensayo de tracción según la Norma ASTM D638.



(a)



(b)

(c) Probetas de PLA

(d) Probetas de NinjaFlex

Medidas en mm

Nota: En la Figura se observan las subfiguras donde: (a) muestra las dimensiones de la probeta para ensayos de tracción según la Norma ASTM D638, (b) la perspectiva de la probeta normalizada, (c) las probetas realizadas con PLA y (d) las probetas impresas con NinjaFlex (Norma ASTM D638).

Para los ensayos se utilizó una maquina de ensayos Shimadzu como se observa en la

Figura 6.11, donde se configuro los siguientes parámetros al inicio del ensayo como se indica en la Tabla 6.6 y se realizó el montaje respectivo de las mordazas de sujeción:

Tabla 6.6

Parámetros iniciales en el ensayo de tracción.

Carga	Material	Número de probeta	Velocidad (V)	Longitud inicial (l_0)
20 KN	PLA	1	3 mm/min	56.32 mm
		2	3 mm/min	56.07 mm
	NinjaFlex	1	50 mm/min	37.87 mm
		2	10 mm/min	27.75 mm

Nota: La Tabla presenta los parámetros iniciales para el ensayo de tracción en las probetas de PLA y NinjaFlex.

Figura 6.11

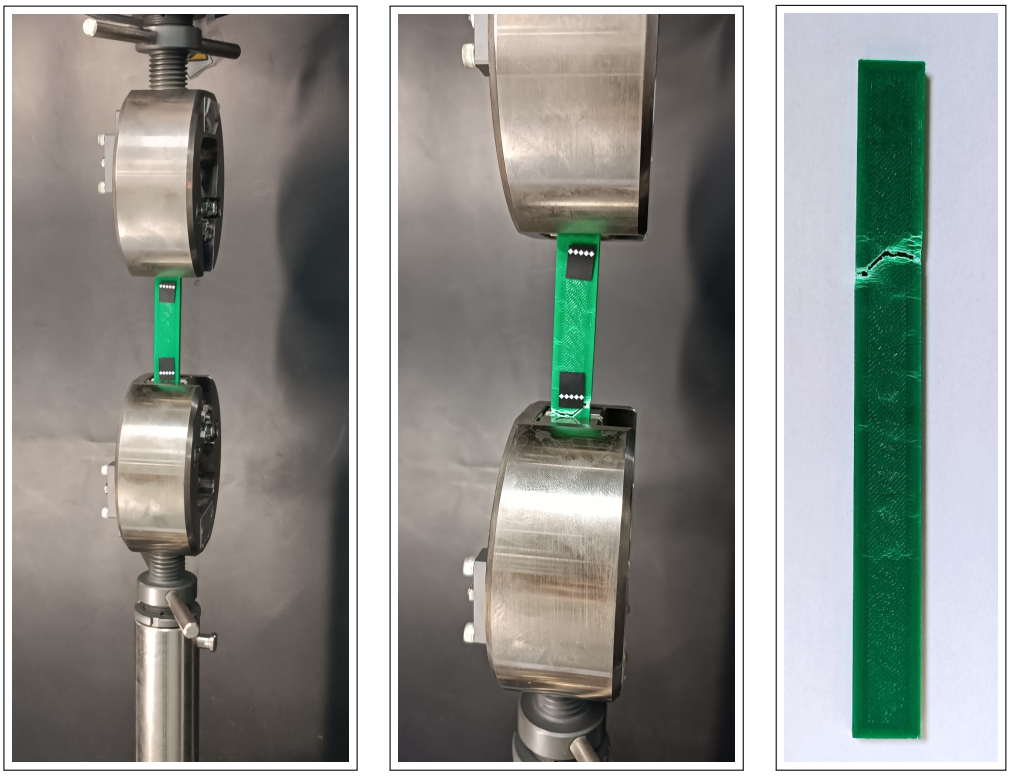
Puesta a punto de la máquina de ensayos Zhimadzu.

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de la celda de carga de 20 kN junto con las mordazas para la prueba en las probetas poliméricas de PLA y NinjaFlex.

A continuación la Figura 6.13 presenta el montaje realizado de la probeta 1 de PLA en la máquina Zhimadzu y el resultado obtenido luego del ensayo.

Figura 6.12

Ensayo de tracción de la probeta 1 de PLA.



(a) **(b)** **(c)**

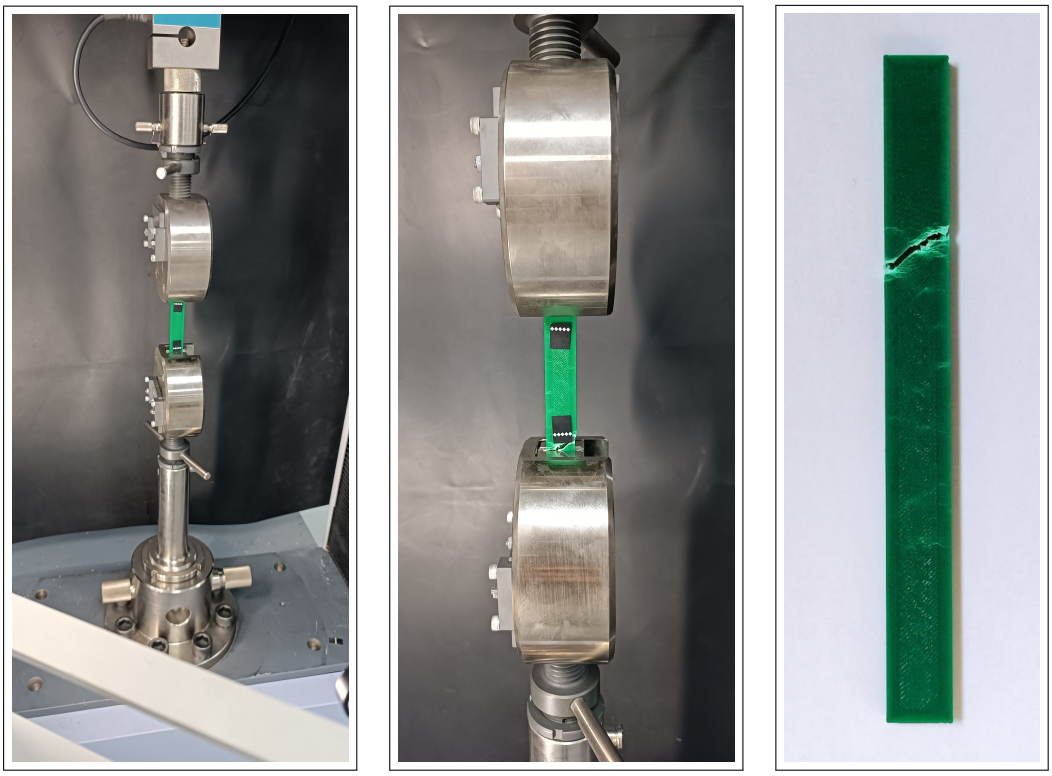
Detalle de la rotura

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de la probeta 1 de PLA en las mordazas de la maquina utilizando una celda de carga de 20 kN. En la Figura (a) se observa el montaje de la probeta y el ajuste en el apriete dado por las palancas de las mordazas, en la Figura (b) se observa el posicionamiento de la probeta en las mordazas donde la distancia señalada en la misma debe de quedar lo más centrado entre las mordazas para que después sea detectada por la cámara para tomar como dato su longitud inicial. En la Figura (c) se observa la probeta de PLA con su rotura después de aplicar la carga.

A continuación la Figura 6.13 presenta el montaje realizado de la probeta 2 de PLA en la máquina Zhimadzu y el resultado obtenido luego del ensayo.

Figura 6.13

Ensayo de tracción de la probeta 2 de PLA.



(a) **(b)** **(c)**

Detalle de la rotura

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de la probeta 2 de PLA en las mordazas de la maquina utilizando una celda de carga de 20 kN. En la Figura (a) se observa el montaje de la probeta y el ajuste en el apriete dado por las palancas de las mordazas, en la Figura (b) se observa el posicionamiento de la probeta en las mordazas donde la distancia señalada en la misma debe de quedar lo más centrado entre las mordazas para que después sea detectada por la cámara para tomar como dato su longitud inicial. En la Figura (c) se observa la probeta de PLA con su rotura después de aplicar la carga.

A continuación la Figura 6.14 presenta el montaje realizado de la probeta 1 de NinjaFlex en la máquina Zhimadzu y el resultado obtenido luego del ensayo.

Figura 6.14

Ensayo de tracción de la probeta 1 de NinjaFlex.

(a) **(b)** **(c)**

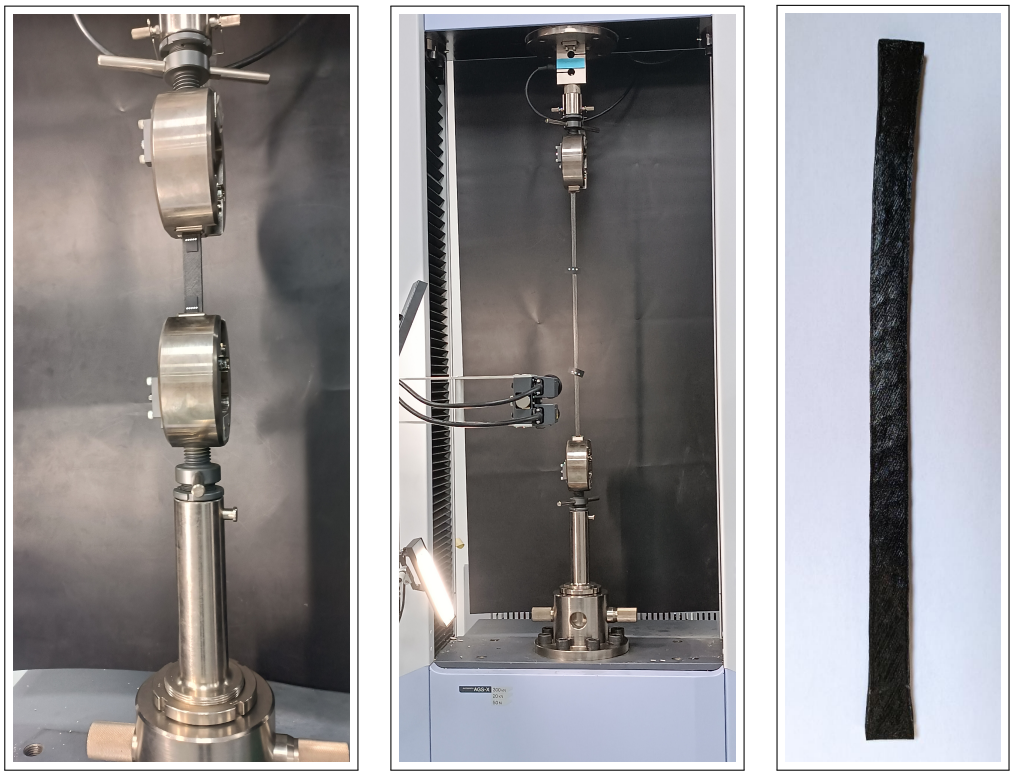
Detalle de la rotura

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de la probeta 1 de NinjaFlex en las mordazas de la maquina utilizando una celda de carga de 20 kN. En la Figura (a) se observa el montaje de la probeta y el ajuste en el apriete dado por las palancas de las mordazas, en la Figura (b) se observa el posicionamiento de la probeta en las mordazas donde la distancia señalada en la misma debe de quedar lo más centrado entre las mordazas para que después sea detectada por la cámara para tomar como dato su longitud inicial. En la Figura (c) se observa la probeta de PLA con su rotura después de aplicar la carga.

A continuación la Figura 6.15 presenta el montaje realizado de la probeta 2 de NinjaFlex en la máquina Zhimadzu y el resultado obtenido luego del ensayo.

Figura 6.15

Ensayo de tracción de la probeta 2 de NinjaFlex.



(a) **(b)** **(c)**

Detalle de la rotura

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de la probeta 2 de NinjaFlex en las mordazas de la maquina utilizando una celda de carga de 20 kN. En la Figura (a) se observa el montaje de la probeta y el ajuste en el apriete dado por las palancas de las mordazas, en la Figura (b) se observa el posicionamiento de la probeta en las mordazas donde la distancia señalada en la misma debe de quedar lo más centrado entre las mordazas para que después sea detectada por la cámara para tomar como dato su longitud inicial. En la Figura (c) se observa la probeta de PLA con su rotura después de aplicar la carga. En la probeta se observa que no llega a la rotura sino a un gran estiramiento.

Ensayo de compresión del envase impreso y del original

Otro de los aspectos evaluados en la impresión de los elementos de la cantimplora es la resistencia a la compresión del cuerpo impreso y del original de acuerdo a la norma "UNE EN ISO 604 (Plásticos)", en una máquina de ensayos universal de marca "Metro Com engineering s.p.a" como se observa en la Figura 6.16. La Tabla 6.7 presenta la configuración inicial de la máquina para el ensayo.

Figura 6.16

Máquina de ensayos Metro Com engineering s.p.a.

Nota: En la Figura se observa la maquina METRO COM engineering s.p.a. para los ensayos de compresión.

Tabla 6.7

Configuración de la máquina Metro Com engineering s.p.a .

Celda de carga	Carga de Trabajo	Factor de corrección	Diámetro del disco Interno	Externo
200 KN	20 KN	1	95 mm	100 mm

Nota: La Tabla presenta los parámetros iniciales para el ensayo de compresión en las probetas de PLA y NinjaFlex.

A continuación, en la Figura 6.17 se observa el montaje de los dos envases en la máquina de ensayo para el ensayo de conpresión.

Figura 6.17

Puesta a punto de la máquina de ensayos Metro Com engineering s.p.a.

(a) Envase original

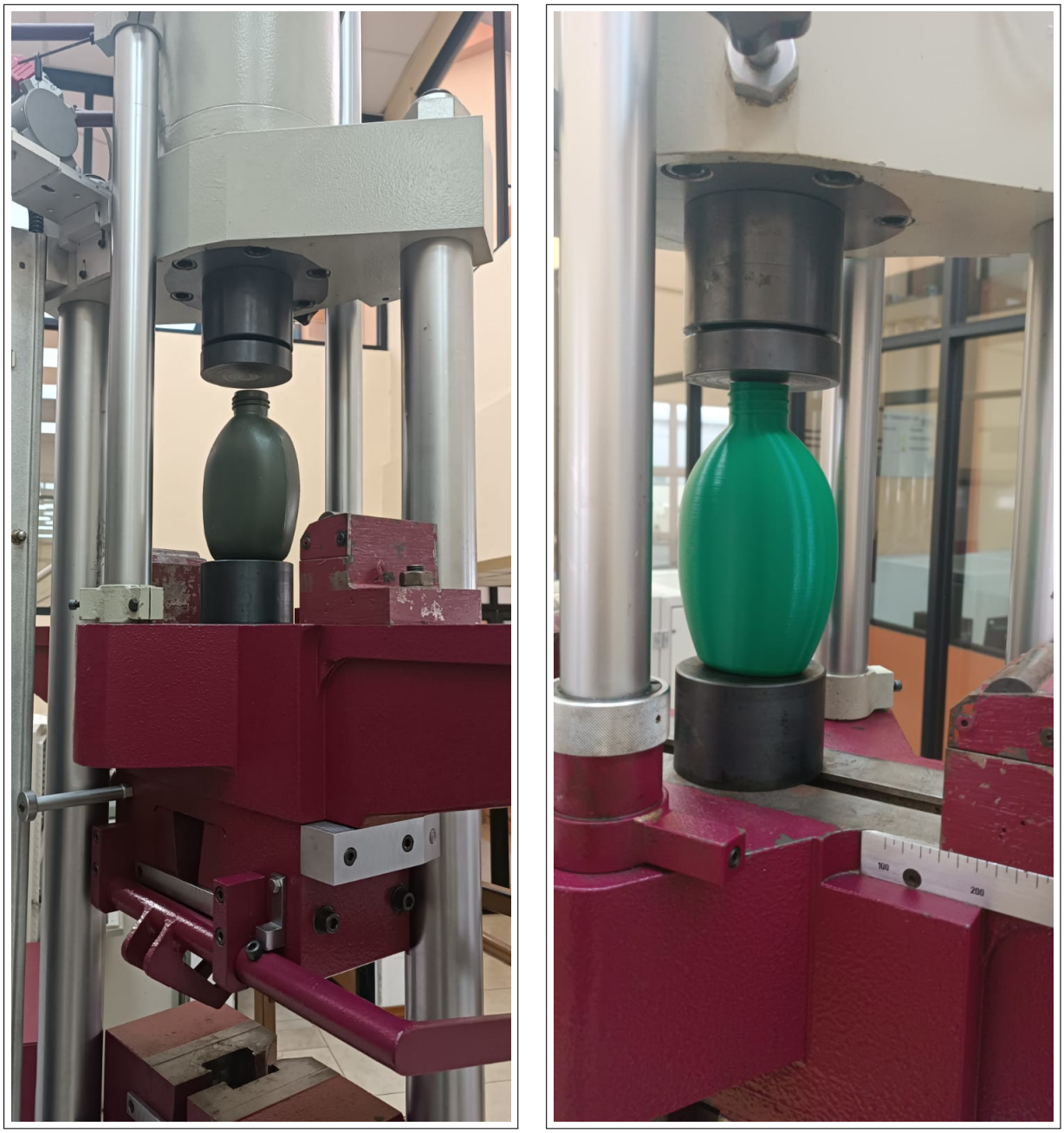
(b) Envase impreso

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de los envases, del impreso y el original en la máquina de compresión "Metro Com engineering s.p.a".

A continuación, en la Figura 6.18 se observa el montaje de los dos envases en la máquina universal para el ensayo de conpresión. El montaje de los cuerpos del envase se lo hace alineado al eje principal de la máquina.

Figura 6.18

Ensayo de conpresión en la máquina de ensayos Metro Com engineering s.p.a.



(a) Envase original **(b)** Envase impreso

Nota: En la Figura se observa el proceso de montaje de los envases, del impreso y el original alineado al eje principal de la máquina de compresión de marca "Metro Com engineering s.p.a".

A continuación, en la Figura 6.19 se observa los envases, original e impreso luego del ensayo conpresión.

Figura 6.19

Envases comprimidos.

(a) Envase original comprimido

(b) Envase impreso comprimido

Nota: En la Figura (a) se observa el envase impreso con una linea blanca en el contorno del inicio del cuerpo de la rosca debido a la fuerza aplicada. En la Figura (b) se observa el envase original comprimido sin presentar a simple vista una deformación o un efecto de la fuerza aplicada.

7. Resultados

7.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño y la construcción del envase plástico

Los parámetros establecidos para el diseño fueron:

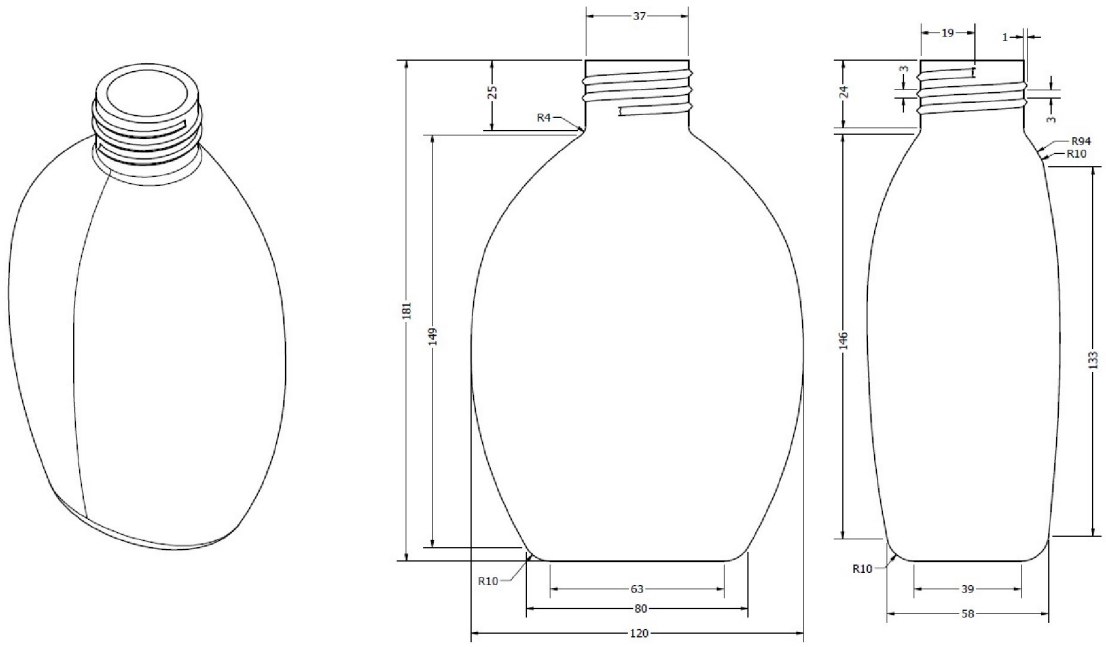
7.1.1. Material de los elementos

Cuerpo de la cantimplora elaborado con PLA
La Tapa del envase o cuerpo elaborado con PLA
El Asa que une la tapa y el cuerpo fue elaborado con NinjaFlex

7.1.2. Dimensiones de los elementos

Figura 7.1

Dimensiones del cuerpo de la cantimplora.

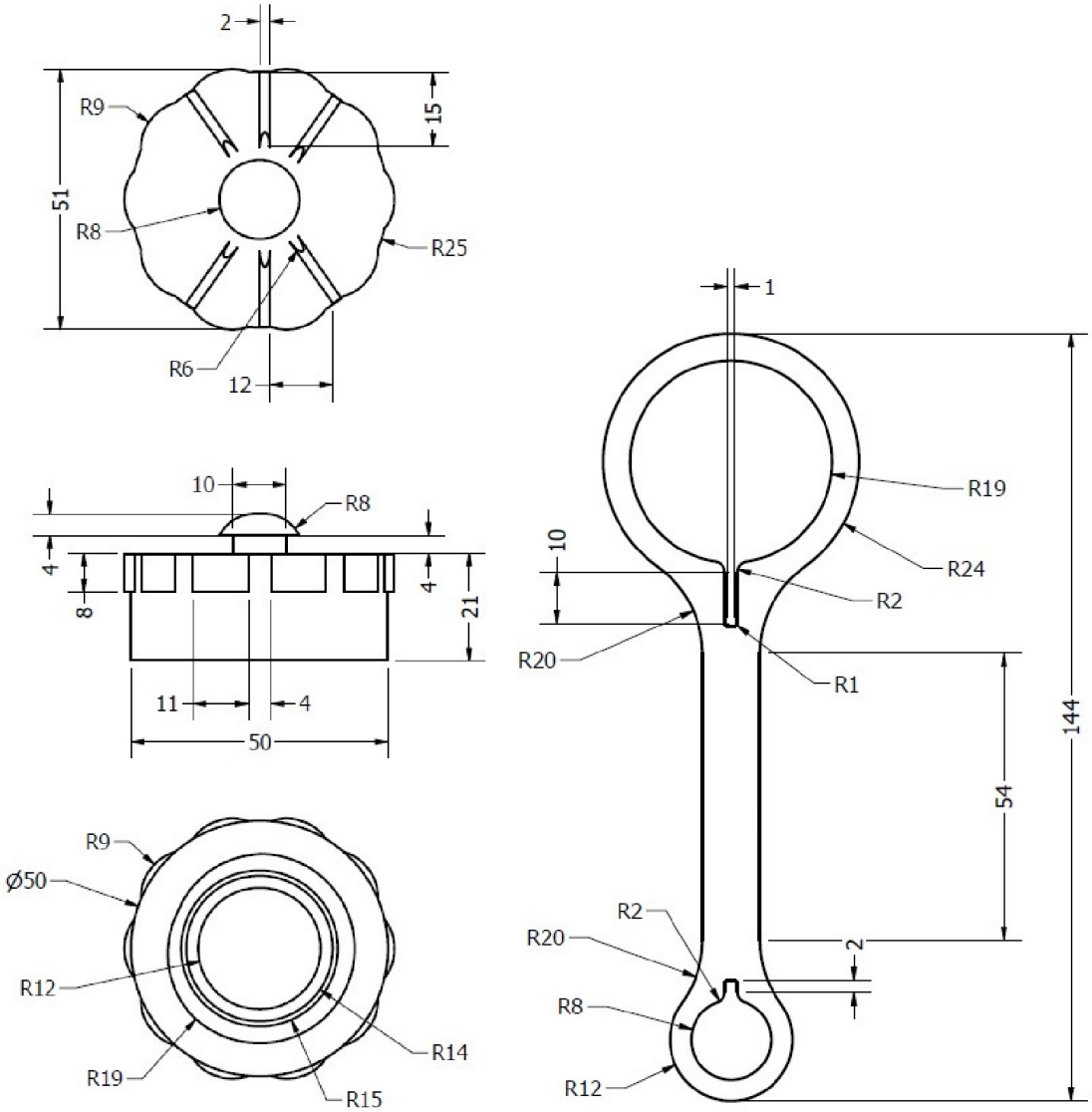


Nota: En la Figura se observa las dimensiones iniciales en milímetros consideradas para el diseño del envase plástico y tienen la capacidad de almacenar 600 ml.

Las Figuras 7.1 y 7.2 presentan las dimensiones iniciales consideradas para el diseño de la cantimplora considerando una contracción del 2 al 5% para el PLA y del 0.8 al 1.8% del NinjaFlex.

Figura 7.2

Dimensiones de la tapa y asa de la cantimplora.



(a) Tapa de la cantimplora **(b)** Asa de la cantimplora

Nota: En la Figura (a) se observa las dimensiones iniciales en milímetros de la tapa de la cantimplora y en la Figura (b) las dimensiones iniciales en milímetros del asa de la cantimplora; consideradas como partida para el diseño del envase plástico.

7.2. Propuesta del diseño del envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

Las Figuras 7.3 y 7.4 presentan la propuesta del diseño para la cantimplora con las exigencias requeridas.

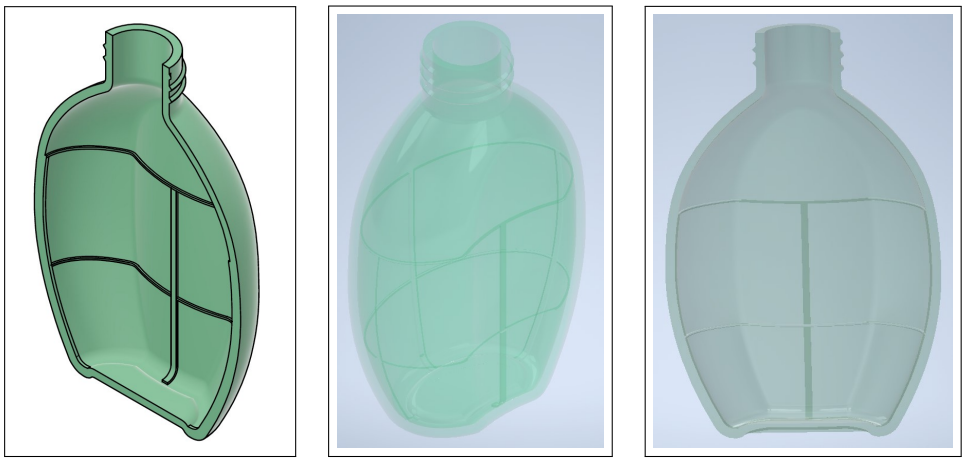
Figura 7.3

Diseño de los elementos de la cantimplora a construir.

Nota: En la Figura se observa las partes que conforman la cantimplora, empezando por la izquierda se tiene el cuerpo del encase, la tapa y el asa, las mismas que fueron fabricadas con diferentes materiales.

Figura 7.4

Diseño del refuerzo.



Nota: En las Figuras se observan los nervios colocados en el cuerpo de la cantimplora como refuerzos para aumentar la resistencia a la compresión.

7.3. Elaboración con manufactura del envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

En la Figura 7.5 se observa los elementos de la cantimplora manufacturados en impresión 3D y la Tabla 7.1 presenta el material con el que fueron elaborados.

Tabla 7.1

Material de elaboración de la cantimplora.

Elemento	Material
Cuerpo	PLA
Tapa	PLA
Asa	NinjaFlex

Nota: La Tabla presenta el material con los que fueron elaborados los elementos de la cantimplora.

Figura 7.5

Cuerpo de la cantimplora.

Nota: En la Figura se observa los elementos elaborados con impresión 3D de un envase resistente a la conpresión.

La Figura 7.6 presenta el envase plástico ensamblado para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión.

Figura 7.6

Cantimplora finalizada.

Nota: En la Figura se observa el envase armado con sus tres elementos y que fue elaborado en su totalidad a través de impresión 3D.

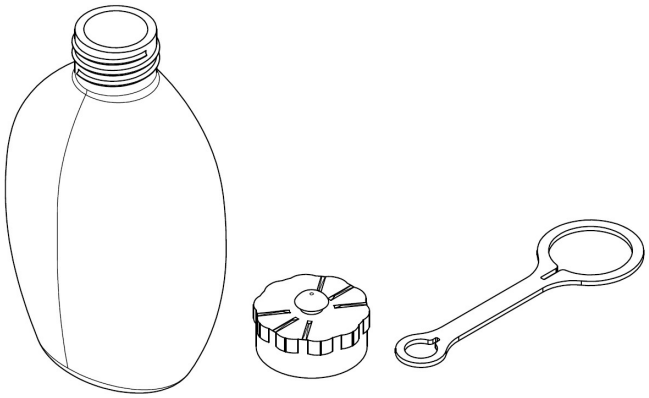
7.4. Evaluación del diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con alta resistencia a la compresión

En la Figura 7.7 se observan los tres elementos de la cantimplora construidos por impresión 3D, los mismos que fueron evaluados considerando:

- La resistencia a la tracción de los materiales utilizados en la construcción de los elementos de la cantimplora, que fueron PLA para el cuerpo y la tapa del envase y NinjaFlex para el asa.
- La resistencia a la compresión del cuerpo de la cantimplora.

Figura 7.7

Elementos de la cantimplora.



Nota: En la Figura se observan los tres elementos que conforman una cantimplora: el cuerpo, la tapa y el asa.

7.4.1. Evaluación a la resistencia a la compresión

La Tabla 7.2 presenta los resultados obtenidos a los ensayos de compresión realizados a los cuerpos de la cantimplora. El cuerpo impreso fue elaborado por impresión 3D con PLA, el cuerpo original fue obtenido por un proceso de extrusión soplado y fue elaborado con polietileno de alta o baja densidad y que fue proporcionado por los militares.

Tabla 7.2

Resultados del ensayo de compresión al cuerpo de la cantimplora.

Envase	**Espesor del cuerpo**	**Carga ejercida**	**Altura del envase**		**Diámetro de la rosca del envase**	
			Antes	**Después**	**Antes**	**Después**
Impreso	4 mm	10.497 kN	181 mm	175 mm	37 mm	37.15 mm
Soplado	3 mm	3.449 kN	182 mm	178 mm	36 mm	36.52 mm

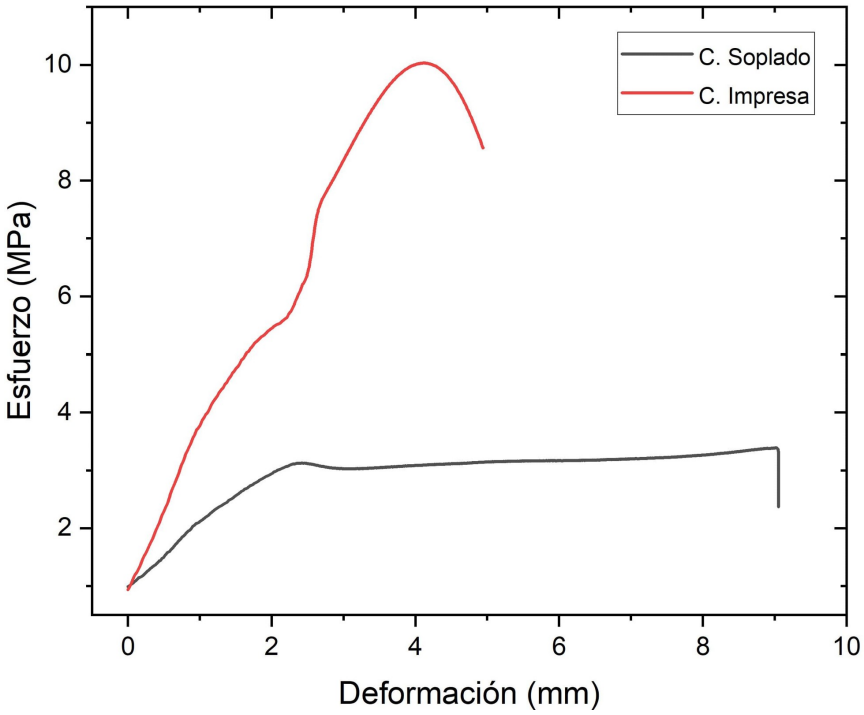
Nota: En la Tabla se puede observar los resultados obtenidos de las alturas de los envases y del diámetro de la boca de la rosca antes y después de aplicar una carga sobre los envases.

En la Tabla 7.2 se puede observar que existe una diferencia de 6 mm en la altura del envase impreso en 3D después de aplicar la carga y de 4 mm en el envase original obtenido por soplado. El cambio en las dimensiones del diámetro de la boca de la rosca también se vio afectado después de aplicar la carga, donde, el envase impreso sufre una menor deformación de 0.15 mm con respecto al envase original que varía con 0.52 mm en su dimensión.

En la Figura 7.8 se observa las curvas de esfuerzo – deformación de los dos cuerpos o envases analizados.

Figura 7.8

Gráfica de esfuerzo – deformación del ensayo a compresión.



Nota: En la Figura se observa las dos curvas que corresponden al cuerpo impreso y al soplado de la cantimplora.

La Tabla 7.3 presenta los resultados del ensayo de compresión de los cuerpos en estudio, donde se observa que el envase impreso presenta una mayor resistencia a la compresión pero una menor elasticidad en referencia al envase soplado si se relaciona directamente con la deformación encontrada.

Tabla 7.3

Resultados del ensayo a compresión.

Envase	Extensión con carga máxima	Carga en el punto de extensión	Carga máxima	Posición máxima	Tensión en la extensión
Soplado	3.95969 mm	1.024 kN	10.947 kN	5.20246 mm	1 MPa
Impreso	9.019079 mm	1.009 kN	3.449 kN	9.05283 mm	1 MPa

Nota: La Tabla indica los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de los envases analizado considerando que los datos corresponden a un solo ensayo por envase.

7.4.2. Evaluación a la resistencia a la tracción

La Tabla 7.4 presenta los resultados obtenidos del ensayo de tracción realizado a las probetas que fueron elaboradas con el material con el que construyeron los elementos de la cantimplora, el diseño de impresión es el mismo que se utilizó para obtener los elementos.

Tabla 7.4

Resultados del ensayo de tracción.

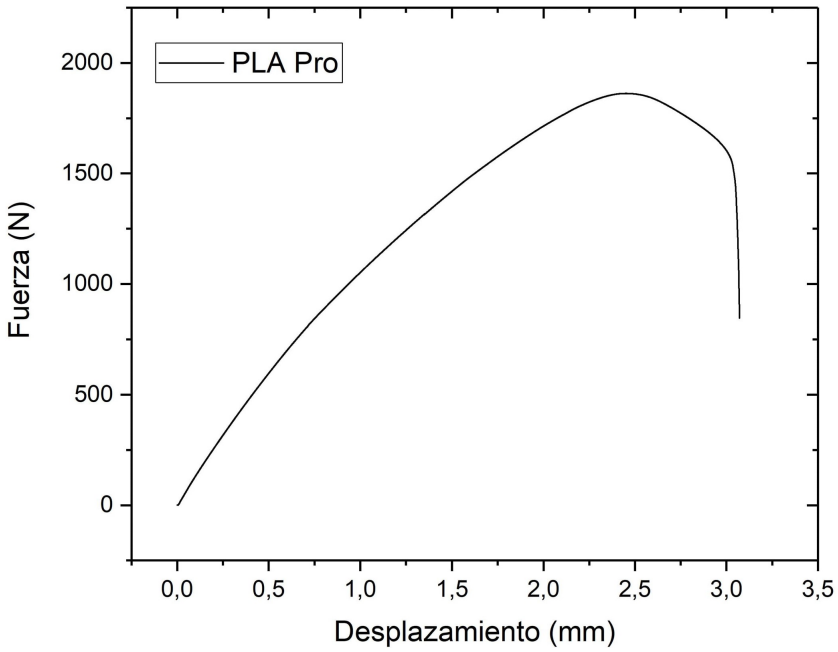
Probeta	Máxima tensión (MPa)	Deformación máxima (%)
Probeta 1 PLA	19.39	3.70
Probeta 2 PLA	19.09	3.82
Probeta 1 NinjaFlex	6.94	734.15
Probeta 2 NinjaFlex	10.44	976.73

Nota: La Tabla indica los resultados obtenidos en el ensayo de tracción de las probetas elaboradas con el material que se construyeron los elementos de la cantimplora.

A continuación se presentan las Figuras con las curvas de esfuerzo – deformación de las probetas analizadas.

Figura 7.9

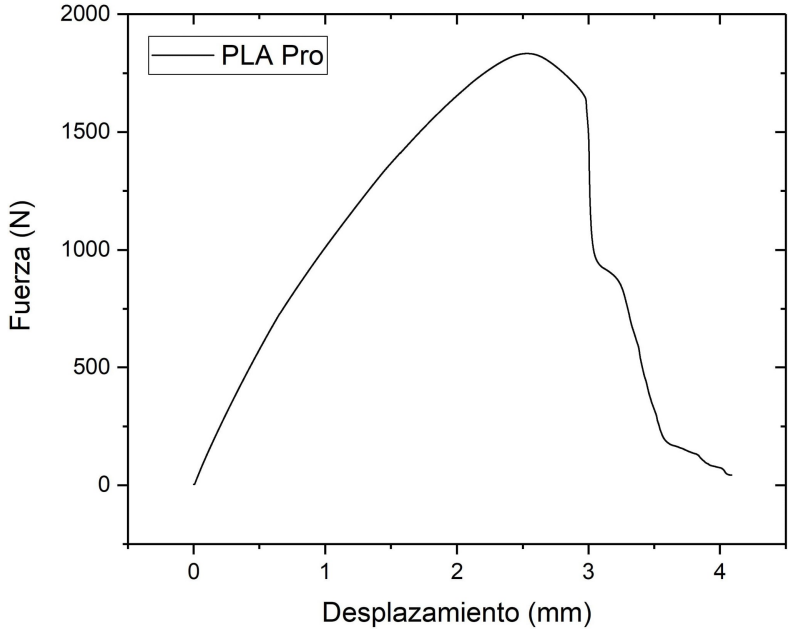
Curva esfuerzo – deformación de la Probeta 1 de PLA.



Nota: En la Figura se observa la curva esfuerzo - deformación de la probeta 1 de PLA.

Figura 7.10

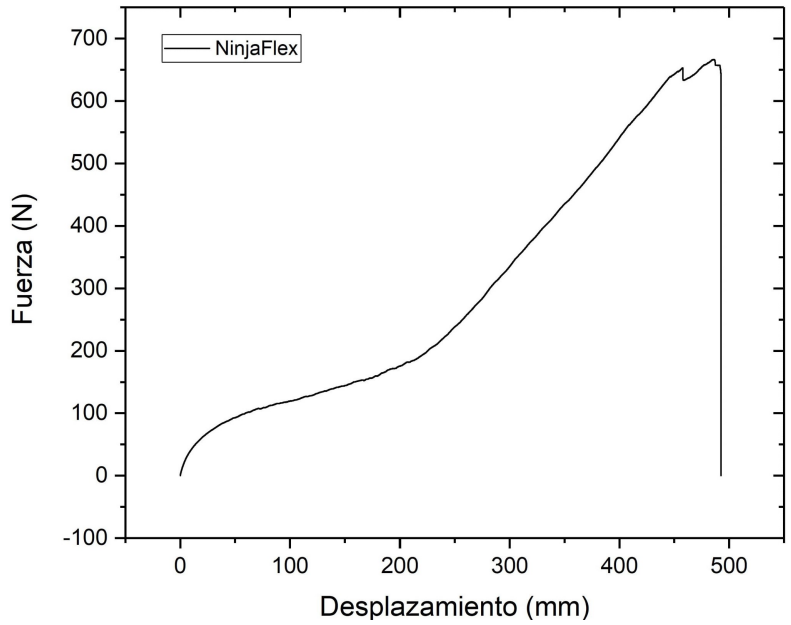
Curva esfuerzo – deformación de la Probeta 2 de PLA.



Nota: En la Figura se observa la curva esfuerzo - deformación de la probeta 2 de PLA.

Figura 7.11

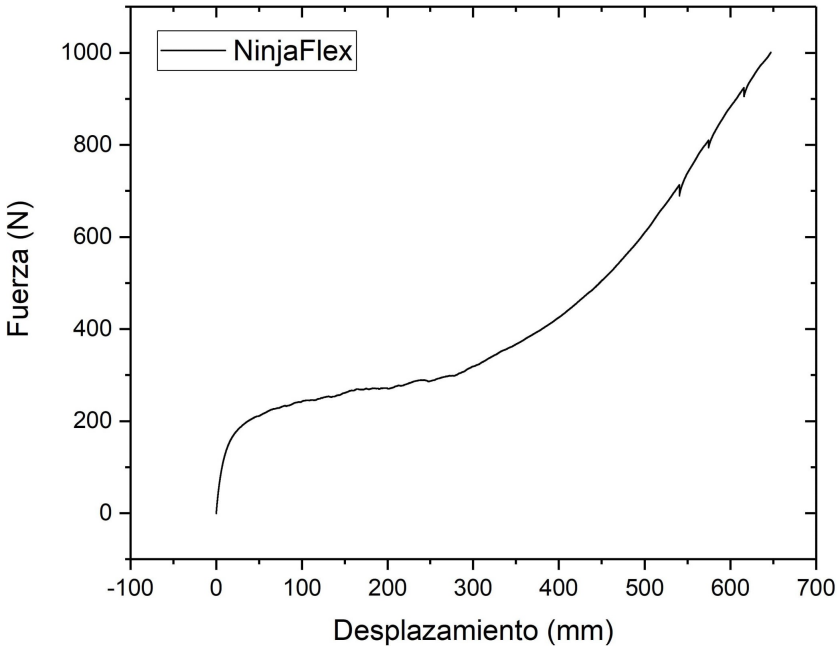
Curva esfuerzo – deformación de la probeta 1 de NinjaFlex.



Nota: En la Figura se observa la curva esfuerzo – deformación de la probeta 1 de NinjaFlex.

Figura 7.12

Curva esfuerzo – deformación de la probeta 1 de NinjaFlex.



Nota: En la Figura se observa la curva esfuerzo – deformación de la probeta 2 de NinjaFlex.

8. Conclusiones

Conclusión 1:

Los parámetros iniciales establecidos consideraron una capacidad del envase de 600 ml con las medidas del modelo original con una altura del cuerpo de 181 mm con un ancho de 120 mm y un espesor de 4 mm, la tapa alcanza un radio envolvente de 51 mm con un alto de 21 mm y un espesor de 7 mm, el asa alcanza un ancho de 144 mm y un ancho en su radio mayor de 24 mm con un espesor de 2 mm.

Conclusión 2:

Para el diseño del cuerpo y la tapa de la cantimplora se estableció el PLA como el material de construcción, considerando una contracción del 5 % para las medidas longitudinales del cuerpo y el 2 % para las medidas transversales del mismo y de igual manera para las medidas de la tapa, el material del asa se estableció el NimjaFlex por su flexibilidad y para el dimensionamiento se consideró un porcentaje de contracción del 1 %.

Conclusión 3:

En la manufactura de los elementos de la cantimplora se consideró para la impresión 3D una velocidad de alimentación del filamento de 65 mm/s, una temperatura de boquilla de 220 °, diámetro de boquilla de 0.4 mm, altura desde la base a la boquilla de 0.2 mm y una temperatura en la base de 60 °. La impresión manejó un patrón de relleno triangular con una diferencia entre capas de 0.15 para el cuerpo y 0.2 para la tapa y el asa, también se consideró una densidad del 100 % para el cuerpo, 20 % en la tapa y el 15 % para el asa.

Conclusión 4:

En la evaluación de la resistencia a la compresión de los cuerpos de la cantimplora se estableció que el cuerpo impreso del envase supera en resistencia a la compresión en un aproximado del 200 % y disminuye su elasticidad en un 50 % aproximadamente de acuerdo a los diagramas de esfuerzo deformación. En referencia a la resistencia a la tracción de la probeta de PLA la deformación máxima tiene un promedio del 3.76 % con una variabilidad que no excede el 0.06 %, con respecto al NinjaFlex existe una variabilidad considerable del porcentaje de deformación con un mínimo del 734.15 % y un máximo de 976.732 %.

9. Recomendaciones

Recomendación 1:

Se recomienda para trabajos futuros el realizar algunas pruebas de los ensayos de compresión y tracción con una muestra significativa para observar si existe una variabilidad considerable de los datos obtenidos.

Recomendación 2:

En trabajos futuros se recomienda utilizar diferentes tipos de material para la impresión 3D al igual que una diferente configuración para mejorar la elasticidad del elemento final.

Referencias Bibliográficas.

Acosta, J., Ramón, A., y Helguero, C. (2021). *Comparación tecnológica de patrones de relleno en impresión 3d por extrusión usando simulación.* [Disponible en: https:// www. dspace. espol.edu .ec/handle/ 123456789/ 54726 ; Accedido el: 4 de enero del 2023].

AINIA Centro Tecnológico Agroalimentario, and AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico. (2021). *La correcta especificación de los envases.* [Disponible en: https://www. eco embes thecircular campus .com/ web/ app/ uploads/ 2021/01/la- correcta- especificacion- de- los- envases. pdf; Accedido el: 31 de enero del 2023].

Anónimo. (2010). *Astm d638—plastics tensile strength.* [Disponible en: https:// www.universal gripco .com/astm -d638 ; Accedido el: 24 de enero del 2023].

Aquae Fundación. (2022). *La cantimplora: historia y uso.* Disponible en: [https:// www.fundacionaquae.org/ wiki/historia- y-uso-de-la-cantimplora/; Accedido el: 16 de noviembre del 202].

Aravena, V. (2020). *Uniformolog a militar en la guerra del pacifico 1879-1884 (volumen 2).* [Disponible en: https://books. google.es/ books?hl= es&lr=&id=i1Z-DwAAQBAJ &oi= fnd&pg= PA1&dq= cantimplora+ ejercito &ots= AMURaIR4Ag& sig= EMq-Wa5EHdr7 LIGYYfcpxIIlmhdQ#v= onepage&q= cantimplora% 20ejercito &f=false; Accedido el: 21 de noviembre del 2022].

Arcos, G., y Diosdado De la Peña, J. (2017). *Manufactura aditiva para prototipado rÁpido.* [Disponible en: http:// 148.214.84.21/ bitstream/ 20.500.12059 /4821/ 1/ Manufactura%20aditiva%20para% 20prototipado%20r%c3% a1pido. pdf Accedido el: 22 de noviembre del 2022].

Auras, R., Lim, T., Selke, E., y Tsuji, H. (2011). *Poly (lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications.* [vol. 10. John Wiley Sons, 2011. ; Accedido el: 1 de diciembre del 2022].

Beamler. (2022). *Impresión 3d en tpu.* [Disponible en: https:// www. beamler. com/es/ capacidades- de- impresion-3d / materiales/tpu/#: text= Acerca% 20de%20TPU& text=TPU%20tiene%20buenas% 20propiedades%20 abrasivas, ABS%20y%20 PLA)%20no%20pueden. ; Accedido el: 15 de diciembre del 2022].

Blancar, M., Choplin, L., Mbaye, M., y Olivereau, A. (2019). *Un sistema de depósito para botellas de plástico en lima: ¿una alternativa colectiva y exitosa para resolver el problema de la contaminación y de la creciente producción de plástico en el perú?* [Disponible en:

https:// repositorio. esan .edu.pe/ // handle/ 20.500.12640 / 1754; Accedido el: 16 de noviembre del 2022].

Bohórquez, C., y José, S. (2020). *Simulación de análisis dinámicos de membranas electrohiladas de ácido poliláctico (pla) con grafeno.* [Disponible en: http://repositorio .uan .edu.co/ handle/ 123456789 /2479 ; Accedido el: 16 de diciembre del 2022].

Cano, A., y Serrano, A. (2021). *3d printing by fused deposition modelling: Handling, operation and biomedical applications.* Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación. V. 13. Pág. 227 - 238. ISSN 1888-8550.

Cedeño, R. (2023). *Software usado en la impresión 3d.* [Disponible en: https:// themachinebros .com/es/ software -usado- en-la- impresion-3d/; Accedido el: 26 de enero del 2023].

Chia, H., y Wu, B. (2015). *Recent advances in 3d printing of biomaterials.* [Disponible en: http:// www.jbioleng .org/content /9/1/4; Accedido el: 25 de enero del 2023].

Cobos, C. (2014). *Determinación de la posibilidad de la implementación de un nanocompuesto de pla/mwcnts para impresión 3d low cost fff.* [Máster Univ. Politécnica Valencia, Valencia Esp. ; Accedido el: 1 de diciembre del 2022].

Creativo 3D. (2023). *¿cómo empezar a imprimir en 3d?* [Disponible en: https:// www. creativo3d. com/como -empezar -a-imprimi r-en-3d/; Accedido el: 26 de enero del 2023].

Echeverría, A. (2021). *Evaluación de la resistencia a la flexión y torsión del material ácido pololáctico (pla) manufacturado por impresión 3d con patrón de panal de abeja y porcentaje de relleno del 50 %.* [Disponible en: https:// dspace. ups. edu.ec / handle /123456789/20759 ; Accedido el: 21 de noviembre del 2022].

Flores, G. H. (2015). Uso de medidas antropométricas para el diseño de estaciones de trabajo enfocado a operadoras de las industrias de la zmg. En *Congreso de manufactura avanzada para alumnos de posgrado ciateq (mayo 2015, querétaro, qro.).*

Greve, P. (2018). *Cantimplora.* [Disponible en: https:// www. fitforbeach. mx/ cantimplora/; Accedido el: 21 de noviembre del 2022].

León, J., Guillermo, J., y González, O. (2020). *Damageof continuous fiber reinforced additive manufacturing components.* [Disponible en: https:// revistas. uis. edu.co/ index.php/ revistauis ingenierias / article /view /10599/ 10492 Accedido el: 22 de noviembre del 2022].

Macas, C., y Pilko, K. (2016). *Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3d.* [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba. ; Accedido el: 1 de diciembre del 2022].

Manoj, M., Saravanan, A., Haiter, A., Jerin, L., Mayandi, K., y Sethu, P. (2020). *A short review on 3d printing methods, process parameters and materials.* Elsevier. Materials Today: Proceedings. [Disponible en: https:// reader. elsevier. com/ reader/sd /pii/ S2214785320 378317 token = E1A7BAF1E0B6 D42D4FDAB8C74C 67BBC51777 06887678C0F 9CE984C52 3E93D023C29E443 43E41C3A47303 016702B4CC C6& origin

Region =us-e ast-1& originCreation= 20221116224953; Accedido el: 16 de noviembre del 2022].

Manualslib. (2018). *Componentes principales de la ultimaker s5 - ultimaker s5 manual de instalacion y uso.* [Disponible en: https:// www. manualslib.es/ manual/241147/ Ultimaker- S5 .html manual ; Accedido el: 15 de diciembre del 2022].

Molina, O., y Jaime, V. (2016). *Caracterización de materiales termoplásticos de abs y pla semi - rígido impresos en 3d con cinco mallados internos diferentes.* [Disponible en: https://bibdigital .epn.edu .ec/handle /15000/ 13064 ; Accedido el: 16 de diciembre del 2022].

Moreno, M. (2014). *Impresora 3d por extrusión de plastico.* [Disponible en: http:// hdl.handle .net/20. 500.12622 /208; Accedido el: 25 de enero del 2023].

Moscato, S., Bahr, R., Le, T., Pasian, M., Bozzi, M., Perregrini, L., y Tentzeris, M. (2016). *Material impreso en 3d dependiente del relleno basado en el filamento ninjaflex para aplicaciones de antena.* [Disponible en: https:// ieeexplore. ieee.org /stamp/ stamp. jsp?tp =&arnumber= 7377046 ; Accedido el: 16 de diciembre del 2022].

Odremán, J. (2014). *Impresión 3d en la industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la industria petrolera.* Vol.18 No.73 Puerto Ordaz. ISSN 1316-4821.

Orozco, J. (2022). *Las 7 categorías de la manufactura aditiva.* [Disponible en: https:// blog. laminasyaceros .com/ blog/ las-7-categor%C3% ADas -de- la- manufactura - aditiva ; Accedido el: 24 de noviembre del 2022].

Perez, J. (2023). *Definición de cantimplora - qué es, significado y concepto.* [Disponible en: https:// definicion .de/ cantimplora/; Accedido el: 25 de enero del 2023].

Quilla, O. (2021). *Resistencia al desgaste de un elastómero de poliuretano elaborado a partir de un poliol de base biológica.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Tesis de Maestría.

Real Academia Española. (2019). Optimizar. en diccionario de la lengua española, (edición 23). obtenido de https://dle.rae.es/optimizar.

Schau, A., y Krones, A. (2011). *Envase y embalaje.* [Disponible en: https:// www. inter-empresas .net/ Envase /Articulos/ 54032-El -diseno- de- envases -PET- reune- forma-y-funcionalidad .html; Accedido el: 27 de enero del 2023].

Serna, L., y Albán, F. (2011). *Ácido poliláctico (pla): Propiedades y aplicaciones.* [Ing. Compet., vol. 5, n.o 1, pp. 16–26, 2011 ; Accedido el: 1 de diciembre del 2022].

Sicnova. (2022). *¿qué es el pla en impresión 3d y para qué se utiliza?* [Disponible en: https:// sicnova3d .com/blog /experiencias -3d/que -es-el -pla-en -impresion -3d-y- para-que -se-utiliza/; Accedido el: 25 de enero del 2023].

Suministro. (2015). *Tpu 8195rv.* [Disponible en: https:// suministro. com.mx/ pdfs/352. pdf. ; Accedido el: 15 de diciembre del 2022].

Susana, S. (2017). *Sla: Impresión 3d por estereolitografía.* [Disponible en: https:// www.3 dnatives. com/ es/ impresion- 3d-por-estereolitografia -les- explicamos -todo/ Accedido

el: 24 de noviembre del 2022].

Synthesia Technology. (2023). *Poliuretano termoplástico, ¿conoces todas sus aplicaciones?* [Disponible en: https:// blog. synthesia. com/es/ poliuretano -termoplastico -conoces -todas -sus- aplicaciones; Accedido el: 25 de enero del 2023].

Taller de Cómputo de Arquitectura y Diseño ARQDIS. (2023). *Principales parámetros en la impresión fdm.* [Disponible en: http:// www. arqdis. ibero.mx /blog/ principales -parametros -fdm/; Accedido el: 30 de enero del 2023].

Velasque, I., y Julio, C. (2012). *Relación estructura-propiedades de películas de nanocompuestos de pla.* [Disponible en:https://upcommons . upc.edu/ handle/2117/94673 ; Accedido el: 4 de enero del 2023].

Wikipedia. (2022). *Cantimplora – wikipedia, la enciclopedia libre.* [Disponible en: https:// es. wikipedia.org/w/ index. php?title= Cantimplora & oldid=147186182; Accedido el: 16 de noviembre del 2022].

Wikiversidad. (2021). *Diseño, cálculo y fabricación de piezas y productos plásticos.* [Disponible en: https:// es. wikiversity .org/w /index. php?title= Dise%C 3%B1o, _C%C3%A1lculo _y_ Fabricaci% C3%B3n_de$_{Piezas_y_Productos_Pl\%C3\%A1sticosoldid}$ = 160478; $Accedidoel$: $27deenerodel$2023].

Wohlers, T. (2012). *Additive manufacturing and 3d printing state of the industry : annual worldwide progress report.* [Disponible en: https:// www. worldcat. org/es / title/ wohlers- report-2012- additive- manufacturing- and- 3d -printing- state- of-the- industry-annual -worldwide- progress- report/ oclc /813219114 Accedido el: 22 de noviembre del 2022].

Wohlers, T., Bourella, D., Beaman, J., Leub, M., y Rosenc, D. (2009). *A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: Looking back and looking ahead.* US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies [Disponible en: http:// www. turkcadcam. net /haber/ 2009/ rapidtech- workshop / presentations/ Presentation02. pdf Accedido el: 22 de noviembre del 2022].

Zhen, C. (2017). *The influence of 3d printing on global container multimodal transport system.* Hindawi Complexity, 19 pages. [Disponible en: https:// doi.org/ 10.1155/ 2017/ 7849670; Accedido el: 16 de noviembre del 2022].

Zwick Roell. (2023). *Astm d638, propiedades de tracción plástico.* [Disponible en: https://www. zwickroell. com/es/ sectores/ plasticos/ termoplasticos-y- materiales- termoendurecibles/ propiedades- de- traccion- astm- d638/; Accedido el: 31 de enero del 2023].

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 9.1

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**	**VARIABLES**	**MARCO TEÓRICO**
¿Es posible construir cantimploras con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur?	Construir cantimploras con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur.	Se construirá cantimploras con manufactura aditiva para la Base de Movilización Sur.	**-VI:** Manufactura aditiva.	Manufactura aditiva: impresión 3D.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**	**VARIABLES**	**MARCO TEÓRICO**
¿Se podrá establecer los parametros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?	Establecer los parametros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	Se Establecerá los parametros iniciales en el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	**-VI:** Parámetros iniciales. **-VD:** Resistencia a la compresión.	Parametros iniciales de un diseño: Materiales, temperatuta, tiempo de impresión, calidad de impresión, capacidad, dimensiones y forma.
¿Es viable proponer el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?	Proponer el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	Se propondrá el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	**-VI:** Diseño. **-VD:** Resistencia a la compresión	Envase plástico, que caracteristicas debe tener; Resistencia mecánica, Resistencia a la compresión y envejecimiento.
¿Es factible elaborar con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?	Elaborar con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	Se elaborará con manufactura aditiva un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	**-VI:** Manufactura aditiva.	Manufactura aditiva: Impresión 3D.
¿Es posible evaluar el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión?	Evaluar el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	Se evaluará el diseño y construcción de un envase plástico para ambientes extremos con la ayuda de la resistencia a la compresión.	**-VI:** Diseño. **-VD:** Resistencia a la compresión.	Envase plástico, que caracteristicas debe tener, Resistencia mecánica, Resistencia a la compresión y envejecimiento.

Nota: La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

Anexo B: Precios unitarios del la construccion y ensayos de la cantimplora

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS CON MANUFACTURA ADITIVA PARA LA BASE DE MOVILIZACIÓN SUR
ÁNALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL OFERENTE: Geovanny Maldonado

PROYECTO: Cantimplora militar
ITEM: 1
DESCRIPCION: *Construcción de cantimplora militar con manufactura aditiva*
UNIDAD: 1

EQUIPO Y HERRAMIENTA

DESCRIPCION	Piezas	CANTIDAD A	TARIFA HORA B	RENDIMIENTO HORAS/U C	COSTO TOTAL D=A*B*C
Impresora Ultimaker S5	Cuerpo	1	1,25	30	37,50
	Tapa	1	1,25	5	6,25
	Asa	1	1,25	1	1,25
	Probetas	4	1,25	3	15,00
Ensayo de tracción	Probetas	4	5,00	5	100,00
Ensayo de compresón	Envases	2	25,00	2	100,00
				PARCIAL M	260,00

MATERIALES

DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECI/U	COSTO TOTAL C=A*B
PLA		gr	250,00	0,06	15,00
NinjaFlex		gr	20,00	0,13	2,60
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
				PARCIAL N	17,60

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	Horas	Costo impresora/h	COSTO TOTAL D=A*B*C
	u				0,00
	u				0,00
				PARCIAL O	0,00

MANO DE OBRA

DESCRIPCION		CANTIDAD A	S.R.H. B	RENDIMIENTO HORAS/U	COSTO TOTAL D=A*B*C
Ingeniero Mecanico		1	4,00	5	20,00
				PARCIAL P	20,00

TOTAL COSTOS DIRECTOS X = (M+N+O+P)					297,60
INDIRECTOS Y UTILIDAD				20,00%	59,52
COSTO TOTAL DEL RUBRO					
VALOR PROPUESTO					357,12

Anexo C: Codificacion G generado para le impresion del cuerpo, tapa y asa.

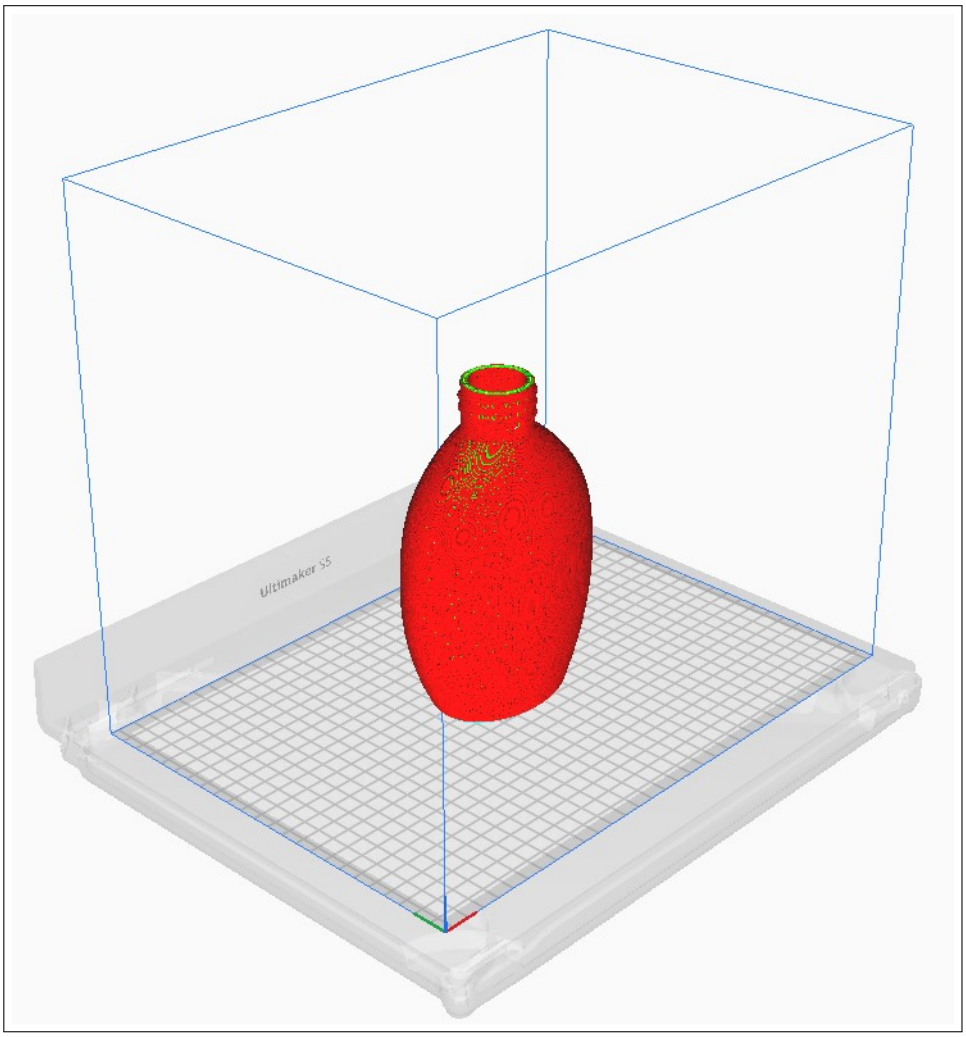
```
;START_OF_HEADER
;HEADER_VERSION:0.1
;FLAVOR:Griffin
;GENERATOR.NAME:Cura_SteamEngine
;GENERATOR.VERSION:4.12.1
;GENERATOR.BUILD_DATE:2021-11-18
;TARGET_MACHINE.NAME:Ultimaker S5
;EXTRUDER_TRAIN.0.INITIAL_TEMPERATURE:225
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.VOLUME_USED:186388
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.GUID:506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.DIAMETER:0.4
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.NAME:AA 0.4
;BUILD_PLATE.TYPE:glass
;BUILD_PLATE.INITIAL_TEMPERATURE:60
;BUILD_VOLUME.TEMPERATURE:28
;PRINT.TIME:106958
;PRINT.GROUPS:1
;PRINT.SIZE.MIN.X:-3
;PRINT.SIZE.MIN.Y:6
;PRINT.SIZE.MIN.Z:0.2
;PRINT.SIZE.MAX.X:224.86
;PRINT.SIZE.MAX.Y:154.398
;PRINT.SIZE.MAX.Z:180.65
;END_OF_HEADER
;Generated with Cura_SteamEngine 4.12.1
T0
M82 ;absolute extrusion mode

G92 E0
M109 S225
G0 F9000 X-3 Y6 Z2
G280
G1 F1500 E-6.5
;LAYER_COUNT:1204
;LAYER:0
M107
M204 S625
M205 X50 Y50
G0 F5142.9 X196.41 Y134.842 Z0.2
M204 S500
M205 X20 Y20
;TYPE:SUPPORT
G1 F1500 E0
G1 F2400 X195.689 Y135.751 E0.01528
G1 X194.919 Y136.629 E0.03065
G1 X194.017 Y137.553 E0.04766
G1 X193.851 Y137.721 E0.05077
G1 X192.988 Y138.539 E0.06642
G1 X192.071 Y139.317 E0.08226
G1 X190.914 Y140.234 E0.1017
G1 X189.967 Y140.909 E0.11701
G1 X188.759 Y141.712 E0.13611
```

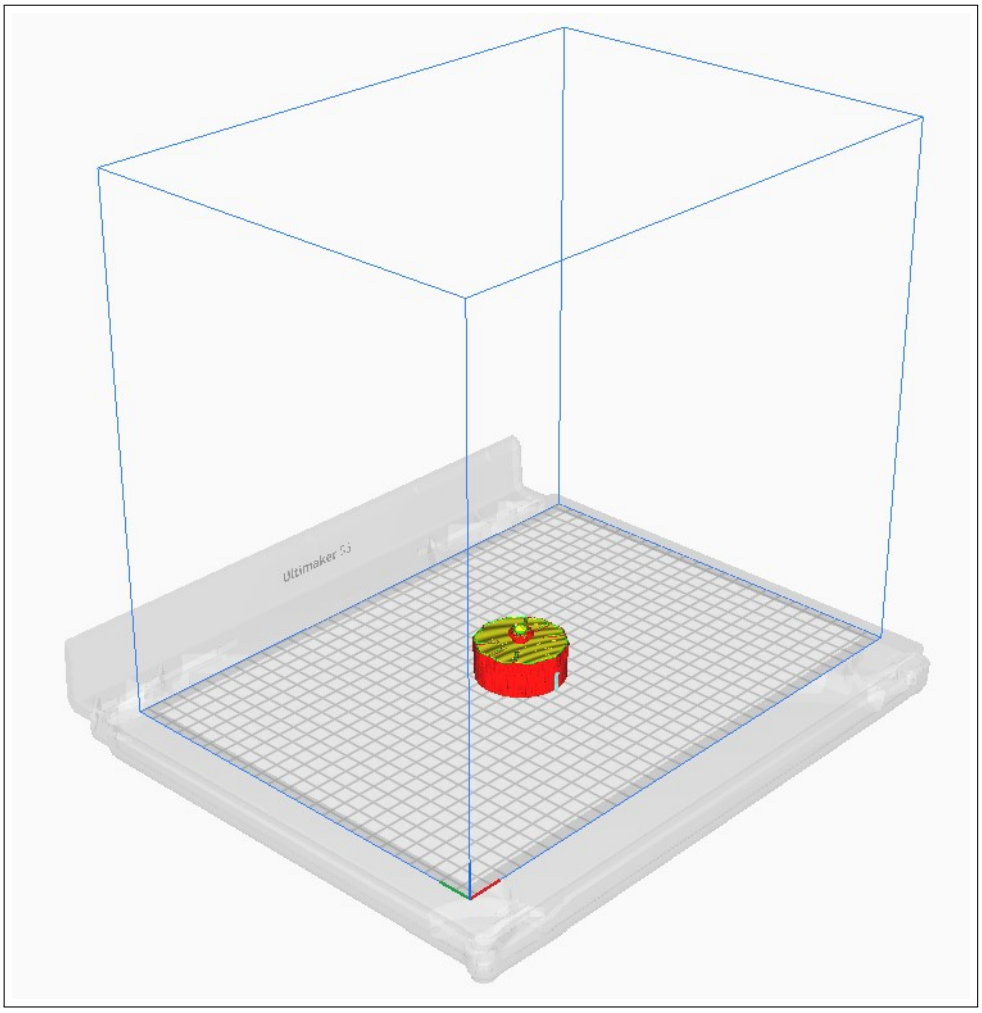
```
;START_OF_HEADER
;HEADER_VERSION:0.1
;FLAVOR:Griffin
;GENERATOR.NAME:Cura_SteamEngine
;GENERATOR.VERSION:4.12.1
;GENERATOR.BUILD_DATE:2021-11-18
;TARGET_MACHINE.NAME:Ultimaker S5
;EXTRUDER_TRAIN.0.INITIAL_TEMPERATURE:225
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.VOLUME_USED:16974
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.GUID:506c9f0d-e3aa-4bd4-b2d2-23e2425b1aa9
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.DIAMETER:0.4
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.NAME:AA 0.4
;BUILD_PLATE.TYPE:glass
;BUILD_PLATE.INITIAL_TEMPERATURE:60
;BUILD_VOLUME.TEMPERATURE:28
;PRINT.TIME:5857
;PRINT.GROUPS:1
;PRINT.SIZE.MIN.X:-3
;PRINT.SIZE.MIN.Y:6
;PRINT.SIZE.MIN.Z:0.2
;PRINT.SIZE.MAX.X:190.963
;PRINT.SIZE.MAX.Y:147.139
;PRINT.SIZE.MAX.Z:28
;END_OF_HEADER
;Generated with Cura_SteamEngine 4.12.1
T0
M82 ;absolute extrusion mode

G92 E0
M109 S225
G0 F9000 X-3 Y6 Z2
G280
G1 F1500 E-6.5
;LAYER_COUNT:140
;LAYER:0
M107
M204 S625
M205 X50 Y50
G0 F5142.9 X179.974 Y130.445 Z0.2
M204 S500
M205 X20 Y20
;TYPE:SUPPORT
G1 F1500 E0
G1 F2400 X178.478 Y132.311 E0.03149
G1 X177.684 Y133.118 E0.0464
G1 X176.179 Y134.295 E0.07156
G1 X174.521 Y135.327 E0.09727
G1 X172.761 Y136.172 E0.12298
G1 X170.872 Y136.838 E0.14935
G1 X168.963 Y137.278 E0.17515
G1 X167.024 Y137.505 E0.20085
G1 X165.079 Y137.516 E0.22646
G1 X163.199 Y137.319 E0.25136
G1 X161.385 Y137.034 E0.27553
G1 X159.364 Y136.475 E0.30314
G1 X157.408 Y135.669 E0.331
G1 X155.551 Y134.625 E0.35905
G1 X153.911 Y133.425 E0.38581
G1 X152.297 Y131.91 E0.41496
G1 X150.939 Y130.269 E0.443
G1 X149.791 Y128.478 E0.47102
G1 X148.868 Y126.559 E0.49906
G1 X148.192 Y124.551 E0.52695
G1 X147.761 Y122.452 E0.55517
G1 X147.59 Y120.38 E0.58254
G1 X147.677 Y118.238 E0.61077
G1 X148.018 Y116.154 E0.63858
G1 X148.621 Y114.09 E0.66689
G1 X149.466 Y112.135 E0.69494
```

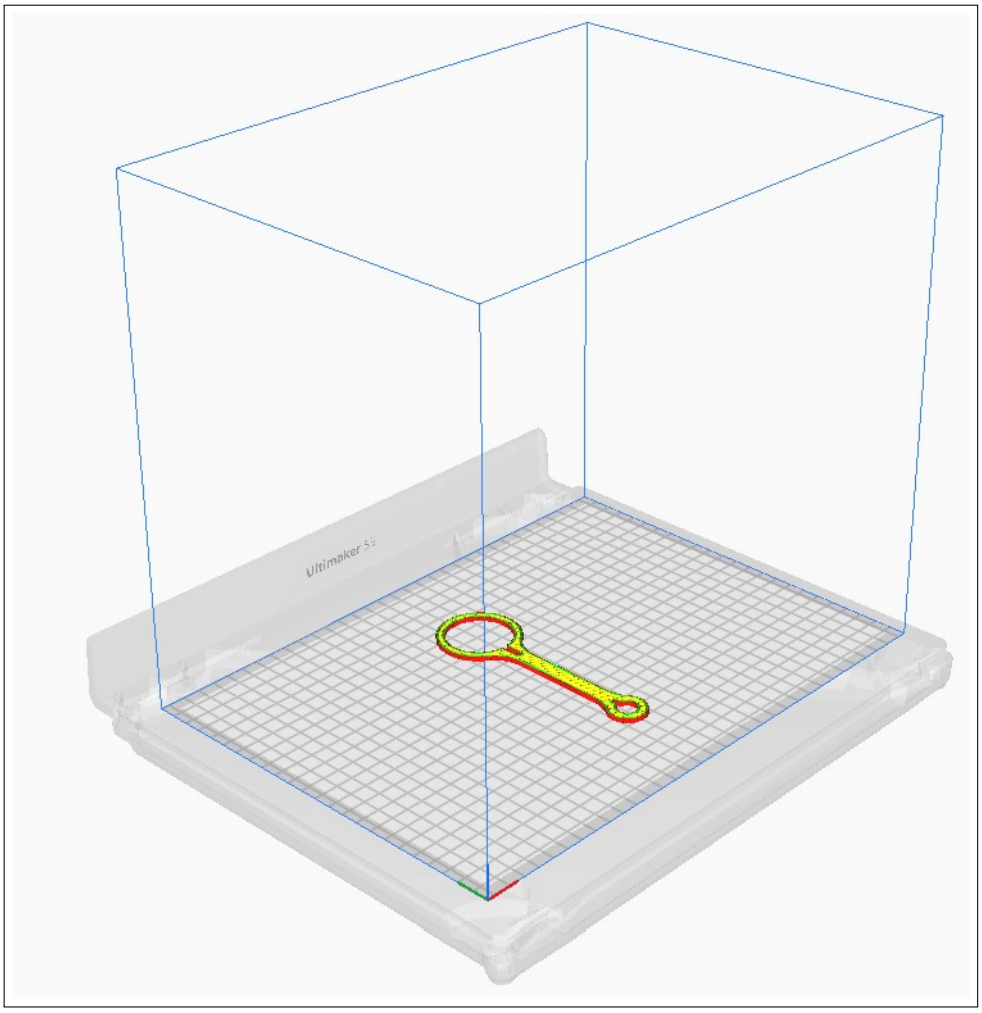
```
;START_OF_HEADER
;HEADER_VERSION:0.1
;FLAVOR:Griffin
;GENERATOR.NAME:Cura_SteamEngine
;GENERATOR.VERSION:4.12.1
;GENERATOR.BUILD_DATE:2021-11-18
;TARGET_MACHINE.NAME:Ultimaker S5
;EXTRUDER_TRAIN.0.INITIAL_TEMPERATURE:255
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.VOLUME_USED:4853
;EXTRUDER_TRAIN.0.MATERIAL.GUID:1d52b2be-a3a2-41de-a8b1-3bcdb5618695
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.DIAMETER:0.4
;EXTRUDER_TRAIN.0.NOZZLE.NAME:AA 0.4
;BUILD_PLATE.TYPE:glass
;BUILD_PLATE.INITIAL_TEMPERATURE:50
;BUILD_VOLUME.TEMPERATURE:27
;PRINT.TIME:3619
;PRINT.GROUPS:1
;PRINT.SIZE.MIN.X:-3
;PRINT.SIZE.MIN.Y:6
;PRINT.SIZE.MIN.Z:0.27
;PRINT.SIZE.MAX.X:188.91
;PRINT.SIZE.MAX.Y:191.923
;PRINT.SIZE.MAX.Z:3.07
;END_OF_HEADER
;Generated with Cura_SteamEngine 4.12.1
T0
M82 ;absolute extrusion mode

G92 E0
M109 S255
G0 F9000 X-3 Y6 Z2
G280
G1 F2100 E-8
;LAYER_COUNT:15
;LAYER:0
M107
M204 S625
M205 X30 Y30
;MESH:Cadena.stl
G0 F4500 X162.909 Y69.913 Z0.27
M204 S500
M205 X25 Y25
;TYPE:WALL-INNER
G1 F900 E0.1254
G1 F600 X163.79 Y70.15 E0.14301
G1 X165.578 Y70.15 E0.17752
G1 X166.48 Y69.897 E0.1956
G1 X167.246 Y69.105 E0.21686
G1 X167.476 Y68.245 E0.23404
G1 X167.477 Y66.41 E0.26946
G1 X167.577 Y66.068 E0.27634
G1 X167.706 Y65.953 E0.27967
G1 X168.429 Y65.595 E0.29524
G1 X169.606 Y64.787 E0.3228
G1 X170.624 Y63.721 E0.35124
G1 X171.398 Y62.466 E0.3797
G1 X171.897 Y61.083 E0.40808
G1 X172.099 Y59.624 E0.4365
G1 X171.998 Y58.154 E0.46494
G1 X171.595 Y56.738 E0.49335
G1 X170.907 Y55.433 E0.52183
G1 X169.968 Y54.3 E0.55023
G1 X168.813 Y53.385 E0.57866
G1 X167.494 Y52.729 E0.60709
G1 X166.102 Y52.366 E0.63486
G1 X165.3 Y52.287 E0.65041
G1 X163.866 Y52.366 E0.67813
G1 X162.443 Y52.751 E0.70658
G1 X161.131 Y53.424 E0.73504
```

Anexo D: Probetas traccionadas.

Anexo E: Imágenes del proceso de impresión en el sofware de la impresora Ultimaker S5.




Ultimaker S3


Ultimaker S3